

# HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA

IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS  
NA TOMADA DE DECISÕES SOBRE GRANDES OBRAS

---

PHILIP M. FEARNSIDE

VOL. 2



Copyright © 2015, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

**Presidente da República**

Dilma Vana Rousseff Linhares

**Ministro da ciência, Tecnologia e Inovação**

José Aldo Rebelo Figueiredo

**Diretor do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**

Luiz Renato de França

**Editora INPA**

Editor: Mario Cohn-Haft.

Produção editorial: Rodrigo Verçosa, Shirley Ribeiro Cavalcante, Tito Fernandes.

Bolsistas: Angela Hermila Lopes, Henrique Silva, Izabele Lira, Sara Oliveira, Tiago Nascimento.

**Ilustração**

Hoan Marques

**Capa**

Descrição: Ilustração baseada em fotografias do desvio do rio Tapajós para construção da hidrelétrica de Teles Pires

Ilustrador: Hoan Marques

**Editoração Eletrônica**

Rodrigo Verçosa

Tiago Nascimento

Tito Fernandes

**Ficha Catalográfica**

F288 Fearnside, Philip M.

Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras / Philip M. Fearnside. - Manaus: Editora do INPA, 2015.

v. 2 : il.

ISBN: 978-85-211-0144-4 (impresso), ISBN: 978-85-211-0150-5 (*on-line*)

1. Hidrelétricas - Amazônia. I. Título.

CDD 621.312134



Av. André Araújo, 2936, Petrópolis  
CEP 69067-375 - Manaus - AM - Brasil  
Fone: +55 (92) 3643 3030  
e-mail: [acta@inpa.gov.br](mailto:acta@inpa.gov.br) | website: <http://acta.inpa.gov.br>

# SUMÁRIO



<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>VI. SAMUEL.....</b>	<b>7</b>
18. A Hidrelétrica de Samuel: Lições para a Política de Desenvolvimento Hidrelétrico e o meio-ambiente na Amazônia .....	9
<b>VII. HIDRELÉTRICAS DE RORAIMA .....</b>	<b>35</b>
19. Benefícios Políticos como Barreiras a Avaliação dos Custos Ambientais no Planejamento de Desenvolvimento da Amazônia Brasileira: O Exemplo da Hidrelétrica de Jatapu em Roraima .....	37
20. A Hidrelétrica de Cotingo como um Teste do Sistema Brasileiro para Avaliação de Propostas de Desenvolvimento na Amazônia .....	59
<b>VIII. HIDRELÉTRICAS DO TAPAJÓS.....</b>	<b>83</b>
21. Hidrelétricas e Hidrovias na Amazônia: Os Planos do Governo Brasileiro para a Bacia do Tapajós.....	85
22. Crédito de Carbono para Usinas Hidrelétricas como Fonte de Emissões de Gases de Efeito Estufa: O Exemplo da Hidrelétrica de Teles Pires .....	99
23. A Hidrelétrica de Teles Pires: O Enchimento e a morte de peixes .....	109
24. A Hidrelétrica de São Luiz do Tapajós: A arte de EIAs cosméticos.....	115
<b>IX. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR BARRAGENS.....</b>	<b>135</b>
25. Controvérsias sobre o efeito estufa. Porque a energia hidrelétrica não é limpa.....	137
26. Hidrelétricas na Amazônia brasileira como fontes de gases de efeito estufa .....	141
27. Emissões de gases de efeito estufa de reservatórios hidrelétricos na Amazônia: O exemplo de Tucuruí e comparação com as alternativas de combustível fóssil.....	161
28. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Represas Hidrelétricas: Controvérsias Fornecem um Trampolim para Repensar uma Fonte de Energia Supostamente “Limpa”.....	179
29. Emissões provenientes de usinas hidrelétricas: Resposta a Rosa <i>et al.</i> .....	187
30. As Usinas Hidrelétricas Mitigam o Efeito Estufa? O Caso da Barragem de Curuá-Una.....	193
31. Hidrelétricas como “Fábricas de Metano”: O Papel dos Reservatórios em Áreas de Floresta Tropical na Emissão de Gases de Efeito Estufa .....	205
32. Subestimação das Emissões de Gases de Efeito Estufa de Represas Tropicais .....	221
33. Emissões de Gases de Efeito Estufa dos Reservatórios de Hidrelétricas: Implicações de uma Lei de Potência .....	227
34. Emissões das Hidrelétricas Tropicais e o IPCC.....	239
<b>X. HIDRELÉTRICAS AMAZÔNICAS E A POLÍTICA ENERGÉTICA .....</b>	<b>259</b>
35. Impactos Ambientais e Sociais de Barragens Hidrelétricas na Amazônia Brasileira: As Implicações para a Indústria de Alumínio.....	261
36. Hidrelétricas Amazônicas e a Política Energética.....	289





# APRESENTAÇÃO

---

As decisões tomadas nos próximos anos sobre desenvolvimento hidrelétrico serão entre as mais influentes em determinar o futuro da população humana e do meio ambiente na região Amazônica. A maioria dos capítulos deste livro são traduções atualizadas de trabalhos originalmente publicados na literatura internacional, o de trabalhos na literatura brasileira. O livro cobre os cinco maiores hidrelétricas existentes hoje na Amazônia Legal (Tucuruí, Balbina, Samuel, Santo Antônio e Jirau), além de duas barragens menores (Curuá-Uma e Jatapu), duas em construção (Teles Pires e Belo Monte), e outras em diferentes estágios de planejamento. Os capítulos incluem discussões dos principais planos para desenvolvimento hidrelétrico futuro, por exemplo, nas bacias dos rios Xingu, Tocantins/Araguaia, Madeira e Tapajós. A magnitude dos planos, junto com a magnitude dos impactos provocados pela construção de obras deste porte, faz com que seja extremamente importante tirar todas as lições possíveis dos erros e acertos no planejamento e construção das hidrelétricas na região até agora. Estas experiências indicam a necessidade de melhoria dos sistemas de planejamento de desenvolvimento, análise de impactos e licenciamento de obras. Este livro reúne as informações de uma forma acessível para

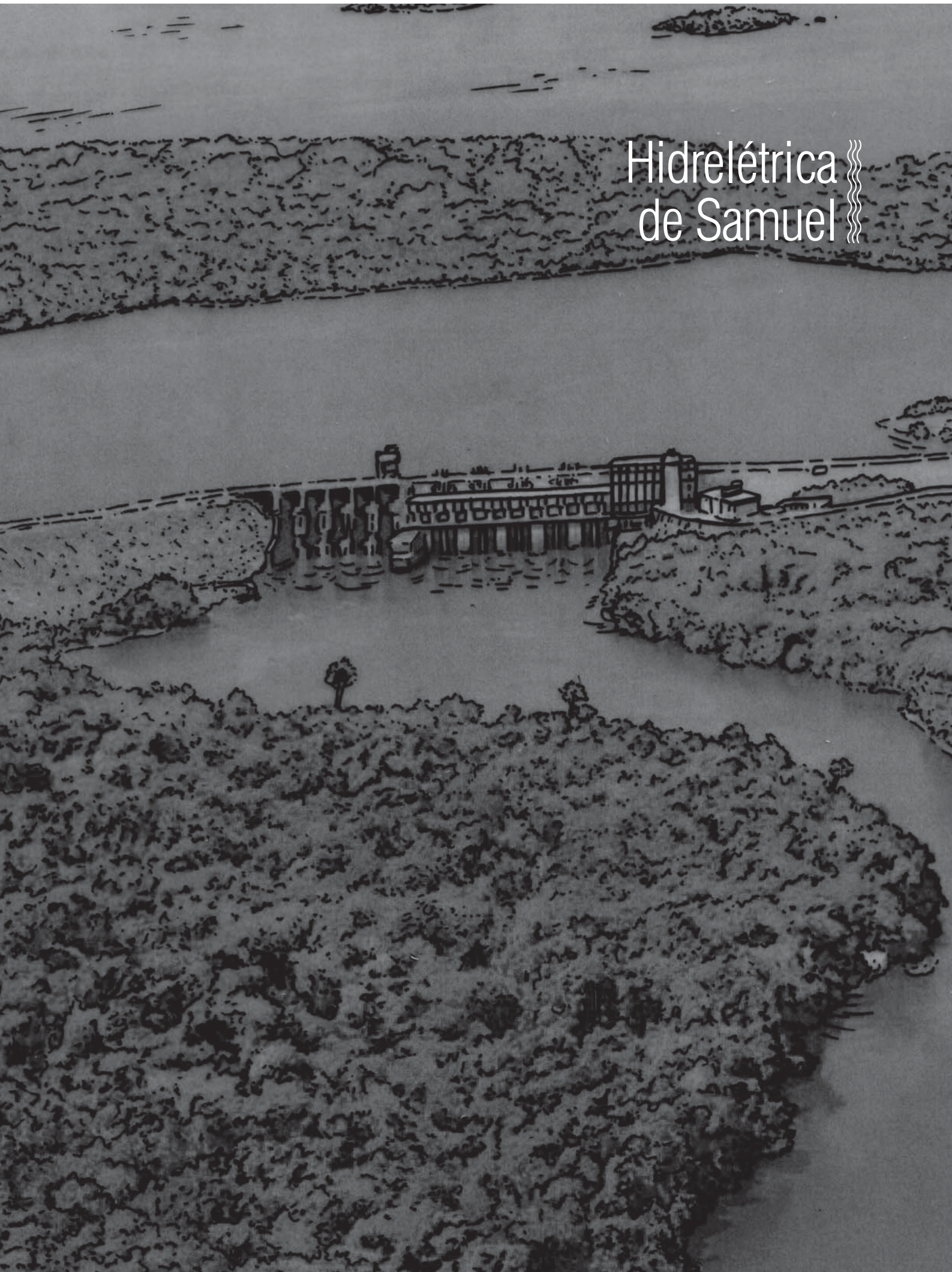
facilitar um re-pensamento da forma de planejar e licenciar grandes projetos de todos os tipos, não apenas hidrelétricas.

As publicações originais para os capítulos aqui apresentados abrangem um período de tempo de 25 anos (1989-2014). Isso levanta a questão de como lidar com a atualização das informações, especialmente onde a informação atual mudaria significativamente os resultados numéricos que têm sido amplamente citados em sua forma “clássica”. Esse dilema tem sido tratado, mantendo os valores originais e adicionando notas indicando as alterações relevantes no conhecimento. Especialmente importantes são a existência de um grande pico de emissão de metano nos primeiros anos depois de encher um reservatório e uma sucessão de aumentos nas estimativas do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) para o impacto sobre o aquecimento global causado por cada tonelada de metano. Em outros casos, os eventos desde a publicação original precisam ser resumidos. Cada capítulo do livro, assim como as publicações originais, é intencionado a ser independente dos outros, o que significa que alguma repetição de informação é necessária.





# Hidrelétrica de Samuel







# Capítulo 18

---

## **A Hidrelétrica de Samuel: Lições para as Políticas de Desenvolvimento Energético e Ambiental na Amazônia**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2005. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management* 35(1): 1-19. Doi: 10.1007/s00267-004-0100-3

## RESUMO

A implantação da Hidrelétrica de Samuel, que formou um reservatório de 540 km<sup>2</sup> no Estado de Rondônia em 1988, fornece lições para tomada de decisões sobre desenvolvimento em toda a Amazônia e em outras áreas tropicais. A decisão para construir a barragem foi influenciada, pesadamente, por seu papel nas estratégias políticas dos principais atores na tomada da decisão. A Hidrelétrica de Samuel ilustra de um lado, os impactos e do outro os benefícios da geração de eletricidade e os dilemas que confrontam os tomadores de decisão, com relação às várias opções planejadas. Custos ambientais incluíram a inundação de floresta e o estímulo à exploração ilegal de madeira em toda a Amazônia ocidental por causa de uma exceção aberta na proibição de exportação de madeira em tora, para permitir a exportação de toras da área correspondente à hidrelétrica de Samuel. Em 1990, Samuel emitiu 11,6 vezes mais gases de efeito estufa do que teria sido emitido gerando a mesma energia a partir de petróleo. Nos anos subsequentes, até o ano 2000, estas emissões diminuíram para um patamar estável em um nível ainda 2,6 vezes maior que a emissão da alternativa de combustível fóssil. Contaminação de peixe no reservatório resultou da metilização com mercúrio (Hg) presente no solo. Custos sociais da represa incluíram o reassentamento de 238 famílias de agricultores. Impactos sobre povos indígenas foram indiretos. Medidas mitigatórias incluíram salvamento de fauna e criação de uma reserva florestal. As lições obtidas a partir da instalação da Hidrelétrica de Samuel incluem a necessidade de considerar alternativas antes de tomar decisões na prática e a importância de aderir à sequência lógica de tomada de decisão, onde as informações são colhidas e avaliadas antes da decisão. Adicionalmente, a implantação de Samuel também mostra a necessidade de flexibilização como política desenvolvimentista quando os custos e os benefícios de alternativas diferentes mudam, significativamente, ao longo do tempo em que a obra está sendo planejada e executada, como aconteceu com o projeto da Hidrelétrica de Samuel.

Palavras-Chave: Amazônia, Represas, Efeito estufa, Hidrelétricas, Reservatórios, Metano

## INTRODUÇÃO

A construção de barragens hidrelétricas é um das atividades mais controversas que afetam o caminho de desenvolvimento nos países tropicais e estas obras

são uma grande causa de problemas ambientais e sociais. Na Amazônia brasileira, a lista completa de 79 barragens planejadas (independente a data esperada da construção de cada uma) inundaria, de forma direta, aproximadamente 3% da floresta amazônica brasileira, (Brasil, ELETROBRÁS, 1987, p. 150, veja Fearnside 1995). Decisões sobre projetos hidrelétricos futuros desencadeiam sequências de eventos com impactos que ultrapassam as fronteiras imediatas das barragens e dos reservatórios.

Em maio de 2001, o Brasil entrou em uma “crise energética”, começando com blecautes descontrolados em grandes cidades, como São Paulo e Rio de Janeiro. Por sua vez, o governo tenta implementar uma série de medidas de emergência para reduzir consumo de eletricidade. No entanto, a “crise” era o resultado combinado do mau planejamento da infraestrutura para geração de eletricidade, ineficiente uso doméstico e industrial, do subsídio governamental para produtos de exportação que necessitam elevado consumo de energia (como o alumínio) e, naturalmente, devido à baixa precipitação nas bacias hidrográficas das represas. Entre as medidas implementadas era uma abreviação do processo de revisão ambiental para nova infraestrutura relacionada à energia, inclusive barragens hidroelétricas, a partir de 18 de maio de 2001 (veja: *Gazeta Mercantil*, 2001). Isto faz com que seja mais difícil evitar impactos ambientais na medida em que o Brasil prossegue com seu programa ambicioso de construção de barragens na Amazônia. As novas medidas também, evidentemente, deveriam acrescentar com urgência as lições que podem ser aprendidas a partir das experiências passadas na região amazônica, tais como a implantação da Samuel.

A barragem de Samuel está situada no Rio Jamari na Cachoeira de Samuel (8° 45' S, 63° 25' W), 52 km da cidade de Porto Velho, Rondônia (Figura 2). A área do reservatório, na época quando foi inundada, era quase toda sob floresta tropical primária. A bacia hidrográfica de 15.280 km<sup>2</sup> (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1987]) é relativamente pequena, apenas 24 vezes maior que a área do próprio reservatório. A vazão do Rio Jamari está, conseqüentemente, limitada, com um fluxo anual médio de 366 m<sup>3</sup>/s (Brasil, ANEEL, 2003). Isto restringe a energia produzida a um máximo teórico de 76,0 MW de geração média se toda água fosse usada sob condições ótimas, considerando o engolimento de 171 m<sup>3</sup>/s por turbina com uma capacidade nominal de 44,41 MW e um fator de carga de 0,80 (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1987]). A usina tem 216 MW de capacidade instalada.



Figura 1. A Amazônia Legal com locais mencionados no texto.

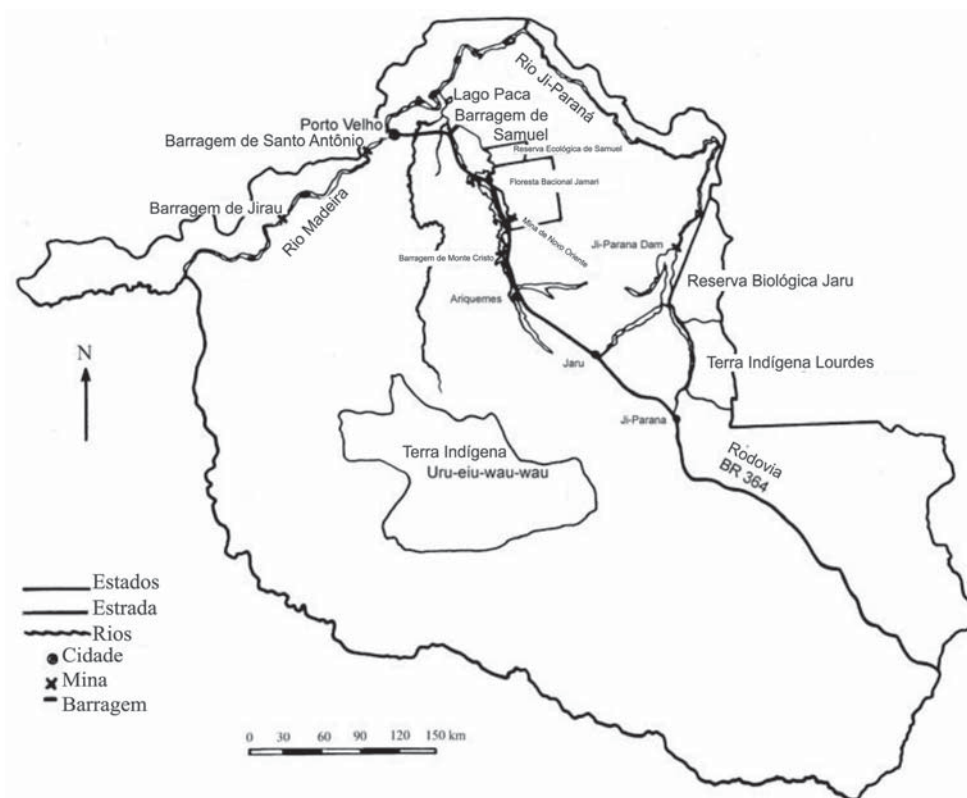


Figura 2. O reservatório de Samuel e o Estado de Rondônia.

Os números supracitados, relativos a Samuel, são instrutivos quando comparados com os indicadores de outras barragens existentes na Amazônia brasileira, como uma indicação dos méritos relativos dos projetos (Tabela 1). A densidade energética (Watts de capacidade instalada por m<sup>2</sup> de superfície de reservatório) é um indicador útil do impacto ambiental: quanto mais baixa a densidade, mais alto o impacto. O tempo de residência média (dias que a gota de água permanece no reservatório) é relacionado à qualidade da água: quanto mais longo o tempo de residência, pior a qualidade da água, implicando na diminuição nas concentrações de

oxigênio e aumento nas concentrações de metano. Profundidade média rasa também é uma indicação de impacto alto, já que destrói muita floresta para pouca produção de energia.

Deveria lembrar-se que barragens em locais separados por longas distâncias (como na Tabela 1) não são opções que competem pelo papel de Samuel como uma fonte de energia para Rondônia. Porém, entre os projetos hidrelétricos propostos em Rondônia, Samuel compara mal em termos de custo por quilowatt de capacidade instalada e, também tem uma baixa densidade energética (Tabela 2).

Tabela 1. Comparação de Indicadores Ambientais de Barragens Existentes na Amazônia brasileira

Barragens	Vegetação predominante	Ano enchido	Rio	Estado	Área oficial (km <sup>2</sup> )	Capacidade Instalada (MW)	Densidade energética (W/m <sup>2</sup> )	Média profundidade (m)	Tempo de residência (dias)	Referências
Samuel	Floresta	1988	Jamari	Rondônia	540	216	0,40	8,4	143,3	
Balbina	Floresta	1987	Uatumã	Amazonas	2.360	250	0,11	4,8	200,4	(a)
Tucuruí-I	Floresta	1984	Tocantins	Pará	2.430	3.960	1,63	20,2	51,3	(b, c)
Curuá-Una	Floresta	1977	Curuá-Una	Pará	78	40	0,74	6,1	30	(d, e)
Jatapu	Floresta	1994	Jatapu	Roraima	45	5	0,11	4,4	39,3	(f)
Luis Eduardo Magalhães (Lajeado)	Cerrado	2000	Tocantins	Tocantins	630	900	1,43			(g)
Manso	Cerrado	2000	Manso	Mato Grosso	387	210	0,54	19,1	502,6	(h)
Coaracy-Nunes	Floresta	1975	Araguari	Amapá	23	68	2,96			(e)
Pitinga	Floresta	1984/1990	Pitinga	Amazonas	54/81	10/23	0,19/0,28	3,5/5,6	25,7/60,6	(i)

a. Fearnside, 1989a; b. Fearnside, 1999a; c. Fearnside, 2001a; d. Junk & de Mello, 1987; e. Tundisi et al., 2003; f. Fearnside & Barbosa, 1996  
 g. da Rosa and Cardoso, 1993; Coalizão Rios Vivos, 1999; h. Furnas, 2004; i. Mineração Taboca S/A & Perfil S/A, 1990

Tabela 2. Comparação de barragens propostas em Rondônia

Barragem	Rio	Capacidade Instalada (MW)	Área do Reservatório	Densidade energética	Custo de construção			Referência
					Data base do custo	Custo, sem linha de transmissão (US\$ milhões)	Custo unitário (US\$/kW)	
Samuel	Jamari	216	540	0,40	Dez. 91	965	4.580,2	(a)
Barão de Melgaço	Barão de Melgaço	105			Jun. 86	316	2.960,8	(a)
Tabajara	Ji-Paraná	725			Jun. 85	721,8	995,3	(a)
Ji-Paraná	Ji-Paraná	512	957	0,54	Dez. 91	812,3	1.563,5	(b)
Monte Cristo	Jamari	58,4	243	0,24	Abril 78	74,7	1.279,3	(c)
Santo Antônio	Madeira	3.580	138	25,94	Jun. 05	→ 4.000	534,8	(d)
Jirau	Madeira	3.900	110	35,45	Jun. 05			

a. Brasil, ELETROBRÁS, 1993, Vol. 2; b. Brasil, ELETRONORTE, 1987; c. Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1985]; d. Machado, 2003



Embora opções de construir mais hidrelétricas em locais distantes não estivessem em competição direta com Samuel como uma solução, em potencial, para fornecer energia a Rondônia, indiretamente, elas competem, pelo menos, de dois modos. Primeiro, a opção de unir Rondônia à rede elétrica nacional e, por consequente, suprir a demanda a partir de locais geradores mais distantes, era completamente possível, embora as distâncias envolvidas representassem uma barreira maior à tecnologia de transmissão que existia na época da decisão para construir a barragem de Samuel do que seria o caso poucos anos depois. Segundo, os projetos hidrelétricos potenciais competem com outros lugares no sentido de oferecer a opção de investir verbas em lugares onde as barragens teriam energia mais barata e impacto ambiental menor, e continuar fornecendo eletricidade a Rondônia de usinas termoeletricas a óleo. A situação diante os tomadores de decisão quanto à construção de Samuel foi semelhante aquela da decisão para construir a Hidrelétrica de Balbina em vez da Hidrelétrica de Cachoeira Porteira, que teria sido maior, porém mais distante, que Balbina (Fearnside, 1989a). Em ambos os casos, não foi considerada a opção de usar geração a óleo como uma ponte para fornecer energia até que uma fonte de energia mais atraente pudesse ser desenvolvida.

O presente artigo contextualiza o cenário político no qual a decisão foi tomada para construir a Hidrelétrica de Samuel, seus custos e benefícios monetários, ambientais e sociais, e as medidas mitigatórias. O caso de Samuel deixa clara a existência de impedimentos múltiplos para que seja seguida a sequência lógica, onde são calculados os custos e os benefícios, para depois comparar estes custos e benefícios antes de tomar uma decisão sobre a implantação do projeto, esta decisão sendo tomada nos melhores interesses dos residentes da área e os seus descendentes. Seja a Hidrelétrica de Samuel projeto merecedor ou não, o processo de tomada de decisão oferece lições importantes para desenvolvimentos hidrelétricos pendentes em Rondônia e em muitos outros locais da Amazônia e do Mundo.

## **TOMADA DE DECISÃO**

### **Contexto político da Decisão**

Quando começou a construção da barragem de Samuel em 1982, o Brasil ainda era governado por uma ditadura militar que restringiu discussão

pública desses assuntos. Porém, uma “abertura” política estava em curso desde 1979 em preparação para uma transição à democracia, e o Território Federal de Rondônia figurou de forma marcante nos planos dos líderes militares para efetuar esta transição enquanto mantendo a sua influência no governo do País. A Rondônia era, tradicionalmente, um território federal administrado pelo Exército, os outros dois territórios amazônicos sendo administrados pelas outras filiais militares (Roraima pela força aérea e Amapá pela Marinha). Jorge Teixeira, o governador exército-designado de Rondônia, era um coronel de Exército, completamente comprometido na preparação de Rondônia para se tornar um estado. Por sua vez, o projeto POLONOROESTE do Banco Mundial era uma parte fundamental da estratégia, a pavimentação da Rodovia BR-364 e o encorajamento de migração a Rondônia, dando a justificativa política para o Congresso Nacional aprovar a criação de um estado novo. Ademais, esse esforço também resultaria na dependência quase completa dos recém-chegados à generosidade do governo em fornecer terra, estradas de acesso, financiamento agrícola e outros subsídios faria com que os colonos apoiassem os candidatos do partido político apoiado pelo Exército (o então Partido Democrático Social: PDS). O acordo feito para conceder a condição de estado em 1984 criou o estado novo (assim ganhando três cadeiras no Senado e respectiva representação na Câmara dos Deputados), enquanto permitia o governador designado (“governador biônico”) permanecer com mandato durante quatro anos adicionais sem ter que enfrentar uma primeira eleição (por exemplo, *Isto É*, 1984).

Na hora da passagem de Rondônia a condição de estado, o ministro do interior, o Sr. Mario Andreazza, que era mais conhecido por ter promovido a construção da Rodovia Transamazônica, em 1970 e, por sua famosa afirmação de que “não vai deixar um punhado de índios atrapalhar o desenvolvimento do Brasil” (veja Fearnside, 1986b). Desta forma, tornar Rondônia em um estado era uma meta importante para Andreazza, que esperava ser escolhido como presidente da república pelo colégio eleitoral que continuou escolhendo de forma indireta os presidentes brasileiros até 1984. Andreazza havia preparado a candidatura dele desde então, por meio da promoção de obras de infraestrutura nos anos sessenta, quando, durante as suas viagens como ministro dos transportes, ele percebeu a popularidade duradoura que a construção de obras havia trazido ao ex-presidente Juscelino

Kubitchek (Branco, 1984). Portanto, construir a barragem de Samuel, além da Rodovia BR-364, era uma parte essencial de sua estratégia. A influência de indivíduos fundamentais no processo de decisão deve ser reconhecida: como o chefe da Divisão da América Latina e do Caribe do Banco Mundial (Robert Skillings) observou sobre a aprovação do Banco ao Projeto POLONOROESTE, era “difícil dizer ‘não’ para o Andreazza”.

Jorge Teixeira (o governador de Rondônia designado pelo exército) também era um homem cuja personalidade influenciou o curso da história na região. A sua habilidade para realizações administrativas era muito apreciada no Banco Mundial, onde ele era conhecido como o único homem que conseguiu convencer o Banco em financiar um cemitério (neste caso quando ele era o prefeito de Manaus, antes de ser designado o governador de Rondônia). Com desenvolvimentos de ex-paraquedista voluntário na Guerra de Vietnã, seu estilo foi visto como ideal para domesticar o caos social da Rondônia, que frequentemente era comparado ao “faroeste” do 19º Século nos Estados Unidos. A promoção incansável do governador Jorge Teixeira para o desenvolvimento de Rondônia, indubitavelmente, ajudou a convencer os tomadores de decisão, tanto em Brasília quanto nos bancos multilaterais de desenvolvimento a investirem mais em Rondônia, inclusive na Hidrelétrica de Samuel, do que seria justificado somente com base dos custos e benefícios financeiros, sociais e ambientais.

### **Avaliação de Impacto ambiental**

A Hidrelétrica de Samuel estava em construção antes do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente (RIMA) se tornarem obrigatórios no Brasil em 23 de janeiro de 1986. Tampouco foram requeridas audiências públicas para projetos que já estavam em construção em 1986. Não obstante, a ELETRONORTE contratou uma série de estudos ambientais (veja discussão mais adiante). Enquanto, a cláusula que isentava projetos já em construção, como no caso da Hidrelétrica de Samuel, das exigências do EIA e do RIMA sempre foram enfatizadas na época, é curioso observar que hoje, anos depois, os websites de ambos, ELETRONORTE (s/d [2003]) e da empresa consultora responsável pelos estudos ambientais (Sondotecnica, s/d [2003]) apresentam os estudos como o primeiro EIA/RIMA para uma barragem de ELETRONORTE.

Um aspecto fundamental da decisão para construir a Hidrelétrica de Samuel, para qual não há nenhuma indicação de que foi dada alguma consideração, é uma avaliação de meios alternativos de fornecimento de energia, assim como qualquer reavaliação ao longo do processo prolongado de planejamento e construção visando rever os planos na medida em que as opções disponíveis mudaram. Por exemplo, deveria ter sido construído uma linha de transmissão de Cuiabá, assim conectando a Rondônia com a rede nacional? A tecnologia de transmissão de energia melhorou muito nos anos ao longo dos quais a Hidrelétrica de Samuel estava em construção (Cais & Vaccari, 1986). A existência do projeto de Samuel tirou o ímpeto para construir uma linha de transmissão e prover uma fonte maior de energia para esta parte da Amazônia? Outro acontecimento relevante que ocorreu durante o período da construção da hidrelétrica foi a descoberta, em 1986, de gás natural na bacia do rio Urucu, dois anos antes do reservatório de Samuel começar a encher. Planos atuais para infraestrutura incluem tanto um gasoduto de Urucu até Porto Velho e uma linha de transmissão para Cuiabá, assim como barragens adicionais, significando que podem ser provocados os impactos ambientais de todos estes projetos, além dos impactos já causados pela Hidrelétrica de Samuel.

### **O Papel da Pesquisa**

O papel de pesquisa em Samuel se tornou um assunto público em 1986 quando um relatório de consultoria sobre o assunto pelo Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) foi vazado à imprensa. O relatório, de autoria de Zeli Kacowicz, acusou o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) de produzir “relatórios assépticos... que nem mesmo arranham a previsão de impactos ambientais decorrentes das construções das usinas [hidrelétricas].”, e concluiu que os relatórios superficiais e não críticos eram devido à “necessidade” do INPA “assinar este convênio com a ELETRONORTE para, a partir dos recursos passados por esta empresa, dispor de capital de custeio para pagamento de suas contas de luz, água e telefone” (Kacowicz, 1985; *Jornal do Comércio*, 1986a). Naquela oportunidade, Herbert O.R. Schubart, diretor de INPA na época das denúncias do relatório do CNPq (porém, não quando o contrato foi assinado em 1980 para o trabalho do INPA em Samuel), embora contestando o tom “alarmista” do relatório, confirmou os fatos fundamentais do relatório e

declarou que “na verdade, em um período de crise, a ELETRONORTE usou o nome do INPA para se proteger das críticas que estavam sendo feitas pela comunidade” (*Jornal do Comércio*, 1986a).

O arranjo por meio do qual o INPA colecionou dados crus que eram, então, usados como base de relatórios elaborados por uma empresa consultora, teve o resultado de facilitar relatórios não críticos, enquanto dava ainda a ELETRONORTE uma vantagem adicional de fazer uso do nome de INPA para sustentar a credibilidade do projeto. Assim, como em Balbina e em Tucuruí, cláusulas de sigilo no contrato permitiram ELETRONORTE vetar a publicação ou apresentação pública de qualquer resultado inconveniente (Fearnside, 1989a, 2001a). Esta combinação tendia a levar a problemas do tipo divulgado no “Relatório Kacowitz” sobre a pesquisa na Hidrelétrica de Samuel.

Com o passar dos anos, mesmo correndo melhorias no sistema de avaliação de impacto ambiental, a relevância da experiência do INPA em Samuel para estudos ambientais de projetos de infraestrutura contemporâneos tem sido evidente. O estudo de impacto ambiental para a Hidrovia do Tocantins-Araguaia (FADESP, 1996a,b), realizado pela Universidade Federal do Pará (UFPA), foi assunto de críticas contínuas e de contestação legal (Switkes, 2002; veja Fearnside, 2001b). As críticas aos relatórios de UFPA e a dependência financeira em contratos consultores são quase idênticas àquelas constatadas no “Relatório Kacowicz” sobre o trabalho do INPA em Samuel uma década antes.

## O Papel do Banco Mundial

Antes da construção de Samuel começar, Robert Goodland (1980), então chefe da minúscula unidade ambiental do Banco Mundial (composta por apenas três pessoas), tinha apontado Samuel como um exemplo de uma barragem com impacto ambiental altíssimo quando considerada a energia que geraria. Porém, na época os assuntos ambientais tinham peso pequeno nas decisões do Banco Mundial, e Goodland era o único ecólogo profissional no quadro funcional do Banco, em contraste com aproximadamente 3.000 economistas.

A Hidrelétrica de Samuel era, intimamente, associada com o Projeto POLONOROESTE, financiado pelo Banco Mundial (World Bank, 1981). O POLONOROESTE reconstruiu e pavimentou a

Rodovia BR-364 em 1982, abrindo assim propositalmente o Território de Rondônia para uma “inundação” de migrantes oriundos do Estado de Paraná. O Projeto POLONOROESTE se tornou um dos maiores embaraços ambientais do Banco Mundial, levando à criação do Departamento do Meio Ambiente dentro do Banco Mundial em maio de 1987 (Holden, 1987), menos de 48 horas depois que uma apresentação crítica do projeto foi exibida no programa de televisão “60-minutos” nos Estados Unidos. O POLONOROESTE causou grande aumento no desmatamento e impactos severos sobre os povos indígenas (Fearnside, 1986c, 1987a,b, 1989b; Schwartzman, 1986). Anunciando a criação do Departamento de Ambiente, o presidente do Banco Mundial (Barber Conable) descreveu POLONOROESTE como “um exemplo sóbrio de um esforço ambientalmente bom que deu errado” (Holden, 1987).

Enquanto a Hidrelétrica de Samuel estava em construção, o sentido de culpa no Banco Mundial com relação a POLONOROESTE era patente, e o projeto PLANAFORO foi financiado como uma tentativa para desfazer parte do dano do empréstimo anterior. A Hidrelétrica de Samuel não teria sido necessário se não houvesse o grande fluxo de migrantes provocado pelo POLONOROESTE, assim levando a discussões angustiadas no Banco em sobre a Samuel e os seus impactos (observação pessoal). É considerado que todo o Estado de Rondônia esteja na área de influência de POLONOROESTE.

Embora a Hidrelétrica de Samuel não tenha sido financiado como um projeto do Banco Mundial, em meados de 1986, o Banco Mundial aprovou um “empréstimo de setor” de US\$500 milhões para fornecer equipamentos importados ao setor elétrico em todo Brasil (por exemplo, Schwartzman & Melone, 1987). Diferente de “empréstimos de projeto”, projetos individuais dentro do setor não estão sujeitos à revisão ambiental no caso de empréstimos de setor, assim permitindo que recursos do Banco Mundial sejam usados em Samuel.

## CONTEXTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIA EM RONDÔNIA

### Demanda de eletricidade

Eletricidade é fundamental para a vida moderna, tanto nas residências quanto na maioria das atividades que geram postos de trabalho. A urbanização está, intimamente, ligada à eletricidade, com



áreas urbanas oferecendo acesso muito mais universal à eletricidade para os seus residentes, assim como atraindo usuários comerciais e industriais exigentes em eletricidade. A disponibilidade de eletricidade residencial e a possibilidade do emprego em atividades econômicas urbanas que dependem da eletricidade representam duas das razões primárias para movimento de população da zona rural para áreas urbanas. Nos anos setenta, Rondônia era uma das áreas com taxa de crescimento urbano mais rápido em todo Brasil. A população de Porto Velho cresceu a uma taxa média de 7,6%/ano de 1970 a 1991, mais que quadruplicando ao longo daquele período (Browder & Godfrey, 1997, p. 127). Uso da eletricidade em Rondônia estava crescendo explosivamente, antes da decisão para construir a Hidrelétrica de Samuel, tendo crescido de 5,8 GWh em 1970 para 145 GWh em 1980 (Machado & Souza, 2003, p. 218). A provisão precária de eletricidade de geradores a diesel foi reconhecida como uma limitação fundamental no desenvolvimento de Rondônia (World Bank, 1981). O fornecimento esporádico de eletricidade era, na época, uma das reclamações mais frequentes dos donos de serraria (observação pessoal). Uma sucessão de indústrias em Rondônia foi implantada para processar produtos florestais e agrícolas, pelo menos enquanto que os recursos produtivos durassem. A madeira era um dos produtos principais em áreas de fronteira em todo o Estado de Rondônia (Browder, 1986), muito embora estas serrarias abandonavam áreas sucessivas na medida em que o estoque de madeira de lei ia se esaurindo. Outro recurso natural, a mineração de cassiterita (estanho) também foi importante nos anos oitenta quando o preço do estanho era muito mais alto do que é hoje. Por outro lado, em algumas áreas já desmatadas, a pecuária de leite se tornou uma indústria importante que depende de beneficiamento local (Faminow, 1998). No componente agrícola, o cultivo da soja, uso da terra que está se expandindo rapidamente nos dias atuais, ainda é dependente de beneficiamento fora do Estado (Fearnside, 2001b).

Os benefícios sociais da Hidrelétrica de Samuel são significantes, em que a energia é toda consumida localmente (Browder & Godfrey, 1997, p. 326-329). Isto contrasta com barragens como Tucuruí onde a maior parte da eletricidade gerada é usada por companhias multinacionais de alumínio. As atividades industriais em Rondônia também foram de

uso, relativamente, pouco intensivo de energia, pelo menos quando comparadas com usos como o beneficiamento de alumínio. O contexto social de desenvolvimento de energia em Rondônia pode mudar, radicalmente, num futuro próximo se obras planejadas são construídas para transformar este Estado em um grande exportador de energia para o resto do Brasil.

## **GERAÇÃO DE ELETRICIDADE PLANEJADA**

### **Barragens no Rio Ji-Paraná**

A pequena capacidade geradora da Hidrelétrica de Samuel deixou óbvio, desde o começo do processo de planejamento para a referida barragem, que seria necessário encontrar fontes adicionais de energia elétrica. Foram elaborados planos para a Barragem de Ji-Paraná no Rio Ji-Paraná (Machado) de Rondônia a um de três locais selecionados para barragens naquele rio. A Barragem de Ji-Paraná criaria um reservatório de 957 km<sup>2</sup> (Brasil, ELETRONORTE, 1987), e inundaria 107 km<sup>2</sup> (6%) da Área Indígena Lourdes (das tribos Gavião e Arara), mais 37,7 km<sup>2</sup> (1,4%) da Reserva Biológica Jaru (Brasil, ELETROBRÁS, 1986, p. 6.23). Alguns dos planos anteriores teriam inundado até 60% desta reserva (Brasil, ELETRONORTE, 1987). Porque o Banco Mundial financiou estas reservas sob o Projeto POLONOROESTE, emprestar verbas para financiar a sua inundações sob um empréstimo proposto para construir a Barragem de Ji-Paraná foi descrito como “pura loucura” pelo diretor executivo do Banco Mundial, dos EUA, em uma tentativa mal sucedida para bloquear a aprovação do primeiro empréstimo setorial de energia para o Brasil em 1986 (Foster, 1986). Foram paralisadas as preparações para a Barragem de Ji-Paraná em 1989, supostamente porque a geração de energia a partir de gás natural estava para começar. Atualmente, parece improvável que a Barragem de Ji-Paraná seja construída, porque o custo imobiliário seria muito alto, já que a terra a ser inundada está quase toda localizada em uma área de assentamento. Porém, a reativação de preparativos para construção desta barragem foi recomendada recentemente em um relatório patrocinado pelo projeto PLANAFLORO, financiado pelo Banco Mundial (Bartholo Jr. & Bursztyn, 1999, p. 160-164). Este relatório também recomenda retomar os estudos de viabilidade para as outras duas barragens identificadas no Rio Ji-Paraná.



## Barragens no Rio Madeira

O Rio Madeira, embora apenas um afluente do Rio Amazonas, é um dos grandes rios do Mundo, com uma vazão de água igual ao do Rio Yangzi na China. No trecho de 320 km entre Guajará-Mirim e Porto Velho o rio desce 60 m em elevação, com uma vazão média de 20.000 m<sup>3</sup>/s. Isto cria a oportunidade para grandes barragens hidrelétricas, apesar do problema de uma pesada carga de sedimentos no Rio Madeira.

Um relatório de pré-inventário foi completado para uma barragem na Cachoeira Teotônio ou na adjacente Cachoeira Santo Antônio (hoje o local preferido é a Cachoeira Santo Antônio), 25 km sudoeste de Porto Velho. Foram feitos vários planos, variando de 1.000 até 8.000 MW. A barragem prevista no Plano 2010 teria 3.800 MW (Brasil, ELETROBRÁS, 1987). As configurações maiores incluem inundação na Bolívia, enquanto os menores só inundariam no Brasil.

Raramente, foram mencionadas barragens no rio Madeira até 1997 e 1998, quando o plano “Úmidas” foi preparado dentro do Projeto PLANAFLORO, para sugerir direções para o desenvolvimento de Rondônia até 2020. Embutido em uma discussão prolongada de desenvolvimento sustentável, a proposta mais concreta do plano era para fazer de Rondônia um exportador de eletricidade para o centro-sul brasileiro (Bartholo Jr. & Bursztyn, 1999, p. 160-164). Uma parte fundamental disto seria apressar os trabalhos para determinar a viabilidade de represas no Rio Madeira, especialmente, a Hidrelétrica de Santo Antônio [8°, 48’ 52,4” Sul, 63° 53’ 41,3” Oeste]. Outras recomendações eram ampliar a usina térmica gás natural planejada em Porto Velho, que usaria gás natural de Urucu, retomar estudos para barragens hidrelétricas no Rio Ji-Paraná, com uma divisão sugerida da queda em mais barragens que as três atualmente planejadas (com um total de 1.295 MW de capacidade instalada), aproveitar os 241 MW de potencial inventariado para 64 pequenas barragens hidrelétricas em Rondônia para as quais ELETROBRÁS/ELETRONORTE fez estudos preliminares. Além de exportar energia para São Paulo, o plano sugestia atrair indústrias para Rondônia. O projeto Úmidas é endossado pelo governo do Estado de Rondônia e por partes do governo federal. Com esta combinação de fatores, está faltando apenas o financiador.

Durante o “apagão” (grande blecaute) em 2001, com o racionamento de eletricidade em vigor na maior parte do país, subitamente, planos para barragens no Rio Madeira tornaram-se proeminentes no Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Esses planos foram considerados dentro de uma perspectiva de instalação de 6.300 MW para a Hidrelétrica de Santo Antônio e de 4.200 MW para a Hidrelétrica de Jirau [9° 15’ 47,9” Sul, 64° 43’ 52,4” Oeste], uma barragem mais a montante (Corrêa, 2001).

Em março de 2003, o governo anunciou planos de Furnas Centrais Elétricas e a empreiteira Odebrecht para construir barragens no Rio Madeira, com uma euforia no Ministério das Minas e Energia que foi descrita como se um novo campo petrolífero tivesse sido descoberto (*Jornal do Brasil*, 2003). No entanto, nas Hidrelétricas de Santo Antônio e de Jirau seriam reduzidas as respectivas capacidades instaladas em 43 e 7%, em comparação com os valores originalmente divulgados, a primeira hidrelétrica ficando em 3.580 MW (dos quais 2.185 seriam de energia firme) e a segunda em 3.900 MW (dos quais 2.285 seriam de energia firme); a construção começaria em junho de 2005 e geração teria início em 2009, com a conclusão da instalação de todas as turbinas prevista para 2012 (Machado, 2003). Os reservatórios seriam relativamente pequenos: 138 e 110 km<sup>2</sup>, respectivamente (Machado, 2003). O custo seria US\$4 bilhões, sem contar a linha de transmissão para ligar as barragens à rede nacional (Quintella, 2003). Uma barragem adicional (presumivelmente a Hidrelétrica binacional Brasil/Bolívia de Guajará-Mirim, de 1.500 MW, planejada no Madeira/Mamoré) seria necessária para elevar a capacidade instalada até os níveis originalmente contemplados (Monteiro, 2003).

Inundar as corredeiras no Rio Madeira e abrir o trecho para navegação fluvial, esperado a transportar 50 milhões de toneladas de soja anualmente, são argumentos importantes para as barragens (Machado, 2003). Facilitar o transporte de soja implica perdas de floresta no Brasil e no norte da Bolívia (Fearnside, 2001b). Uma atração fundamental do plano também é que evita as barreiras reguladoras que atualmente impedem dois outros projetos de energia devido a litígios judiciais que requerem melhorias significativas nas avaliações de impacto ambiental: o gasoduto Urucu-Porto Velho (*A Crítica*, 2003) e a Hidrelétrica de Belo Monte, no Rio Xingu (Pinto, 2002). A barragem do Rio Madeira ofereceria uma alternativa ao gasoduto para fornecer energia para Rondônia e

contribuiria energia hidrelétrica à rede nacional em uma escala que os planejadores tinham esperado obter rapidamente de Belo Monte.

## Gasoduto

Geração de eletricidade com gás de Urucu, situada a 500 km ao NW de Porto Velho, é uma prioridade máxima sob o programa Avança Brasil (Consórcio Brasileira, 1998). Este programa inclui o Plano Plurianual 2000-2003, além de um horizonte de planejamento indicativo até o fim de 2007. Avança Brasil investiria US\$43 bilhões na Amazônia, dos quais US\$20 bilhões seriam para infraestrutura com impactos ambientais (veja: Carvalho *et al.*, 2001; Fearnside, 2002b; Laurance *et al.*, 2001). É provável que o gasoduto resulte em aumentos significativos no desmatamento, já que pode ser esperado que migrantes seguem as estradas de acesso (Laurance *et al.*, 2001; Fearnside, 2002c; Gawora, 1998). Assim, o gasoduto abriria o acesso ao último grande bloco de floresta não perturbada na Amazônia brasileira, considerando que, em função da dificuldade de acesso, o desmatamento tem sido excluído quase completamente da porção do Estado do Amazonas ao oeste do Rio Madeira.

## CUSTOS DA HIDRELÉTRICA DE SAMUEL

### Custos Monetários

A Hidrelétrica de Samuel foi orçada em US\$835,97 milhões (Lobato, 1993). A construção começou em março de 1982 e a ELETRONORTE esperava ter todas as 5 turbinas instaladas até 1990. Demoras sucessivas devido a restrições orçamentárias, indubitavelmente, aumentaram os custos reais. A primeira turbina foi instalada em 24 de julho de 1989 e a última no dia 02 de agosto de 1996.

Uma variedade de problemas emergiu durante o processo de construção, quase sempre requerendo despesas adicionais, como por exemplo, o aparecimento de "canalículos" ou cavidades formadas por térmitas no solo debaixo da barragem (Júri, 1989). O problema foi resolvido através de construção de um rio acima manta de concreto para alongar o caminho de filtração (Cadman, 1989).

Nenhuma informação jamais foi liberada especificando o custo final da barragem e suas linhas de transmissão. Sob a suposição otimista que a

barragem custou os US\$835,97 milhões originalmente orçados, o custo era US\$3.870 por quilowatt instalado ou, aproximadamente, igual à Balbina que também está em um rio pequeno em uma região plana, imprópria para desenvolvimento hidroelétrico (Fearnside, 1989a). Considerando uma cifra redonda de US\$1 bilhão para a construção da Hidrelétrica de Balbina, esta barragem custou US\$4.000 por quilowatt de capacidade instalada. Para fins de comparação, Tucuruí custou US\$675/quilowatt e Itaipú US\$1.206/quilowatt (Veja, 1987, p. 30).

Assim como em Balbina e Tucuruí, um aço especial foi usado nas turbinas, acrescentando custos à construção, mas estes custos poderiam ser recuperados devido aos custos evitados de manutenção provenientes da corrosão que a água ácida causa em aços comumente usados. O aço especial foi usado porque a Hidrelétrica de Curuá-Una tinha sofrido consertos e perda de geração por causa de corrosão das turbinas (Brasil, ELETROBRÁS/CEPEL, 1983). A Hidrelétrica de Samuel não teve nenhum problema com corrosão de turbinas.

### Custos de oportunidade

O custo de uma represa, normalmente, é apresentado em termos do dinheiro gasto para construir a infraestrutura e levar a cabo tarefas preparatórias necessárias, incluindo os estudos de viabilidade e o reassentamento. No entanto, o custo de oportunidade em sacrificar o uso da terra que teria ocupado o local se esse não fosse usado para uma represa também deveria ser parte da decisão sobre a construção uma barragem. Neste caso, a área estava coberta por floresta tropical, que tem um valor significativo por seus serviços ambientais (atualmente não compensado financeiramente), além de seu valor como uma fonte de matérias primas (Fearnside, 1999b, 2000). No entanto, a Hidrelétrica de Samuel se situa em uma das áreas com as taxas de desmatamento mais altas do planeta: na época quando a construção começou em 1982 a população de Rondônia estava crescendo exponencialmente à taxa de 16% por ano e as áreas desmatadas estavam se expandindo a mais de 29% por ano (ambos os valores referem ao período 1975-1985; veja: Fearnside, 1989b, p. 8), correspondendo a tempos de duplicação de somente 4,3 e 2,4 anos, respectivamente. Hoje, se a área não tivesse sido usado para um reservatório, provavelmente, seria

uma paisagem dominada por pastagem degradada, como nas áreas vizinhas de assentamento. Poderia ser considerado, portanto, como tendo um custo de oportunidade por perda de floresta muito menor em Samuel do que em casos como a Hidrelétrica de Balbina, onde floresta foi inundada em uma área que quase certamente não teria sido desmatada na ausência da represa. No entanto, os migrantes que teriam se instalado em Samuel provavelmente acharam áreas de terra em outro lugar em Rondônia ou mesmo em outros estados amazônicos, onde eles poderiam derrubar a mesma quantidade de floresta. Visto deste modo, toda a área de floresta inundada por Samuel deve ser considerada como um custo.

Um custo de oportunidade financeiro também se aplica a decisões deste tipo. A Hidrelétrica de Samuel era um meio caro de abastecer energia ao Estado de Rondônia e, o estímulo de migração de população para Rondônia era uma escolha cara como resposta para os problemas sociais causados pela mecanização da agricultura e pela consolidação fundiária no Paraná (Fearnside, 1986a, 1987a). Dinheiro poderia ter sido usado de outros modos, assim criando maiores benefícios sociais. Além de despesas monetárias, o custo ambiental de usar Rondônia como uma válvula de escape para os problemas da posse da terra do Paraná era também tremendo.

O uso ineficiente do dinheiro contribuiu indiretamente a um dos maiores problemas da Amazônia: o estímulo ao desmatamento para especulação da terra. Durante os anos oitenta, enquanto a Hidrelétrica de Samuel estava sendo construída, os investidores especularam maciçamente em compras de terra como meio de fazer vantagem frente à inflação astronômica do Brasil (uma motivação para desmatamento que diminuiu em importância relativa de 1994 em diante, depois que o Plano Real reduziu a taxa de inflação). Esta inflação, em parte, foi abastecida por projetos mal concebidos que injetaram dinheiro na economia sem produzir um fluxo correspondente de produtos para consumidores comprarem com o dinheiro. Exemplos incluem barragens ineficientes e fazendas marginalmente produtivas na Amazônia. Especuladores desmatam nas áreas que eles compram como meio de proteger o investimento em terra contra perda por invasão por migrantes sem terra ou por expropriação pelo governo para fins de reforma agrária; eles plantam pastagens que, apesar

de sua baixa produtividade, é o meio mais barato de ocupar uma grande área (Fearnside, 1993).

## CUSTOS AMBIENTAIS

### Perda de floresta

A Hidrelétrica de Samuel tem 0,40 Watts de capacidade instalada por m<sup>2</sup> de área de reservatório (Tabela 1), menos da metade da média de 1 Watt/m<sup>2</sup> para os 100 × 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup> de represas planejadas, também um valor muito baixo (Rosa *et al.*, 1996, p. 134). Nos melhores locais para barragens na região a densidade energética pode exceder 10 Watts/m<sup>2</sup>, mas densidades tal altas frequentemente, são enganosas, porque elas não incluem os impactos rio-acima de represas menos favoráveis que regulam a vazão e aumentam a capacidade instalada que pode ser efetivamente usada (Fearnside, 1996).

Um pouco de confusão existe sobre a área correta do reservatório de Samuel. De acordo com os funcionários da ELETRONORTE na represa, a área do reservatório é de 540 km<sup>2</sup> ao nível operacional normal de 87 m acima do nível médio do mar. Publicações da ELETRONORTE antes de encher o reservatório deram a área a esta elevação como 645 km<sup>2</sup>, enquanto uma medida de LANDSAT feita pelo INPE com imagens de 1989 indicou 465 km<sup>2</sup> (veja: Fearnside, 1995, p. 11). No entanto, o reservatório só terminou de encher em julho de 1989, e a dificuldade de distinguir a terra seca da floresta moribunda em água rasa pode responder pela diferença. A área de 540 km<sup>2</sup> na cota de 87 m será usada no atual trabalho. A área ao nível máximo da água de 87,4 m é 586 km<sup>2</sup>, e ao mínimo histórico de 72 m é 135 km<sup>2</sup> (baseado em áreas ajustadas do Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1987]).

Na Hidrelétrica de Samuel, foram perdidos 420 km<sup>2</sup> de floresta, depois de deduzir dos 540 km<sup>2</sup> de área total do reservatório os 29 km<sup>2</sup> de leito fluvial (calculado a partir de Brasil, ELETRONORTE, s/d, [C. 1986], veja: Fearnside, 1995, p. 11) e os 91 km<sup>2</sup> previamente desmatados (Fearnside, 1995, p. 11). Porque o reservatório é localizado em uma área relativamente plana, foram construídos 57 km de diques para limitar a expansão lateral do reservatório e assim aumentar o desnível de elevação que poderia ser criada sem inundar uma área ainda maior.



Planos originais teriam resultado em perda de floresta adicional, como eles pediram construção de uma segunda represa a montante de Samuel em Monte Cristo, 8 km a jusante da cidade de Ariquemes (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1985]). Regulamento do fluxo do rio por este reservatório de 243 km<sup>2</sup> aumentaria a energia firme em Samuel de 60 para 70 MW, e as duas usinas juntas teriam energia firme de 95 MW. No entanto, o estado avançado de assentamento na área de Ariquemes fez com que, atualmente, seja improvável, já que desapropriação da terra para o reservatório de Monte Cristo seria politicamente inviável.

### Perigosa exceção para exploração madeireira

Desde 1965, o Brasil proibiu a exportação de madeira em tora, assim forçando as companhias madeireiras a, pelo menos, fazer uma quantidade mínima do beneficiamento no Brasil e contribuir para a criação de emprego. No entanto, uma exceção especial foi aberta nesta proibição para permitir troncos de Samuel serem exportados (Nogueira, 1988). De 1987 a 1989 uma cadeia contínua de barcaças chegava ao porto de Itacoatiara com toras para carregar em navios, e um navio carregado com toras partiu a cada 15 dias, principalmente para a China (Figura 3).

### Sedimentação

A erosão do solo é uma grande fonte de sedimentos entrando na represa de Samuel (Graham, 1986). Desde a época da construção, grande parte da bacia hidrográfica foi ocupada por áreas de assentamento,



**Figura 3.** Toras em uma barcaça em Itacoatiara (fevereiro de 1988) esperando carregamento em navios rumo à China. A exceção aberta na proibição da exportação de madeira em tora para troncos oriundos do reservatório de Samuel era, segundo notícias, usada como cobertura para exportação de toras vindo de toda a parte ocidental da Amazônia.

e o desmatamento para agropecuária tem sido difundido, assim resultando em maior perda de solo. Um estudo de sedimentos no Lago Paca (no Rio Jamari 6 km rio acima da sua confluência com o Rio Madeira) usou técnicas cronológicas de <sup>210</sup>Pb para demonstrar um aumento de ordem-de-magnitude na taxa de sedimentação desde 1961 devido à erosão do solo em áreas de assentamento e devido à mineração de cassiterita (Forsberg *et al.*, 1989).

Resíduo de mineração de cassiterita (minério de estanho) representa outra fonte de sedimentos nas bacias de drenagem afetadas, tendo como efeito negativo a sedimentação mais rápida do reservatório de Samuel. Uma operação de mineração (Mineração Oriente Novo, que pertence ao grupo Paranapanema) liberou grandes quantidades de sedimento no Rio Preto (um afluente na bacia hidrográfica de Samuel) até que foi parado em 1986 por uma ordem judicial federal. Outras operações na bacia hidrográfica de Samuel, tais como as minas BRASCAN, armazenam os seus resíduos atrás de pequenas barragens de retenção. A mineração de cassiterita, atualmente, é mínima devido ao baixo preço de estanho.

### Eossistemas aquáticos

Eossistemas aquáticos no trecho do rio atualmente ocupado pelo reservatório foram completamente alterados. O curso sinuoso do rio anda 255 km pelo reservatório, que tem um comprimento de 134 km, ou 122 km em linha reta. A conversão de um sistema de água corrente (lótico) para um de água parada (léntico), inevitavelmente, envolve a perda de muitas espécies de peixes e outros organismos, e aumentos relativos na abundância de outros. Isto é, especialmente verdade quando como no caso de um reservatório como o Samuel, água ao fundo do reservatório torna-se anóxica durante uma boa parte do ano. A Hidrelétrica de Samuel tem um tempo médio de renovação de 0,4 anos (Rosa *et al.*, 1997, p. 44); este é um período fora do comum por ser muito longo para a gota média de água permanecer no reservatório, e é mais que duas vezes o tempo equivalente de 0,14 ano em Tucuruí (que já é considerado longo). A montante do reservatório de Samuel a interrupção da migração anual de peixe (“piracema”) pode ser esperada, fato que alterará a composição de espécies que habitam o rio. Antes de fechar a barragem, foram colecionadas 86 espécies de peixe na área em março e abril de 1986 (dos



Santos, 1986). O Rio Jamari propriamente dito tem 186 espécies de plâncton em um total de 210 na bacia do Jamari (Mera, 1985, p. 6, 9), demonstrando a alta diversidade de espécies aquáticas.

Na represa de Samuel a maior parte dos peixes e da atividade de pesca se encontram nos trechos superiores do reservatório. O reservatório como um todo não tem muitos peixes, embora tenha havido uma explosão de algumas populações de peixes nos primeiros anos. A existência da Rodovia BR-364 ao longo de uma margem do reservatório fez com que a pesca sem autorização tivesse se proliferada. Uma cooperativa de pescadores foi fundada, mas depois foi abandonada.

A cidade de Itapoã do Oeste quer que a ELETRONORTE estoque alevinos de peixe no reservatório de Samuel (de Oliveira, 2001). No entanto, estocar alevinos é, frequentemente, ineficiente como meio para produção de peixes, porque diferente de aquicultura em lagoas pequenas, os alevinos colocados em um reservatório tem baixa probabilidade de ser recapturados. O mesmo investimento feito na promoção de aquicultura poderia resultar em maior produção de peixe.

Assim como em outros reservatórios construídos na Amazônia, a população de macrófitas (plantas aquáticas) explodiu nos primeiros anos após o enchimento da represa de Samuel. A ELETRONORTE mediu as áreas de macrófitas em 1996 e 1997, mas decidiu que áreas cobertas por macrófitas não eram, suficientemente, grandes na época que justificasse a continuação das mensurações. Medidas feitas usando o satélite LANDSAT de áreas de macrófita (na estação seca) indicaram 48% da superfície de reservatório como cobertos em 1989, percentagem que depois caiu exponencialmente até 0,08% em 1998 (de Lima, 2002, p. 47). As principais macrófitas flutuantes são *Salvinia*, *Eichhornia* e *Oricularia* (esta última espécie é um indicador de água de baixa fertilidade). Adicionalmente, é comum, nas áreas rasas, uma planta enraizada conhecida como “poligano” (na família Poliganaceae).

Para ecossistemas a jusante da barragem, a queda do teor de oxigênio na água representa a mudança com maior efeito. O manejo da água em Samuel é o pior possível para a qualidade da água a jusante, haja vista que, praticamente, toda a água é passada pelas turbinas (o vertedouro não tem sido usado desde 1996). Felizmente, não havia muitos residentes ribeirinhos nas margens do rio a jusante da barragem

e, assentamentos são limitados a famílias isoladas. O trecho do rio abaixo da represa que depende completamente da água liberada pela Hidrelétrica de Samuel é relativamente curto, já que o Rio Candeias entra no Jamari 42 km a jusante. Portanto, a qualidade da água melhora abaixo deste ponto. O Rio Candeias, com uma vazão média de 315 m<sup>3</sup>/s (abril de 1976 a março de 1996: Brasil, ANEEL s/d [C. 1999]), ou 90% do fluxo do Jamari, é um rio grande o bastante para melhorar, substancialmente, a qualidade da água, pelo menos nos meses quando o fluxo é alto (*i.e.*, com exceção dos meses de agosto a novembro). Além disso, um rio muito pequeno, o Rio Novo, entra no Jamari 3 km a jusante de Samuel.

### Lençol freático

Estresse nas árvores que se encontram nas margens do reservatório é visível em imagens de satélite LANDSAT, onde as falsas cores reproduzidas nas imagens da área ao redor do reservatório indicam uma faixa de vegetação que não é nem a floresta saudável (longe do reservatório) nem as árvores mortas no reservatório propriamente dito. A alteração do lençol freático é a provável explicação. Elevação do lençol freático também é uma das principais reclamações da cidade de Itapoã do Oeste, perto do reservatório, onde as ruas se tornam lamaçais e diversos canais foram construídos na tentativa de escoar o excesso de água (de Oliveira, 2001).

### Emissões de gases de efeito estufa

Emissões de gases de efeito estufa representa uma preocupação importante com a construção de represas hidrelétricas em áreas de floresta tropical. Haja vista que, são produzidas emissões de várias fontes e todas devem ser incluídas para ter estimativas válidas. Decomposição de biomassa acima da água (as porções das árvores que projetam sobre a superfície de água: Figura 4) é significativo, especialmente, na primeira década depois da formação do reservatório. Quando a madeira sofre decomposição, libera gás carbônico (CO<sub>2</sub>), considerando que metade do peso seco da madeira é carbono. A biomassa calculada antes de inundar indicou um estoque médio acima do solo de 425 t/ha (Revilla Cardenas & Amaral, 1986, p. 4), mas o nível de incerteza é alto (Brown *et al.*, 1995, Martinelli *et al.*, 1988). O reservatório raso (profundidade média 8,4 m no nível operacional normal) e uma grande gama de flutuação vertical (até 15 m) significam que muito da biomassa



Figura 4. O reservatório de Samuel com árvores inundadas (março de 2001).

inundada projeta-se fora da água, onde pode se deteriorar sob condições aeróbicas. Em 1990, que é o ano base para inventários nacionais de gases de efeito estufa sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, a Hidrelétrica de Samuel emitiu uma quantidade calculada em 1,13 milhões de toneladas de carbono pela decomposição acima da água (Fearnside, 1995, p. 16).

A quantidade de madeira no reservatório diminuiu, substancialmente, desde a época em que o reservatório foi enchido, embora muito ainda permaneça. Na maioria dos anos, houve fogos na área de deplecionamento (a área de terra exposta quando o nível da água no reservatório desce). Uma exceção foi o ano 2000, quando nenhum fogo aconteceu por causa da maior precipitação durante a estação seca daquele ano. Por outro lado, grandes fogos aconteceram na seca do ano El Niño de 1997-1998. O fogo entra na área de deplecionamento a partir de pastagens vizinhas, e nestas áreas, as gramíneas crescem rapidamente quando o solo está exposto, porém depois as gramíneas secam. Quando as gramíneas pegam fogo, a madeira morta da floresta queima junto com as gramíneas. Assim, os troncos carbonizados

das árvores em pé que sobreviveram à queimada projetam para fora da água no reservatório. Em áreas perto da Rodovia BR-364 houve alguma colheita de madeira da área de deplecionamento para fornecer lenha a padarias, deixando estas áreas desnudadas de madeira.

O metano ( $\text{CH}_4$ ) é produzido quando decomposição acontece sob condições anóxicas no fundo do reservatório. A madeira das árvores mortas é bastante resistente à decomposição sob estas condições. Mas, a matéria vegetal verde e macia, como macrófitas e a vegetação que surgiu nas áreas de deplecionamento, se decompõem rapidamente, liberando metano. Por tonelada de gás, o  $\text{CH}_4$  tem 21 vezes mais impacto sobre o efeito estufa do que o  $\text{CO}_2$ , considerando os potenciais de aquecimento global (GWPs) com um horizonte de tempo de 100 anos adotados pelo Protocolo de Kyoto, ou 25 vezes maior considerando os GWPs do mesmo tipo como revisado no Terceiro Relatório de Avaliação do Painel Intergovernmental sobre Mudanças do Clima (IPCC)(Houghton *et al.*, 2001).

A Hidrelétrica de Samuel tem uma área de deplecionamento, extraordinariamente, grande, relativo ao tamanho do reservatório. Operação normal tem uma flutuação de 12-14 m entre os níveis operacionais máximo e mínimo, com recorde de 15 m tendo sido alcançado uma vez. Para comparação, o reservatório de Itaipú opera com uma flutuação de apenas 20-40 cm. As grandes áreas de lamaçais expostas se tornam verdadeiras “fábricas” de metano: a vegetação macia que cresce decompõe lá sob condições anóxicas quando é inundada depois.

O reservatório estratifica de julho a novembro ou dezembro (período de água baixa). Durante o resto do ano não é estratificado, e há oxigênio na coluna de água toda até o fundo. Quando é estratificado, o conteúdo de oxigênio é próximo zero debaixo da termoclina (*i.e.*, abaixo de aproximadamente 10 m de profundidade) e está, aproximadamente, o mesmo quando emerge das turbinas. Quando o reservatório é estratificado a termoclina pode ser quebrado se houver uma friagem ou se houver uma chuva pesada. Isto, normalmente, acontece 2-3 vezes durante os 6 meses da estação seca, especialmente no período de junho a agosto. Friagens na Amazônia ocidental são comuns, diferente da Amazônia oriental, por exemplo, em Tucuruí. Quebrar a termoclina por uma friagem permite a emissão de um grande pulso

de metano. O efeito de friagens, provavelmente, não é capturado pelas cortas campanhas de monitoramento que foram realizadas até agora para medir as emissões de superfície na represa de Samuel: duas campanhas de quatro dias no período de junho-julho e uma em setembro, feitas por de Lima (2002, p. 42), mais duas campanhas de pequena duração, sem especificação da época do ano, feitas por Rosa (1996).

A grande quantidade de erosão na bacia muito desmatada fornece uma fonte ininterrupta de nutrientes para sustentar o crescimento de macrófitas (e.g., Pereira Filho, 1990). Embora as macrófitas diminuíssem depois da explosão inicial, pode ser esperado que elas mantenham uma cobertura maior quando em equilíbrio em uma hidrelétrica com muito desmatamento na área de captação (como Samuel) do que em um reservatório com relativamente pouco desmatamento (como Balbina). As macrófitas fornecem uma fonte ininterrupta de carbono facilmente decomposto e, conseqüentemente, de emissões de  $\text{CH}_4$ .

Além do carbono de macrófitas e plantas inundadas nas áreas de deplecionamento, carbono introduzido pela erosão do solo na bacia também pode prover uma fonte para formação de metano. Neste caso, uma contabilidade completa teria que deduzir o impacto de efeito estufa do  $\text{CO}_2$  que teria sido liberado da oxidação de parte deste carbono na ausência da represa. Este ajuste, provavelmente, seria pequeno, tanto porque uma porção do carbono seria depositada em sedimentos e não sendo liberada para a atmosfera (não necessariamente muito menos que sob o cenário com o reservatório), e porque, por tonelada de carbono,  $\text{CH}_4$  tem 7,6 vezes mais impacto que  $\text{CO}_2$  sobre o efeito estufa (a um GWP para  $\text{CH}_4$  de 21, em termos de peso de gás).

Emissões de superfície variam, sendo estreitamente dependente do hábitat dentro do reservatório, altas emissões vêm de massas de macrófitas e de áreas de árvore em pé, e baixa emissão vem da calha do rio. O reservatório raso contribui para as emissões de metano, como menos do  $\text{CH}_4$  sendo liberado ao fundo em forma de bolhas é oxidado a  $\text{CO}_2$  na coluna de água. Emissões de superfície medidas por de Lima (2002, p. 90) no reservatório de Samuel eram, em média,  $69,7 \pm 106,4 \text{ mg CH}_4/\text{m}^2/\text{dia}$ , o triplo do valor de  $13,6 \pm 14,5 \text{ mg CH}_4/\text{m}^2/\text{dia}$  medido no mesmo estudo em Tucuruí. A diferença é atribuída ao reservatório ser mais raso na Hidrelétrica de Samuel e ao

longo tempo de renovação da água, que é o dobro do tempo em Tucuruí (de Lima, 2002, p. 69).

A água que atravessa as turbinas pode ser uma grande fonte de emissões de metano, já que a queda leva quantidades grandes de água de perto do fundo do reservatório. Quando a pressão da água cai de repente na hora que a água emerge das turbinas, muito do gás de metano dissolvido na água é liberado (Fearnside, 2004). Dados da Barragem de Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.*, 1997, 1999), na Guiana francesa, indicam emissões significantes da água turbinada em reservatórios tropicais. A concentração de metano na água aumenta com profundidade na coluna de água. Em Samuel uma concentração de  $6,0 \text{ mg CH}_4/\text{litro}$  de água foi medida em março de 1989 por Tundisi a uma profundidade de 30 m (Rosa *et al.*, 1997, p. 42). Março não é uma época do ano que o reservatório é estratificado, fazendo com que este seja uma subestimativa da concentração de metano a profundidade durante o período estratificado. Água que contém tal concentração de metano alta produziria emissões de gás de efeito estufa significativas quando liberada pelas turbinas, como em Tucuruí (Fearnside, 2002a).

As emissões anuais para 1990 e 2000, em Samuel, expressadas em termos de carbono equivalente a carbono de  $\text{CO}_2$ , estão resumidas na Tabela 3. As emissões em 1990 (importante por causa do inventário nacional sob a Convenção de Clima) não inclui as emissões altas no primeiro ano e antes do começo de geração de energia, por uso de cimento durante a construção da barragem. Emissões de gases de efeito estufa diminuem com tempo, como é mostrado pelos valores de 2000. O fato que a liberação de gás de efeito estufa é mais alta nos primeiros anos de uma represa representa uma das diferenças principais entre barragens hidrelétricas e combustíveis fósseis em termos do efeito estufa. A maneira em que isto deveria ser levado em conta é um dos principais debates sobre a contabilidade de gases de efeito estufa, com implicações para a tomada de decisão sobre políticas de mitigação (veja: Fearnside, 1997, 2002b). Quanto maior o peso dado aos resultados de impactos a curto prazo, maior o impacto de represas hidrelétricas quando comparado com os combustíveis fósseis.

Emissões de gases de efeito estufa representam um impacto significativo a partir de represas hidrelétricas em áreas tropicais que, geralmente, não são levados em conta ao descrever os benefícios de barragens. Grande parte da indústria hidrelétrica



ainda alardeia barragens como sendo energia “limpa” (Veja: International Rivers Network, 2002). Embora a geração de energia com combustível fóssil, frequentemente, seja pior que por energia hidrelétrica numa perspectiva de aquecimento global, este não é o caso em locais desfavoráveis como Samuel. A emissão em Samuel (Tabela 3) deixa claro que a Hidrelétrica Balbina não fica sozinha com a distinção de ser uma represa que tem maior impacto sobre o efeito estufa do que seria o caso com a geração da mesma energia a partir de petróleo. Em 1990, Samuel teve 11,6 vezes mais impacto que o combustível fóssil que deslocou, esta relação, subsequentemente, diminuiu estabilizando em um nível ainda impressionante de 2,6 vezes mais impacto em 2000. No reservatório raso de Samuel, grandes flutuações no nível da água, e a pequena produção de energia explicam a emissão alta da represa em relação aos seus benefícios. Para fins de comparação, a Hidrelétrica de Balbina emitiu 20,1 vezes mais que o combustível fóssil que substituiu em 1990, três anos após o enchimento do reservatório (Fearnside, 1995), enquanto a Hidrelétrica de Tucuruí em 1990 (seis anos após o enchimento) emitiu 1,8-2,6 vezes mais, considerando emissões em 1990 de 7,0-10,1 milhões de t C em Tucuruí (Fearnside, 2002a), 2,5% perda de transmissão (presumido ser igual a Balbina, seguindo Fearnside, 1997), e as mesmas emissões de combustível fósseis por unidade de energia usada para Samuel.

## CUSTOS SOCIAIS

### Reassentamento

Um total de 238 famílias foi reassentado da área de submersão (Munasinghe, 1988, p. 5). Os 50 km da Rodovia BR-364 que foram inundados representou a fonte principal deste deslocamento de população (Brasil, ELETRONORTE, s/d [2003]). Esses deslocados da área de reservatório foram movidos ao projeto Rio Preto do Candeias (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1989]). Dos chefes de família, 10% tiveram uma ocupação declarada como seringueiros (Brasil, ELETRONORTE, 1990, p. 43).

Além disso, 20 famílias de Cachoeira de Samuel (o local da barragem, que era um lugar de banho para visitantes de Porto Velho nos finais de semana) foram transferidas em 1984 para Vila Candeias, na margem da Rodovia BR-364, a 20 km de Porto Velho. Seis anos mais tarde estas

famílias ou houberam desaparecido, ou não eram mais distinguíveis como uma comunidade (Brasil, ELETRONORTE, 1990).

A formação do reservatório cortou o transporte por estrada, separando de uma área de assentamento estabelecida pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). A ELETRONORTE forneceu um serviço de balsa que une esta área ao sistema viário, mas o serviço é incerto e tem sido um ponto de tensão entre a ELETRONORTE e a população circunvizinha (de Oliveira, 2001).

### Povos indígenas

Nenhum povo indígena foi inundado por Samuel. No entanto, a represa pode ter produzido impactos na tribo Uru-Eu-Uau-Uau que habita as cabeceiras do Rio Jamari, cortando a migração de peixes e contribuindo para atração de população adicional a Rondônia, levando à pressão crescente em áreas indígenas (Leonel, 1987, p. 30). Proximidade da área indígena Karitiána foi considerada como uma ameaça à tribo Karipúna, que tinha uma população de apenas 175 indivíduos (Koifman, 2001, p. 417).

## SAÚDE

### Mosquitos

Criação de um reservatório como Samuel pode prover criadouros para vetores de doenças, tais como o mosquito anofelino que transmite a malária. A Hidrelétrica de Samuel fica situado entre Ariquemes, que é conhecido como o “capital mundial da malária” (veja: Ellis *et al.*, 1988), e Porto Velho, que foi coroado o “o campeão mundial da malária” em 1995, com 29.000 casos naquele ano (Almeida & Rodrigues, 1996). Embora a incidência muito alta de malária tenha sido uma característica desta área muito antes da construção de Samuel, a presença do reservatório, provavelmente, piorou a situação. Até 21,8 picadas de anofelinos por pessoa por hora foram contadas no local da barragem, (março de 1987), com médias mensais de até 9,0 picadas/pessoa/hora (Tadei, 1987, p. 6).

Além de mosquitos anofelinos, Samuel resultou em uma explosão de mosquitos do gênero *Culex* (Luz, 1994). Em setembro de 2001, enxames de mosquitos sobre a superfície do reservatório no começo da manhã eram suficientes para obrigar a suspensão de coleta de dados sobre emissões de metano (de Lima, 2002, p. 43).



## Contaminação por Mercúrio

Um dos impactos de represas hidrelétricas na Amazônia é a liberação de mercúrio (Hg) do solo na sua forma tóxica (metil mercúrio). Embora a garimpage do ouro não seja um problema na bacia hidrográfica de Samuel, os solos inundados pelo reservatório contêm mercúrio oriundo de fontes naturais. Isto ocorre porque os solos amazônicos têm milhões de anos de idade e vêm acumulando mercúrio gradualmente pela deposição em chuva e em particulados oriundos de erupções vulcânicas e outras fontes ao redor do Mundo. As condições anóxicas no fundo do reservatório fornecem o ambiente propício para metilização de mercúrio que aumenta em concentração por, aproximadamente, um fator de dez vezes com cada elo na cadeia alimentar, desde plâncton até peixes e, por último, nas pessoas que comem os peixes. A concentração parece seguir um padrão de aumentar durante vários anos, depois seguido por uma diminuição, mas diferenças entre reservatórios e o número limitado de medidas disponíveis impedem conclusões mais robustas.

Em Samuel, as únicas medidas disponíveis foram feitas em 1991 (dois anos depois de encher o reservatório), e indicaram uma concentração de mercúrio total de 0,33 mg/kg de peso fresco de peixe em tucunaré (*Cichla ocellaris* e *C. temensis*) (Malm *et al.*, 1995). Tucunaré é um peixe predatório que compõe a maior parte da captura comercial em reservatórios amazônicos, inclusive em Samuel. Estima-se que 80% do mercúrio total contido no peixe estão na forma metilada (a forma venenosa) (Kashima *et al.*, 2001). A concentração máxima de mercúrio total em peixe considerada segura para consumo humano no Brasil era 0,5 mg/kg de peso fresco até 1998, quando o critério foi revisado para cima até 1,0 mg/kg de peso fresco. A pergunta de que níveis são seguros é uma questão controversa (Kaiser, 2000). O padrão da Organização Mundial da Saúde de 0,5 mg/kg de peso fresco está baseado na suposição de que um ser humano de 70 kg consumiria 60 g de peso fresco de peixe por dia (WHO, 1976). Porém o consumo de peixe de, aproximadamente, 200 g diárias pelas pessoas que vivem ao lado dos rios e reservatórios amazônicos indica que os níveis de mercúrio em peixe teriam que ser muito mais baixos [aproximadamente 0,15 mg/kg de peso fresco] para satisfazer o mesmo padrão de segurança (Weisser, 2001, p. 5). Este fato não significa que os residentes ribeirinhos deveriam deixar de consumir peixe, já que os impactos

negativos de má nutrição na hipótese de não comer peixe pudessem exceder o impacto do mercúrio contido no peixe consumido (Cleary, 1996).

Foram encontrados níveis altos de mercúrio em peixe na Represa de Tucuruí onde mercúrio total alcançou 1,1 mg/kg de peso fresco de peixe em tucunaré seis anos depois de encher o reservatório (Porvari, 1995). Porém, uma medida feita 16 anos depois de encher o reservatório de Tucuruí encontrou uma média de 0,3 mg/kg de peso fresco em tucunaré (Santos *et al.*, 2001). O declínio na concentração de mercúrio em Tucuruí tem sido considerado fortuito, uma vez que alguns reservatórios mantenham níveis altos durante até 30 anos (Olaf Malm, comunicação pessoal, 2003).

O mercúrio em peixe é refletido nas concentrações no cabelo das pessoas que os comem, como observado no caso das concentrações altas em Tucuruí seis anos depois de encher o reservatório (Leino & Lodenius, 1995). Dados sobre o reservatório de Balbina permitem reconstruir a evolução ao longo do tempo da história de contaminação por mercúrio nesse caso. Mudanças na concentração de mercúrio nos cabelos de mulheres eram datadas por meio do seccionamento de amostras de cabelo de mulheres com cabelos compridos, assim revelando que os níveis de mercúrio eram baixos antes de inundar o reservatório, seguido por uma elevação abrupta com o enchimento do reservatório, e uma gota depois que concentração alcançasse um cume 11,2 anos depois de encher o reservatório (Weisser, 2001, p. 37). A queda pode ter sido causada por declínio na concentração de mercúrio nos peixes, e pelo efeito da quantidade de pescado colhida do reservatório ter diminuído como resultado da queda da fertilidade da água, assim forçando os residentes a comer frango, peixe criado em piscicultura e carne de boi, em vez de comer peixe do reservatório (Bruce R. Forsberg, comunicação pessoal, 2001). Em Balbina, a concentração de mercúrio total em tucunaré era, aproximadamente, 0,34 mg/kg de peso fresco em 1996, 8,4 anos depois de encher o reservatório (Kehrig *et al.*, 1998). A média não ponderada de concentração de metilmercúrio entre as duas espécies de tucunaré em 17 espécimes é 0,27 mg/kg peso fresco (Kehrig *et al.*, 1998) é equivalente a 0,31 mg/kg peso fresco de mercúrio total se é presumido que metilmercúrio correspondia a 80% de mercúrio total (Kashima *et al.*, 2001). A série de amostras de cabelo de residentes em Balbina indica uma duplicação das concentrações de mercúrio nos cabelos das mulheres

que comeram peixe entre o ano da medida em peixe (1996) e o pico na concentração no cabelo em 1999 (Weisser, 2001, p. 37). Comparações entre estudos e reservatórios são complicadas por uma correlação positiva significativa entre o comprimento de um peixe e a concentração de mercúrio na sua carne em tucunaré (Weisser, 2001). Mercúrio nivela em tucunaré em Balbina mais que dobrou entre 1992 e 1997 para peixes de qualquer determinado comprimento (Weisser, 2001, p. 44). Uma elevação, seguida de e queda na contaminação por mercúrio, semelhante à de Balbina, teria acontecido em Samuel, mas uma série temporal de dados para Samuel não existe.

## MEDIDAS MITIGATÓRIAS

### Reserva florestal

A instalação da Hidrelétrica de Samuel ofereceu a oportunidade para criação de uma área protegida pela Secretaria Especial do Meio-Ambiente (SEMA), do governo federal, que esteve desde então incorporado no Instituto Brasileiro do Meio-Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Paulo Nogueira Neto, que dirigiu a SEMA, pode ser considerado um mestre em capitalizar oportunidades para criar áreas protegidas, como exemplificado pela estação ecológica que ele criou em Samuel (Fearnside, 2003). A Estação Ecológica de Samuel foi criada adjacente ao reservatório em 1989. Aproximadamente 4.700 ha dos 20.854 ha de área foram inundadas (Brasil, ELETRONORTE, 1990, p. 60). Em 2002, estações ecológicas foram redesignadas como “reservas ecológicas” sob o novo Sistema Nacional das Unidades de Conservação (SNUC).

### Salvamento da fauna

Enquanto o reservatório estava enchendo, uma operação de salvamento da fauna, foi realizada na tentativa de coletar animais que se refugiaram nas copas das árvores e removê-los para áreas de floresta pertos à reserva florestal associada à Samuel (de Sá, 1992). Dos 16.000 animais salvos, foram soltos 2.854 na reserva, o restante foram enviados para instituições de pesquisa (11.417) ou sacrificados para coleções de museu ou de pesquisa (1.729). Libertar os animais, na verdade, não reduz a mortalidade dos animais, porque os indivíduos colocados em outros lugares nas florestas entram em competição com os indivíduos que já estão lá, e a população como um todo reverte

logo ao nível que tinha antes das introduções (veja Gribel, 1993). Em Samuel, a biomassa de primatas na reserva ecológica adjacente foi calculado em  $154 \pm 65 \text{ kg/km}^2$  em 1988 antes de encher o reservatório, aumentando para  $255 \pm 109 \text{ kg/km}^2$  em 1990, e voltando para  $153 \pm 81 \text{ kg/km}^2$  em 1991 (de Sá, 1995). A biomassa de pássaros na reserva também aumentou quando o reservatório foi inundado, seguido por um declínio a partir de 1990. Foram vistos padrões semelhantes com cutias (*Dasyprocta fuliginosa*) e o veado amazônico (*Mazama spp.*) (de Sá, 1995).

Uma quantidade incomum de informações sobre a vida selvagem e o efeito do programa de salvamento de fauna está disponível para Samuel, graças aos esforços de Rosa de Sá que andou 1.224 km de transetos no período 1989-1991 para inspecionar populações de mamíferos e pássaros na reserva adjacente ao reservatório e em uma área testemunha em floresta a jusante da barragem (de Sá, 1995). Embora reconhece as melhorias que a ELETRONORTE fez nos seus procedimentos desde a época do salvamento de fauna em Tucuruí cinco anos antes, o estudo indica que permanece fundamentalmente inalterado o problema básico desta abordagem, isto é que é ineficaz e muito caro como uma medida de conservação. Em Tucuruí, foram soltos todos os animais capturados perto do reservatório, onde a sua sobrevivência não só era problemática por causa de competição com as populações de animais que já habitavam as florestas aos pontos de liberação e também porque estas florestas estavam sendo cortadas rapidamente (não havia nenhuma área protegida). Em Samuel, muitos dos animais capturados foram doados para instituições de pesquisa em vez de serem liberados (uma prática iniciada em Balbina), e a criação de uma área protegida adjacente ao reservatório era uma melhoria importante. Em Tucuruí, a operação de salvamento custou US\$30 milhões, ou US\$134,80 por animal salvado (a maior parte de que eram artrópodes); o custo era US\$280 por indivíduo se são considerados apenas pássaros e mamíferos (Johns, 1986 citado por de Sá, 1995, p. 7). Não foram liberadas cifras sobre custo para a operação de salvamento em Samuel, mas o fato de que é muito caro é inevitável. Nas palavras de Rosa de Sá (1995, p. 110), “operações de salvamento se tornaram uma estratégia de relações públicas usada por companhias de energia para satisfazer a opinião pública.”

Do ponto de vista de manter a biodiversidade, um investimento na proteção de florestas existentes teria um retorno muito maior de que operações de salvamento de fauna, mas este tipo de investimento

tem um valor mais baixo para relações públicas para as companhias. A recomendação de Rosa de Sá (1995, p. 110-111) é que as operações de salvamento sejam limitadas a espécies que entram em um ou mais das categorias seguintes: 1.) espécies classificadas como “em extinção” ou “vulnerável”, ou pela União Mundial de Conservação (IUCN) ou através de outros critérios [em Samuel, espécies classificadas como vulnerável por IUCN incluíram o tamanduá bandeira (*Mirmecophaga tridactyla*), tatu-açu (*Priodontes maximus*), e o macaco aranha (*Ateles paniscus*)], 2.) espécies incapazes de escapar da inundação, 3.) espécies que poderiam ser usadas para pesquisa (como as cobras, escorpiões e aranhas de Samuel que eram usados para desenvolvimento ou produção de vacinas e outros medicamentos) e 4.) espécies que poderiam ser usadas para restabelecer populações dizimadas em outro lugar. Só deveriam ser liberados animais em áreas que, previamente, fossem estudadas e fossem achadas para ter populações diminuídas (por exemplo, devido à caça). Outros investimentos, tais como a criação de unidades de conservação e contratação e treinamento de profissionais em conservação de vida silvestre, têm que receber prioridade maior que a atividade breve, mas fotogênica, de capturar e liberar animais.

## CONCLUSÕES: AS LIÇÕES DA HIDRELÉTRICA DE SAMUEL

A Hidrelétrica de Samuel ilustra uma variedade de aspectos do processo de tomada de decisão que impediu a escolha de opções de desenvolvimento baseado em uma avaliação anterior das relações de custos e de benefícios, incluindo consequências ambientais e sociais. Tomada de decisão racional sobre implementação de um determinado projeto de desenvolvimento depende de uma avaliação precisa e imparcial de ambos os lados deste equilíbrio. A Hidrelétrica de Samuel tem custos ambientais e sociais significativos, mas também tem benefícios reais. Alguns impactos significantes eram imprevisíveis devido ao conhecimento técnico-científico limitado na época da decisão para construir a barragem, especialmente, nos casos de emissões de gases de efeito estufa e contaminação por mercúrio. O papel político da represa significou que o cronograma das decisões era incompatível com a sucessão lógica por meio de que informações são coletadas sobre as várias opções, comparações são feitas e, finalmente, uma decisão é tomada.

A avaliação de alternativas foi ausente quase completamente no caso de Samuel. Entre estas alternativas estava a possibilidade de esperar uma solução mais definitiva para o fornecimento de energia ao Estado de Rondônia, já que a capacidade de Samuel rapidamente se tornou insuficiente para suprir a demanda crescente. A barragem ilustra o dilema de: 1) suprir demanda em um modo estritamente incremental, até mesmo quando as opções (como Samuel) identificadas por esta abordagem são financeiramente caras e de impacto alto relativo aos seus benefícios, ou 2) implementar soluções temporárias (como geração térmica) até que opções a longo prazo mais atraentes pudessem ser implantadas. Estas opções incluíram abastecer o Estado de Rondônia por uma linha de transmissão ligada à rede nacional brasileira, exploração de jazidas de gás natural no estado vizinho do Amazonas e, e a construção de projetos hidrelétricas mais potentes em outros locais em Rondônia. Claro que, estas opções também têm impactos que precisariam ser comparados, mas a possibilidade de transmissão a partir da rede nacional seria, especialmente, favorável porque a rota de linha de transmissão por Rondônia e Mato Grosso já é desmatada. O caso de Samuel ilustra a necessidade por flexibilidade quando o balanço de impactos ambientais e de benefícios do projeto muda, significativamente, durante o período de planejamento e construção, neste caso devido à melhoria da tecnologia de transmissão de energia à distância e a descoberta de gás natural. Muitos dos impactos de Samuel aplicam em outros lugares nas barragens hidrelétricas planejadas na Amazônia e em outras áreas tropicais. Muitos dos desafios de tomada de decisão para implantação de barragens são aplicáveis a projetos de desenvolvimento em toda parte do Mundo.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq AI 523980/96-5; 350230/97-98; 465819/00-1; 470765/01-1) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA PPI 5-3150; 1-3160; 1-3620) pelo apoio financeiro. Agradeço a os funcionários da ELETRONORTE em Samuel pela paciência durante minhas visitas em 1987, 1995 e 2001. Reinaldo I. Barbosa, José Francisco de C. Gonçalves e dois revisores anônimos fizeram comentários úteis sobre o manuscrito. Também agradeço o Darrell Posey, que me acompanhou em Samuel



em 1995 e encorajou que eu escrevesse este trabalho. Este trabalho é uma tradução de Fearnside (2005).

## APÊNDICE:

### Parâmetros para Emissões de gases de Efeito Estufa

Área de reservatório em 1990 foi presumida ter 540 km<sup>2</sup>, que correspondam à área no nível operacional normal, já que todas as turbinas ainda não haviam sido instaladas. Para o ano 2000, quando toda vazão do rio estava sendo usada para geração de eletricidade, uma estimativa grosseira pode ser derivada presumindo que a área média do reservatório era de 239 km<sup>2</sup> que é a área que corresponde ao ponto central entre o volume máximo e mínimo do reservatório (baseado em Brasil, ELETRONORTE, s/d [1987], ajustado, proporcionalmente, para uma área cheia de 540 km<sup>2</sup>). Emissão média de metano da superfície foi de 69,7 mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/dia (de Lima, 2002). Esta estimativa para emissões de superfície pode ser considerada conservadora, já que ignora o efeito de áreas de macrófitas que têm emissões mais altas do que a água aberta.

Emissões das turbinas para 1990 presumem que a vazão era igual à média a longo prazo de 366 m<sup>3</sup>/s (Brasil, ANEEL, 2003), e que as turbinas operaram à capacidade plena, puxando 171 m<sup>3</sup>/s cada (Brasil, ELETRONORTE, s/d [1987]) com uma turbina que opera durante o ano inteiro, acrescentou a segunda turbina depois que foi instalado em 30 de março de 1990. A profundidade na cota de 87 m acima do nível médio do mar que aplicaria à maior parte do ano 1990 seria aproximadamente 28 m à entrada das turbinas, e a concentração de CH<sub>4</sub> ajustada para o ciclo sazonal (Fearnside, 2002a, baseado no ciclo a Petit Saut medido por Galy-Lacaux *et al.*, 1997, 1999), seria 7,5 mg CH<sub>4</sub>/litro. Presumindo que são liberados 60% do metano em atravessar as turbinas, que é uma suposição, dado que a barragem falta um dispositivo especial que contribui a uma emissão de 89% em Petit Saut baseado nas medidas por Galy-Lacaux *et al.* (1997, 1999, veja Fearnside, 2002a), então as emissões das turbinas em Samuel em 1990 somaram 0,24 milhões de toneladas de carbono equivalente a C de CO<sub>2</sub>. Em 2000, suposições semelhantes conduzem a uma profundidade de 24 m na tomada d'água, uma concentração de CH<sub>4</sub> ajustada de 5,4 mg CH<sub>4</sub>/litro, e uma emissão

total das turbinas de 0,27 milhões de toneladas de carbono equivalente a C de CO<sub>2</sub>.

Samuel teria tido emissões do vertedouro em 1990 (antes da instalação de todas as turbinas). Porém, estas emissões seriam desprezíveis hoje, considerando que, praticamente, toda a água é usada nas turbinas. Nenhuma água tem sido passada pelo vertedouro desde 1996 (o ano em que a última das cinco turbinas foi instalada). Para 1990, fazendo as mesmas suposições como a referente às emissões oriundas das turbinas, a profundidade para a entrada do vertedouro era 14 m e a concentração média de CH<sub>4</sub> ajustada era 6,4 mg CH<sub>4</sub>/litro; presumindo 60% de emissão, toda a vazão que atravessou as turbinas teria liberado metano equivalente a 0,04 milhões de t de carbono de CO<sub>2</sub>.

O carbono de combustível fóssil substituído pela implantação de Samuel foi calculado baseado em 806,1 g de gás equivalente a CO<sub>2</sub>/kWh de eletricidade gerada de petróleo, a média de sete estudos (variação de 686 a 949 g) revisados por van de Vate (1996). Um ajuste é feito por uma perda de 3% na transmissão até Porto Velho (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1987]). Energia gerada em 2000 somou 533.856 MWh [=60,9 MW] (Brasil, ANEEL, 2001). Geração em 1990 foi 605.220 MWh, calculada a partir do fluxo de água e as datas de instalação das turbinas, presumindo (otimistamente) que o reservatório foi mantido no nível operacional normal durante o ano inteiro, assim gerando ao rendimento máximo de 44,41 MW/turbina (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1987]).

## LITERATURA CITADA

- Almeida, A., & J. Rodrigues. 1996. Rondônia ecológica. *Isto É* [São Paulo], 31 de janeiro de 1996, p. 90-95.
- Bartholo Jr., R.S., & M. Bursztyn. 1999. *Amazônia Sustentável: Estratégia de Desenvolvimento Rondônia 2020*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Brasília, DF. 247 p.
- Branco, C. C. 1984. No caminho do Planalto: Transformada em questão civil, a sucessão põe Andreazza e Maluf, crias de Costa e Silva, contra Tancredo Neves, o contraparente de Getúlio Vargas. *Isto É* [São Paulo]. 08 de agosto de 1984, p. 18-19.
- Brasil, ANEEL. 2001. Mapa. <http://www.aneel.gov.br/defaultmapa.html>. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Brasília, DF.



- Brasil, ANEEL. 2003. Agência Nacional de Energia Elétrica. <http://www.aneel.gov.br>. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Brasília, DF.
- Brasil, ANEEL. s/d [C. 1999]. Sistemas Georeferenciados de Interesse dos Setores de Energia e Hidrologia. Bacia 1. Sistema de Estatísticas e Informações Hidrológicas (SIH), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Brasília, DF. (CD ROM).
- Brasil, ELETROBRÁS. 1986. Plano diretor para proteção e melhoria do meio ambiente nas obras e serviços do setor elétrico. ELETROBRÁS, Diretoria de Planejamento e Engenharia, Departamento de Recursos Energéticos. Brasília, DF. (mimeografado). Paginação irregular.
- Brasil, ELETROBRÁS. 1987. *Plano 2010: Relatório Geral. Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010 (Dezembro de 1987)*. Centrais Elétricas do Brasil (ELETROBRÁS), Brasília, DF. 269 p.
- Brasil, ELETROBRÁS. 1993. *Plano Nacional de Energia Elétrica 1993-2015: Plano 2015*. Centrais Elétricas do Brasil (ELETROBRÁS), Brasília, DF.
- Brasil, ELETROBRÁS/CEPEL. 1983. Relatório Técnico Final No. 963/83: Estudo Comparativo de Manutenção nas Usinas de Curuá-Una e Moxotó. ELETROBRÁS/Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), Brasília, DF. 48 p.
- Brasil, ELETRONORTE. s/d [C. 1985]. UHE Samuel. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 15 p.
- Brasil, ELETRONORTE. s/d [C. 1986]. Reservatório da UHE Samuel: Levantamento Planimétrico. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. Escala: 1:40.000.
- Brasil, ELETRONORTE. s/d [C. 1987]. UHE Samuel. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 22 p.
- Brasil, ELETRONORTE s/d [C. 1989]. Enchimento do reservatório: Usina Hidrelétrica de Samuel-Rondônia. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 16 p.
- Brasil, ELETRONORTE. s/d [2003]. Usina Hidrelétrica Samuel. <http://www.eln.gov.br/meiosam1.htm>. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF.
- Brasil, ELETRONORTE. 1990. Estação Ecológica de Samuel: Plano de Manejo. Departamento de Estudos de Efeitos Ambientais, Divisão de Ambiente Terrestre, Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 126 p.
- Brasil, ELETRONORTE. 1987. UHE Ji-Paraná. Maio-87. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 8 p.
- Brasil, Furnas. 2004. Usina de Manso - 210 MW. WEBFURNAS - Furnas Centrais Elétricas S.A. <http://www.furnas.com.br/>
- Browder, J. O. 1986. *Logging the Rainforest: A Political Economy of Timber Extraction and Unequal Exchange in the Brazilian Amazon*. Ph.D. dissertation in city and regional planning, University of Pennsylvania, Philadelphia, Pennsylvania, E.U.A. 393 p.
- Browder, J. O., & B. J. Godfrey. 1997. *Rainforest Cities: Urbanization, Development, and Globalization of the Brazilian Amazon*. Columbia University Press, New York, E.U.A. 429 p.
- Brown, I. F., D. C. Nepstad, W. W. Thomas, M. Z. Moreira, C. A. C. Ferreira, & R. L. Victoria. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: An example from Rondônia. *Forest Ecology and Management* 75: 175-189.
- Cadman, J. D. 1989. Energy from the Amazon. *Civil Engineering* Dezembro de 1989: 54-57.
- Carvalho, G., A. C. Barros, P. Moutinho, & D. C. Nepstad. 2001. Sensitive development could protect Amazonia instead of destroying it. *Nature* 409: 131.
- Cleary, D. 1996. Mercury contamination and health risk in the Brazilian Amazon: An ethical dilemma. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo* 38: 247-248.
- Consórcio Brasileira. 1998. *Programa Brasil em Ação: Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento*. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) PBA/CN-01/97. Relatório Final do Marco Inicial, Consórcio Brasileira, Brasília, DF. 3 vols.
- Corrêa, M. 2001. "A aposta agora é na Amazônia: Inventário feito pelo governo indica que se concentra no Norte 43% do potencial energético". *Gazeta Mercantil* [Brasília] 20 de julho de 2001, p. A-4.
- A Crítica [Manaus]. 2003. "MPF vê entraves para o gasoduto", 19 de março de 2003 [http://www.acritica.com.br/noticias/detalhe.asp?var\\_materia\\_id=85571](http://www.acritica.com.br/noticias/detalhe.asp?var_materia_id=85571).
- Coalição Rios Vivos. 1999. Barragens no Rio Tocantins. [http://www.riosvivos.org.br/materia.php?mat\\_id=177](http://www.riosvivos.org.br/materia.php?mat_id=177)
- da Rosa, S. L., and Z. Cardoso. 1993. Estado de Tocantins: Aportes para um desenvolvimento harmônico e autosustentado. OCTA Consultoria e Planejamento S/C Ltda., São Paulo, Brazil. 8 pp.
- de Castro, E. V., & L. M. M. de Andrade. 1988. Hidrelétricas do Xingu: O estado contra as sociedades indígenas. p. 7-23 in L. A. O. Santos, & L. M. M. de Andrade (eds.) *As Hidrelétricas do Xingu e os Povos Indígenas*. Comissão Pró-Índio de São Paulo, São Paulo, SP. 196 p.
- de Lima, I. B. T. 2002. *Emissão de metano em reservatórios hidrelétricos amazônicos através de leis de potência*. Tese de Ph.D. em energia nuclear, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, SP. 108 p.
- de Oliveira, R. J. M.. 2001. Movimento Contra as Agressões Sócio-Ambientais da UHE/Samuel "Projeto Reparar": Os peixes pedem passagem—os homens também. Prefeitura Municipal de Itapuã do Oeste, Itapuã do Oeste, Rondônia, Paginação irregular.
- de Sá, R. M. L. 1992. A view of hydroelectric dams in the Amazon, with emphasis on the Samuel Dam, Rondônia. *TCD*

- Newsletter* 25: 1-4. [Tropical Conservation and Development Program, University of Florida, Gainesville, Florida, E.U.A.].
- de Sá, R. M. L. 1995. Effects of the Samuel Hydroelectric Dam on Mammal and Bird Communities in a Heterogeneous Amazonian Lowland Forest. Tese de Ph.D. em recursos florestais e conservação, University of Florida, Gainesville, Florida, E.U.A. 140 p.
- dos Santos, G. M. 1986. *Estudos de Ecologia e Controle Ambiental na Região do Reservatório da UHE Samuel, Convênio ELN/CNPq/INPA de 01.07.82. Relatório Setorial, Segmento Estimativa da Ictiofauna. Período Jan/Junho, 1986.* Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. 38 p.
- Ellis, W. S., W. A. Allard, & L. McIntyre. 1988. Rondônia's settlers invade Brazil's imperiled rain forest. *National Geographic* Dezembro de 1988: 722-799.
- FADESP (Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa). 1996a. *Relatório de Estudos de Impacto Ambiental - ELA, referente ao projeto de implantação da Hidrovia dos rios Tocantins, Araguaia e Mortes.* FADESP, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Pará. 7 vols.
- FADESP (Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa). 1996b. *Relatório de Estudos de Impacto Ambiental - ELA, referente ao projeto de implantação da Hidrovia dos rios Tocantins, Araguaia e das Mortes.* FADESP, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Pará. 109 p.
- Faminow, M. D. 1998. *Cattle, Deforestation and Development in the Amazon: An Economic and Environmental Perspective.* CAB International, New York, E.U.A. 253 p.
- Fearnside, P. M. 1986a. Spatial concentration of deforestation in the Brazilian Amazon. *Ambio* 15: 72-79.
- Fearnside, P. M. 1986b. *Human Carrying Capacity of the Brazilian Rainforest.* Columbia University Press, New York, E.U.A. 293 p.
- Fearnside, P. M. 1986c. Settlement in Rondônia and the token role of science and technology in Brazil's Amazonian development planning. *Interciencia* 11: 229-236.
- Fearnside, P. M. 1987a. Deforestation and international economic development projects in Brazilian Amazonia. *Conservation Biology* 1: 214-221.
- Fearnside, P. M. 1987b. Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon. p. 37-61 in R. F. Dickinson (ed.) *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions.* John Wiley & Sons, New York, E.U.A. 526 p.
- Fearnside, P. M. 1989a. Brazil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environmental Management* 13: 401-423.
- Fearnside, P. M. 1989b. *A Ocupação Humana de Rondônia: Impactos, Limites e Planejamento.* (CNPq Relatórios de Pesquisa No. 5). Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília, DF. 76 p.
- Fearnside, P. M. 1993. Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. *Ambio* 22: 537-545.
- Fearnside, P. M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22: 7-19.
- Fearnside, P. M. 1996. Hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: Response to Rosa, Schaeffer & dos Santos. *Environmental Conservation* 23: 105-108.
- Fearnside, P. M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation* 24: 64-75.
- Fearnside, P. M. 1999a. Social Impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management* 24: 485-495.
- Fearnside, P. M. 1999b. Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forests: Risks, value and conservation. *Environmental Conservation* 26: 305-321.
- Fearnside, P. M. 2000. Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonia. p. 154-185 in C. Cavalcanti (ed.) *The Environment, Sustainable Development and Public Policies: Sustainability in Brazil.* Edward Elgar, Cheltenham, Reino Unido. 219 p.
- Fearnside, P. M. 2001a. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Management* 27: 377-396.
- Fearnside, P. M. 2001b. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation* 28: 23-38.
- Fearnside, P. M. 2002a. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 133: 69-96.
- Fearnside, P. M. 2002b. Time preference in global warming calculations: A proposal for a unified index. *Ecological Economics* 41: 21-31.
- Fearnside, P. M. 2002c. Avança Brasil: Environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. *Environmental Management* 30: 748-763.
- Fearnside, P. M. 2003. Conservation policy in Brazilian Amazonia: Understanding the dilemmas. *World Development* 31(5): 757-779.
- Fearnside, P. M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source. *Climatic Change* 66(1-2): 1-8.
- Fearnside, P. M. 2005. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management* 35(1): 1-19.
- Fearnside, P. M., & R. I. Barbosa. 1996. Political benefits as barriers to assessment of environmental costs in Brazil's Amazonian development planning: The example of the Jatapu Dam in Roraima. *Environmental Management* 20(5): 615-630.
- Forsberg, B., J. M. Godoy, R. Victoria, & L. A. Martinelli. 1989. Development and erosion in the Brazilian Amazon: A geochronological case study. *GeoJournal* 19: 402-405.

- Foster, H. 1986. Statement by Hugh W. Foster, U.S. Alternative Executive Director to the Board of Executive Directors. Brazil: Electric Power Sector Loan. Declaração escrita ao World Bank Board of Executive Directors, datada 19 de junho de 1986. 4 Pages (Reproduzida em: *Information Packet: Brazilian Power Sector Loan*, Environmental Defense Fund, Washington, DC, E.U.A.).
- Galy-Lacaux, C., R. Delmas, C. Jambert, J.-F. Dumestre, L. Labroue, S. Richard, & P. Gosse. 1997. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: A case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles* 11: 471-483.
- Galy-Lacaux, C., R. Delmas, J. Kouadio, S. Richard, & P. Gosse. 1999. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles* 13(2): 503-517.
- Gawora, D. 1998. Produção de petróleo e de gás natural no Estado do Amazonas: Projeto Petrobrás de gás natural de Urucú. Lateinamerika Dokumentationsstelle Brasilien, Universität Gesamthochschule Kassel, Kassel, Alemanha. 23 p.
- Gazeta Mercantil* [Brasília]. 2001. "Energia: MP fixa prazos para licenças ambientais". 15 de maio de 2001. (<http://www.gazetamercantil.com.br>).
- Goodland, R. J. A. 1980. Environmental ranking of Amazonian development projects in Brazil. *Environmental Conservation* 7: 9-26.
- Graham, D. H. Jr. 1986. *The Samuel Dam: Land Use, Soil Erosion, and Sedimentation in Amazonia*. Dissertação de mestrado em geografia, University of Florida, Gainesville, Florida, E.U.A. 75 p.
- Gribel, R. 1993. Os mamíferos silvestres e as grandes barragens na Amazônia. p. 125-140 in E.J.G. Ferreira, G. M. Santos, E. L. M. Leão, & L. A. Oliveira (eds.) *Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia, Vol. 2*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. 435 p.
- Holden, C. 1987. World Bank launches new environment policy. *Science* 236: 769.
- Houghton, J. T., Y. Ding, D. G. Griggs, M. Noguier, R. J. Van der Linden, & D. Xiaosu (eds.) 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 944 p.
- International Rivers Network. 2002. *Flooding the Land, Warming the Earth: Greenhouse Gas Emissions from Dams*. International Rivers Network, Berkeley, California, E.U.A. 18 p.
- Isto É*. [São Paulo]. 1984. "Truques sem futuro: Constituinte e ministros são temperos para tomar palatável a prorrogação de Figueiredo". 16 de maio de 1984, p. 14-17.
- Johns, A. D. 1986. *Effects of Habitat Disturbance on Rainforest Wildlife in Brazilian Amazonia. Final Report*. World Wildlife Fund U.S., Washington, DC, E.U.A.
- Jornal do Brasil* [Rio de Janeiro]. 2003. "Novas usinas serão licitadas". 10 de março de 2003. <http://jbonline.terra.com.br/papel/economia/2003/03/10/joreco20030310008.html>
- Jornal do Comércio* [Manaus]. 1986a. "Em defesa do INPA". 01 de abril de 1986, p. 2.
- Jornal do Comércio* [Manaus]. 1986b. "Schubart acha parecer sobre o Inpa alarmista". 01 de abril de 1986, p. 13.
- Junk, W. J., & J. A. S. de Mello. 1987. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. p. 367-385 in G. Kohlhepp, & A. Schrader (eds.) *Homem e Natureza na Amazônia*. Tübinger Geographische Studien 95 (Tübinger Beiträge zur Geographischen Lateinamerika-Forschung 3). Geographisches Institut, Universität Tübingen, Tübingen, Alemanha, 507 p.
- Jury, W. J. 1989. *Considerações sobre a ocorrência de canalículos em locais de barragem na região amazônica*. Masters thesis in geotechnica, Universidade de São Paulo em São Carlos, São Carlos, São Paulo, SP. 74 p. <http://ged.capes.gov.br/AgTest/silverstream/pages/pgRelatorioTesesCompleto.html?ANOBASE=1989&IDPROGRAMA=33002045009P3&SEQUENCIAL=5>
- Kacowicz, Z. 1985. Convênio ELETRONORTE/CNPq/INPA. Relatórios semestrais dos projetos "Estudos de ecologia e controle ambiental nas regiões dos reservatórios UHEs de Balbina e Samuel: Comentários. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília, DF. 3 p.
- Kaiser, J. 2000. Mercury report backs strict rules. *Science* 289: 371-372.
- Kashima, Y., H. Akagi, Y. Kinjo, O. Malm, J. R. D. Guimarães, F. Branches, & R. Doi. 2001. Selenium and mercury concentrations in fish from the lower Tapajos River and the Balbina Reservoir, Brazilian Amazon. p. 280 in *6th International Conference on Mercury as a Global Pollutant (ICMGP). Oct. 15-19, 2001, Minamata, Japan*. ICMGP, Minamata, Japão, 392 p.
- Kehring, H. A., O. Malm, H. Akagi, J. R. D. Guimarães, & J. P. M. Torres. 1998. Methylmercury in fish and hair samples from the Balbina Reservoir, Brazilian Amazon. *Environmental Research* 77: 84-90.
- Koifman, S. 2001. Geração e transmissão da energia elétrica: Impacto sobre os povos indígenas no Brasil. *Cadernos da Saúde Pública* 17:314-423.
- Laurance, W. F., M. A. Cochrane, S. Bergen, P. M. Fearnside, P. Delamônica, C. Barber, S. D'Angelo, & T. Fernandes. 2001. The Future of the Brazilian Amazon. *Science* 291: 438-439.
- Leino, T., & M. Lodenius. 1995. Human hair mercury levels in Tucuruí area, state of Pará, Brazil. *The Science of the Total Environment* 175: 119-125.
- Leonel, M. 1987. *Contribuição à integração dos componentes ambientais à avaliação do POLONOROESTE: Hidrelétricas e BR-429*. POLONOROESTE, Porto Velho & Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE), Rio de Janeiro, RJ. 61 p.
- Loebato, E. 1993. "Odebrecht faz maioria das obras do setor elétrico". *Folha de São Paulo*, 05 de maio de 1993, Página 1-7.



- Luz, S. L. B. 1994. *Estudo sobre os culicíneos (diptera: culicidae: culicinae) crepusculares e noturnos, vetores potenciais de patógenos de importância médica e veterinária na Estação Ecológica de Samuel - Rondônia*. Dissertação de mestrado em medicina veterinária, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, RJ. 94 p <http://ged.capes.gov.br/AgTest/silverstream/pages/pgRelatorioTesesCompleto.html?ANOBASE=1994&IDPROGRAMA=31002013003P3&SEQUENCIAL=20>
- Machado, J. A. da C., & R. C. R. Souza. 2003. Fatores determinantes da construção de hidrelétricas na Amazônia: Bases para a exigência de indenização. p. 209-251 in L. E. Aragón, & M. Clüsener-Godt (eds.), *Problemática do Uso Local e Global da Água da Amazônia*. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA), Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Pará. 504 p.
- Machado, O. 2003. "Hidrelétricas no rio Madeira somarão US\$ 4 bilhões em investimentos". *Canal Energia* 12 de março de 2003. <http://www.canalenergia.com.br/cenergia/calandra.nsf/0/B0172016E1B04E2203256CE70059B3E8?OpenDocument>.
- Malm, O. M. B. Castro, W. R. Bastos, F. J. P. Branches, J. R. D. Guimarães, C. E. Zuffo, & W. C. Pfeiffer. 1995. An assessment of Mercury pollution in different goldmining areas, Amazon Brazil. *The Science of Total Environment* 175: 127-140.
- Martinelli, L. A., R. L. Victoria, M. Z. Moreira, G. Arruda Jr., I. F. Brown, C. A. C. Ferreira, L. F. Coelho, R. P. Lima, & W. W. Thomas. 1988. Implantação de parcelas para monitoramento de dinâmica florestal na área de proteção ambiental, UHE Samuel, Rondônia: Relatório preliminar. Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo (relatório não publicado), 72 p.
- Mera, P. A. S. 1985. Estudos de Ecologia e Controle Ambiental na Região do Reservatório da UHE Samuel, Convênio ELN/CNPq/INPA de 01.07.82. Relatório Semestral, Segmento Zooplankton/Fitoplankton, Período Julho/Dezembro, 1985. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. 157 p.
- Mineração Taboca S/A & Perfil S/A. 1990. Estudo de Impacto Ambiental. [UHE Pitinga 2]. Mineração Taboca S/A, Manaus, Amazonas, Paginação irregular.
- Monteiro, R. R. 2003. "Furnas quer Itaipu amazônica." *Jornal do Brasil* [Rio de Janeiro]. 12 de março de 2003. <http://jbonline.terra.com.br/papel/economia/2003/03/12/joreco20030312010.html>
- Munasinghe, M. 1988. Brazil: Proposed second power sector loan: Social and environmental aspects: Background note. Memorando do Banco Mundial, datada 19 de setembro de 1988, para participantes no "briefing session on the Brazilian Second Electric Power Sector Loan". [disponível de: Bank Information Center, Washington, DC, E.U.A.], 9 p.
- Nogueira, W. 1988. "China importa madeira em toras" *Amazonas em Tempo*, 09 de março de 1988, Caderno 1, p 8.
- Pereira Filho, W. 1990. *Integração de Dados de Sensoriamento Remoto Orbital e de Campo num Sistema de Informações Geográficas Visando à Avaliação do Impacto das Características Bióticas e Abióticas da Bacia de Captação sobre as Propriedades da Água do Reservatório de Tucuruí*. Masters dissertation in remote sensing, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo.
- Pinto, L. F. 2002. "A derrota de Belo Monte". *O Estado de S.Paulo* 12 de novembro de 2002. <http://www.estadao.com.br>.
- Pires, F. B., & F. Vaccari. 1986. Alta-tensão por um fio. *Ciência Hoje* 4(23): 49-53.
- Porvari, P. 1995. Mercury levels of fish in Tucuruí hydroelectric reservoir and river Mojú in Amazonian, in the state of Pará, Brazil. *The Science of the Total Environment* 175: 109-117.
- Quintella, C. 2003. "Furnas apresenta projeto de hidrelétricas para geração de 7,3 mil MW". *Jornal do Brasil* [Rio de Janeiro], 12 de março de 2003. <http://jbonline.terra.com.br/pepel/economia/2003/03/12/joreco20030312010.html>.
- Revilla Cardenas, J. D. 1986. *Estudos de ecologia e controle ambiental na região do reservatório da UHE de Samuel. Convênio: ELN/MCT/CNPQ/INPA de 01.07.82. Relatório Setorial, Segmento: Estimativa da Fitomassa. Período julho-dezembro 1986*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. 194 p.
- Revilla Cardenas, J. D., & I. L. do Amaral. 1986. Estudos de Ecologia e Controle Ambiental na Região do Reservatório da UHE de Samuel: Convênio ELN/CNPq/INPA, de 01.07.82. Relatório Setorial. Segmento Minhocucus, Período Janeiro/Junho 1986. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. 5 p.
- Rosa, L. P. 1996. Carbon dioxide and methane emissions: Indices, definitions and applications to Brazil energy system. p. 163-178 in L. P. Rosa, & M. A. dos Santos (eds.), *Greenhouse Gas Emissions under a Developing Countries Point of View*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ. 283 p.
- Rosa, L. P., M. A. dos Santos, J. G. Tundisi, & B. M. Sikar. 1997. Measurements of greenhouse gas emissions in Samuel, Tucuruí and Balbina Dams. p. 41-55 in L. P. Rosa, & M. A. dos Santos (eds.), *Hydropower Plants and Greenhouse Gas Emissions*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, RJ. 111 p.
- Rosa, L. P., R. Schaeffer, & M. A. dos Santos. 1996. Emissões de metano e dióxido de carbono de hidrelétricas na Amazônia comparadas às termelétricas equivalentes. *Cadernos de Energia* No. 9: 109-157.
- Santos, H. S. B., O. Malm, & H. A. Kehrig. 2001. Mercury contamination in *Cichla temensis* (tucunaré) from Tucuruí Reservoir, Brazilian Amazon. p. 136 in *6th International Conference on Mercury as a Global Pollutant (ICMGP)*. Oct. 15-19, 2001, Minamata, Japan. ICMGP, Minamata, Japão, 392 p.



- Schwartzman, S. 1986. *Bankrolling Disasters: International Development Banks and the Global Environment*. Sierra Club, Washington, DC, E.U.A., 32 p.
- Schwartzman, S., & M. Melone. 1987. The multilateral development banks and the Brazilian electrical energy sector. Environmental Defense Fund (EDF), Washington, DC, E.U.A. 29 p. + anexos.
- Sondotecnica. s/d [2003]. Usina hidrelétrica Samuel. [http://www.sondotecnica.com.br/ambiente\\_br.html](http://www.sondotecnica.com.br/ambiente_br.html). Sondotecnica, SA, Rio de Janeiro, RJ.
- Switkes, G. 2002. Brazilian government pushes ahead with plans for huge dam in Amazon. *World Rivers Review* 17(3): 12-13.
- Tadei, V. P. 1987. *Estudos de Ecologia e Controle Ambiental na Região do Reservatório da UHE Samuel, Convênio ELN/CNPq/INPA de 13-01-87, Relatório de Avanço e Acompanhamento Semestral, Segmento Doenças Endêmicas-Vetores da Malária, Período Janeiro-Julho, 1987*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. 28 p.
- Tundisi, J. G., M. A. Santos, & C. F. S. Menezes. 2003. Tucuruí reservoir and power plant: Management experience brief. [http://www.worldlakes.org/uploads/Tucuruí\\_15Jun03.pdf](http://www.worldlakes.org/uploads/Tucuruí_15Jun03.pdf).
- van de Vate, J. F. 1996. Hydropower: Potential sources of greenhouse gases. In *Assessment of Greenhouse Gas Emissions from the Full Energy Chain for Hydropower, Nuclear Power and Other Energy Sources. Papers Presented at an IAEA Advisory Group Meeting Jointly Organized by Hydro-Québec and the International Atomic Energy Agency, Hydro-Québec Headquarters, Montréal (Canada) 12-14 March 1996*. International Atomic Energy Agency (IAEA), Genebra, Suíça. (I1-AG-832.4), Paginação irregular.
- Veja. [São Paulo]. 1987. "Um jogo de faraós e empreiteiros". 20 de maio de 1987, p. 28-37.
- Weisser, S. C. 2001. *Investigation of the history of mercury contamination in the Balbina Reservoir, Amazon, Brazil*. Masters thesis in environmental toxicology, Universität Konstanz, Konstanz, Alemanha, 66 p.
- WHO (World Health Organization). 1976. Environmental Health Criteria 1: Mercury. WHO, Genebra, Suíça.
- World Bank. 1981. *Brazil: Integrated Development of the Northwest Frontier*. Latin American and Caribbean Regional Office, International Bank for Reconstruction and Development (IBRD), The World Bank, Washington, DC, E.U.A. 101 p.



# Hidrelétricas de Roraima







# Capítulo 19



## **Benefícios Políticos como Barreiras à Avaliação dos Custos Ambientais no Planejamento do Desenvolvimento da Amazônia Brasileira: O Exemplo da Hidrelétrica de Jatapu em Roraima**

**Philip M. Fearnside (\*)**

**Reinaldo Imbrozio Barbosa (\*\*)**

(\*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). CEP: 69067-375 - Manaus-AM  
pmfearn@inpa.gov.br

(\*\*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). CEP: 69301-150 Boa Vista-RR  
reinaldo@inpa.gov.br

Tradução atualizada de:

Fearnside, P.M. & R.I. Barbosa. 1996. Political benefits as barriers to assessment of environmental costs in Brazil's Amazonian development planning: The example of the Jatapu Dam in Roraima. *Environmental Management* 20(5): 615-630. doi: 10.1007/BF01204135

Com atualizações em janeiro de 2014.

## RESUMO

Projetos de desenvolvimento estão modificando rapidamente a paisagem na Amazônia brasileira. As avaliações de impacto ambiental estão sendo exigidas desde 1986, e o sistema regulador está se desenvolvendo assim como os precedentes fixados para cada novo projeto de desenvolvimento. A Hidrelétrica de Jatapu em Roraima fornece uma ilustração dos impedimentos subjacentes à avaliação dos custos ambientais, e a devida consideração dada a estas avaliações quando as decisões são tomadas. A alta prioridade dada à barragem pelo governo de Roraima foi inexplicável em termos de retornos econômicos. O papel da hidrelétrica em uma estratégia política de longo prazo fornece a melhor das diversas explicações possíveis, sendo qualquer uma delas incompatível com uma ponderação “racional” dos custos e benefícios econômicos e ambientais. Algumas lições podem ser selecionadas da experiência de Jatapu, mas alguns dos problemas não possuem solução ou necessitam de forte aporte financeiro para serem adequados à realidade atual.

Palavras-Chave: Hidrelétrica de Jatapu, Amazônia, hidrelétricas, desenvolvimento hidrelétrico, Brasil, floresta tropical, avaliação de impacto ambiental.

## INTRODUÇÃO

A Hidrelétrica de Jatapu - ou, mais precisamente, o Projeto Hidrelétrico Alto Jatapu transformou-se em uma extraordinária prioridade política para Ottomar de Sousa Pinto, em seu primeiro mandato como governador de Roraima (1991-1994). Em junho de 1994 os engenheiros da hidrelétrica disseram que ele visitou o local a cada duas semanas ao longo dos 26 meses em que a barragem estava sendo construída (abril de 1992 junho de 1994), correspondendo a mais de 60 visitas antes que a obra fosse inaugurada em dezembro de 1994. Mesmo descontando possíveis exageros, um grau pouco comum de elevado interesse foi evidente.

Jatapú não é um grande desastre ambiental como os 2.360 km<sup>2</sup> do reservatório de Balbina, cuja parte superior está localizada a apenas 250 km ao sul de Jatapu. Contudo, ela ilustra problemas fundamentais com o processo de licenciamento ambiental no Brasil, especialmente quando aplicado a projetos que são prioridade política. Jatapu não foi decretado por um dos ditadores militares do Brasil; ao contrário, foi um produto de como o

caminho democrático funciona no contexto atual. O fato que os resultados nem sempre são os melhores em termos sociais e ambientais pode indicar aspectos do processo de tomada de decisões que poderiam ser melhorados.

## O PAPEL DA POLÍTICA EM DECISÕES DE DESENVOLVIMENTO

### Política *versus* “Racionalidade” Econômica

O curso dos eventos no desenvolvimento da Amazônia frequentemente aparece confuso quando visto da perspectiva do que seria economicamente “racional”, ou estreitamente definido nos termos dos retornos monetários ou, mais amplamente, incluído nos impactos ambientais e sociais. O que leva a um dado projeto de desenvolvimento receber uma alta prioridade é frequentemente melhor compreendido em termos dos benefícios políticos aos atores envolvidos em sua promoção. O equilíbrio entre diferentes tipos de custos e benefícios deve ser examinado de forma a entender como os projetos de desenvolvimento realmente são e, como o processo de tomada de decisões poderia ser modificado de modo que problemas ambientais e sociais sejam menos frequentes.

Uma análise tradicional de custo/benefício não consegue identificar quais projetos são os mais prováveis de serem levados à frente e até que ponto os controles ambientais serão contornados ou simplesmente ignorados. Projetos prioritários ganham força própria, fazendo qualquer pretensão de avaliação ambiental uma mera formalidade no caminho da construção da obra. A Hidrelétrica de Balbina fornece um exemplo da natureza dos projetos “irreversíveis” uma vez que o processo tenha sido iniciado (Fearnside, 1989). Estudos ambientais dos projetos de desenvolvimento propostos na Amazônia quase nunca servem como fonte de informação a ser considerada na decisão se o projeto deve ou não ser empreendido (Fearnside, 1986).

### Um breve sumário da política de Roraima

Roraima é um estado criado pela Constituição Brasileira de outubro de 1988 do antigo Território Federal de Roraima (conhecido como Território Federal do Rio Branco de 1943 a 1962). A partir de 1964 até 1985, quando cada estado recentemente criado ainda era um Território Federal, Roraima foi tradicionalmente governado pela Força Aérea

Brasileira, o Amapá pela Marinha e Rondônia pelo Exército. Roraima possui uma área de 224.299 km<sup>2</sup> e está situado no extremo norte do Brasil, limitado pela Venezuela e Guiana (Figura 1). Sua população na ocasião do recenseamento de 1991 era de 215.950 pessoas e, a de 1993 foi estimada em 228.479 (Brasil, IBGE, 1993). Em 2013 o IBGE divulgou que haviam 488.072 habitantes em todo o estado, indicando que a população local mais do que dobrou neste intervalo de 20 anos. Embora ainda pequeno em termos absolutos, historicamente os valores relativos para Roraima estão sempre entre os maiores do Brasil. Por exemplo, Roraima atingiu o maior crescimento populacional do Brasil entre 1980 e 1991 (9,5%/ano) e o maior incremento proporcional na taxa de desmatamento do início dos anos 1990; a taxa de 1990-1991 cresceu 161% em relação a taxa de 1989-1990 (Fearnside, 1993, p. 542). O fenomenal crescimento populacional de Roraima à época da construção de Jatapu foi principalmente causado pelas corridas de ouro e terra no estado, em vez da reprodução natural.

Até o presente, a política em Roraima gira amplamente em torno de grupos políticos que se unem ou se separam em função de interesses eleitorais. Os principais são os formados pelo já falecido ex-governador de Roraima Ottomar de Sousa Pinto (conhecido como “Ottomar”) e o liderado pelo agora Senador Romero Jucá Filho (conhecido como “Jucá”). Ottomar foi Brigadeiro da Força Aérea Brasileira e que ocupou o cargo de governador entre

1979 e 1983 (nomeado pelo Presidente Militar João Figueiredo), sendo eleito governador para o período de 1991-1994, além de Prefeito da capital Boa Vista entre 1997-2000. Reassumiu o cargo de governador em novembro de 2004, após uma manobra judicial que caçou o mandato do governador eleito (Flamarion Portela). Ottomar foi eleito pelo voto popular no pleito de 2006 quando, em pleno mandato, veio a falecer em dezembro de 2007. Em seu lugar assumiu o então vice-governador José de Anchieta Júnior que, em gratidão, rebatizou o empreendimento hidrelétrico de Jatapu como “Complexo Energético Governador Ottomar de Sousa Pinto” (Lei Estadual 636, 18 de janeiro de 2008). Anchieta deixará o cargo em 2014. Por outro lado, Jucá foi nomeado governador para o período de 1988-1990 após ser removido de seu cargo anterior como chefe da Fundação Nacional do Índio (FUNAI) devido a um escândalo no qual havia autorizado a FUNAI a servir como intermediária na venda ilegal de madeira das terras indígenas<sup>(1)</sup>. Jucá ocupa uma vaga de senador por Roraima desde o pleito eletivo de 1994.

Durante a campanha eleitoral de 1990, Ottomar prometeu trazer 50.000 famílias de colonos para Roraima vindas de outras partes do Brasil, portanto, mais do que dobrando a população do estado naquela época<sup>(2)</sup>. A alta taxa de desmatamento de Roraima é, em grande parte, devida ao sucesso passado dessa estratégia. Colonos agradecidos vindos de outras regiões do Brasil fazem dos projetos de assentamento do governo “currais eleitorais”, cujos votos são suficientes, em relação à pequena população do estado, para influenciar no resultado das eleições (*Folha de São Paulo*, 23/10/1994). Ottomar foi quem expandiu ou fundou a maioria das áreas de colonização do estado em seu primeiro mandato como Governador (Freitas, 1993, p. 199), ampliando estas áreas nos anos em que esteve no poder tendo, portanto, total apoio dos pequenos agricultores no interior. De 1990 em diante, Ottomar foi também apoiado pelas grandes companhias de mineração, enquanto que Jucá foi apoiado pelos pequenos garimpeiros (*Folha de Boa Vista*, 19/08/1994). Jucá também tem apoio da população urbana de Boa Vista, a capital do estado (a população estimada do município em 1993 foi de 151.439: Brasil, IBGE, 1993). Grandes fazendeiros e madeireiros não possuem uma linha de apoio concreta, estando divididos entre os dois campos políticos. Entretanto, estas mesmas forças, quando em busca do poder, são capazes de promover



Figura 1. Amazônia Legal.

alianças nunca imaginadas, como no caso do pleito de 2002, onde Jucá foi candidato à reeleição pelo senado na mesma chapa de apoio a Ottomar, como candidato ao governo local. Atualmente Jucá apoia o Governador Anchieta, apadrinhado político do falecido governador Ottomar.

Como um novo estado, Roraima entrou em um período de lua-de-mel (1988-1990) onde recebeu praticamente todos os seus fundos como transferências constitucionais dos recursos federais (Constituição Federal, Disposições Transitórias, Artigo 14, Parágrafo 4, Inciso I). Mesmo após este período, o governo do estado continua recebendo uma substancial parte de seus recursos através de vários tipos de transferências de fundos federais (e.g. FPE – Fundo de Participação dos Estados). Já que estas transferências não são inteiramente baseadas na população, Roraima recebe proporcionalmente mais do que os outros estados. No orçamento de Roraima para 1994, 65,3% do total eram de transferências

federais (Roraima, 1993a, p. 3-4). Estes fundos normalmente apareciam no orçamento anual do estado em categorias gerais (tais como obras públicas), mas não para projetos específicos como Jatapu. O poder executivo do estado recebe fundos diretamente do tesouro nacional, já que estas transferências estão estipuladas na Constituição Federal de 1988 (Artigo 159). Em adição a estas transferências, outros fundos são dados diretamente ao poder executivo do estado através de vários ministérios federais. Estes fundos, que não possuem destinação específica no orçamento federal, são frequentemente liberados com base em vantagens eleitorais (Bonassa, 1994)<sup>(3)</sup>.

## A HIDRELÉTRICA DE JATAPU

A Hidrelétrica de Jatapu está localizada no alto rio Jatapu no sudoeste do estado de Roraima (Figura 2). A represa começou a encher em abril de 1994. A geração de energia estava programada para iniciar em junho de 1994, mas devido a uma série de

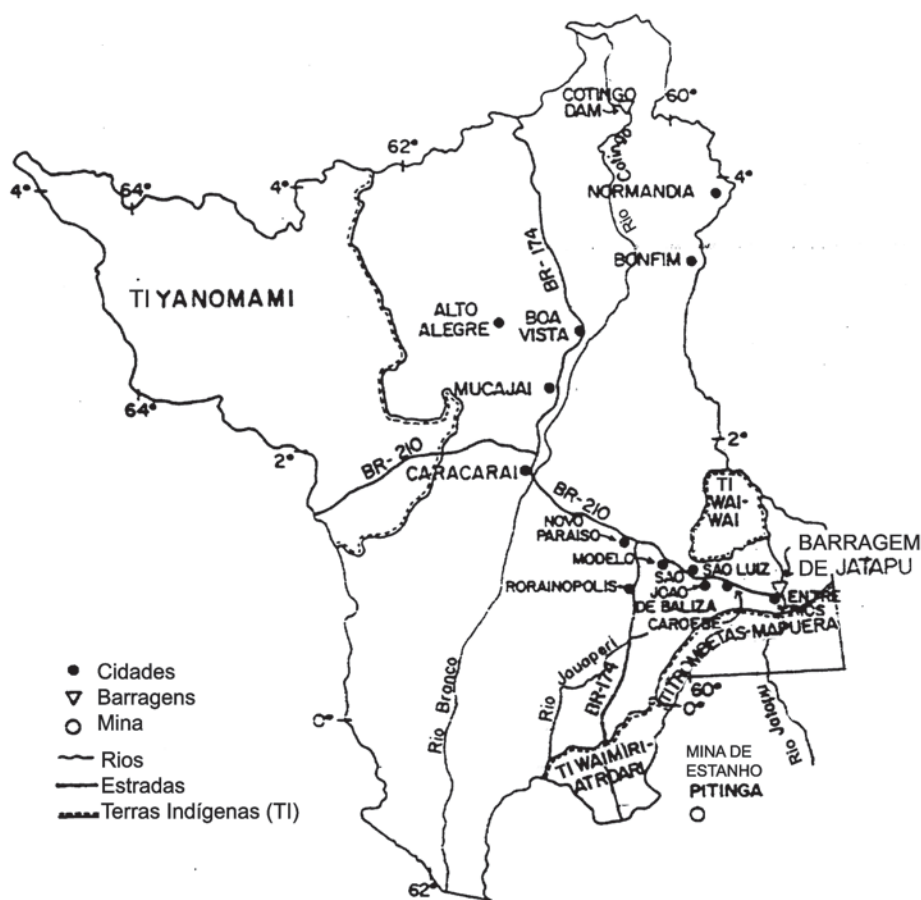


Figura 2. Roraima e a localização da hidrelétrica de Jatapu.



atrasos, somente começou em 20 de dezembro de 1994, quando a hidrelétrica foi inaugurada com apenas uma turbina de 2,5 MW em funcionamento, 11 dias antes do fim do primeiro mandato de Ottomar. A segunda turbina foi instalada em março de 1995 e a hidrelétrica vem operando atualmente com duas turbinas (5 MW de capacidade instalada, mas apenas 3,2 MW firmes), visto que o planejamento inicial previa a compra e a instalação das outras duas turbinas (fendas para a terceira e quarta turbinas e para suas entradas estão incluídas na estrutura) apenas quando a demanda energética justificasse o investimento, visto que a demanda na área na época da inauguração da hidrelétrica era menor que 1 MW<sup>(4)</sup>. O governo de Roraima esperava a complementação da capacidade nominal da barragem (10 MW) para 1999, 5 anos depois da primeira fase concluída, mas isto não ocorreu. Por isso, desde 2001 a população do sul do estado vem experimentando fases distintas de racionamento, com grandes vilas e sedes municipais ficando sem energia elétrica durante parte do dia como forma de compensar o aumento do consumo associado à redução do nível da água do reservatório devido ao período seco da região. Para compensar esse desequilíbrio, o Governo de Roraima contratou um Produtor Independente de Energia (PIE) de Rondônia (ROVEMA) ainda em 2001 (R\$ 350.000,00 / mês), que vem fornecendo energia elétrica à região através de parques térmicos movidos à óleo diesel fornecido pelo próprio Governo de Roraima (*Folha de Boa Vista Online*, 19/02/2008). O que deveria ser temporário, se tornou em longa realidade, visto que apenas em janeiro de 2014 (20 anos após sua inauguração) as obras de revitalização da usina e de instalação das duas turbinas restantes foram iniciadas a um custo estimado de R\$ 46.000.000,00 (CERR, 2013; *Portal G 1 – Roraima*, 2013). A represa foi construída pela Paranapanema Mineração, Indústria e Comércio, Ltda. e pela Companhia de Energia de Roraima (CER), do governo de Roraima. O trabalho de supervisão foi realizado pela Companhia de Desenvolvimento de Roraima (CODESAIMA), um órgão estadual. Atualmente a CERR (denominada agora Companhia Energética de Roraima) é a responsável pela supervisão das obras de revitalização. A Tabela 1 apresenta informações técnicas sobre a hidrelétrica.

A hidrelétrica consiste em uma barragem principal e seis diques, conectando uma série de montanhas. O vertedouro está localizado em um dos

diques e a casa de força sobre um outro (Figura 3). O vertedouro foi construído sob a configuração de um labirinto em zigue-zague para economizar material rochoso. A represa não possui portas de escapamento d'água; a água flui pelo vertedouro automaticamente quando alcança 116 m acima do nível do mar (originalmente planejado para 115 m).

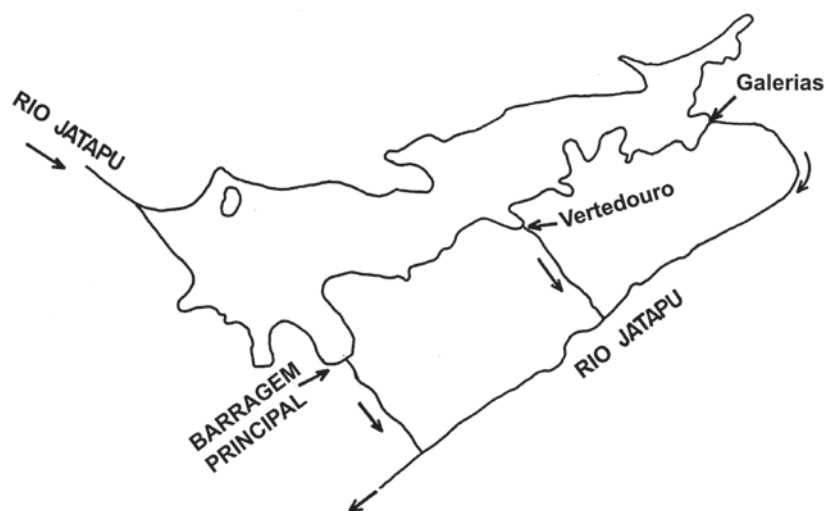
O enchimento da represa levou apenas 45 dias, porque este procedimento foi feito ao início da estação chuvosa (um mês mais tarde do que o programado). Durante a construção, o fluxo da água passou através de duas galerias, ou passagens sob a barragem principal, localizadas próximo ao leito do rio. Nas duas galerias juntas, a água poderia passar a uma taxa máxima de 210 m<sup>3</sup>/segundo (CODESAIMA, 1991: Capítulo 2, p. 4). A capacidade das galerias foi projetada para acomodar o fluxo máximo esperado na estação seca, com um intervalo de recorrência a cada 5 anos (CODESAIMA, 1991: Capítulo 7, p. 6). Na estação chuvosa, o fluxo máximo esperado a cada ano é em média de 237,7 m<sup>3</sup>/segundo (Tabela 1), portanto, excedendo a capacidade das duas galerias juntas e, enormemente excedendo a capacidade de uma única galeria. Além da falta de manutenção, este fato pode ter colaborado com os problemas de rachaduras e infiltrações nas paredes da represa observadas em 2009. Os funcionários da usina detectaram estes problemas e receavam que a represa fosse rompida pela força da água (*Folha de Boa Vista Online*, 11/03/2009). O fim do prazo para conclusão da barragem, diques e vertedouro foi, portanto, fixado pelo ciclo anual das chuvas em Roraima, que se inicia em abril-maio, com pico entre junho-julho. Dada a frequência de atrasos burocráticos no Brasil, certo risco foi envolvido. O reservatório estava também fadado a encher fora do controle humano, independente do «status» de aprovação das várias licenças da hidrelétrica. O desenho das galerias para acomodar apenas o fluxo d'água na estação seca indica que a revisão ambiental e o procedimento de licenciamento, conduzidos depois do andamento da construção e transformado o enchimento inevitável, foram meramente teatrais.

A represa começou a encher com o início das chuvas, a despeito das comportas das galerias estarem abertas. No início da época chuvosa, a entrada de uma das galerias ficou obstruída. Um dos funcionários identificou o problema como um barraco de madeira que foi jogado para a boca da galeria, junto com um tronco atravessado na entrada. O engenheiro residente, entretanto, disse que ele não sabia o que

**Tabela 1.** Características técnicas da Represa de Jatapu

	unidades	Estudo de viabilidade(a)	Outras fontes
Latitude	0°54'N		
Longitude	59°20'W		
Área de drenagem a montante da barragem	km <sup>2</sup>	2.950	
Precipitação anual média	mm	1.600	
Vazão mensal médio	m <sup>3</sup> /seg	58,9	
Vazão máximo mensal médio	m <sup>3</sup> /seg	237,7	
Vazão mínimo mensal médio	m <sup>3</sup> /seg	2,9	
Vazão máximo com retorno de 5 anos na estação seca (capacidade das galerias)	m <sup>3</sup> /seg	210	
Vazão de enchente de retorno de 25 anos	m <sup>3</sup> /seg	770	
Vazão de enchente de retorno de 100 anos	m <sup>3</sup> /seg	1.000	
Vazão de enchente de retorno de 100 anos (capacidade do vertedouro)	m <sup>3</sup> /seg	1.400	
Nível operacional máximo normal	m acima do nível do mar	115	116(b)
Nível operacional mínimo normal	m acima do nível do mar	110	
Nível máximo maximorum	m acima do nível do mar	118	
Área do reservatório ao nível operacional máximo normal	ha	1.500	3.800(c)
Área do reservatório ao nível operacional mínimo normal	ha	773	
Área do reservatório ao nível máximo maximorum	ha	1.930	
Volume total do reservatório ao nível operacional máximo normal	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	94,4	200(d)
Volume de armazenamento ativo	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	56,0	
Inunde volume de armazenamento	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	45,6	
Turbinas (tipo Francis de eixo horizontal; 2,5-MW de capacidade cada)	Número	4	
Fluxo máximo de água por turbina	m <sup>3</sup> /seg	11	11,3 (e)
Vida útil esperada do reservatório	anos	50	
Mínimo mensal médio de produção de energia	MWh/mês	1.840	
Produção anual média com 5 MW instalados	GWh/ano	39,2	
Produção anual média com 10 MW instalados	GWh/ano	65,7	

(a) CODESAIMA (1991: Capítulo 2, pp. 2-7); (b) Augusto Alberto Iglésias (comunicação pessoal, 1994); (c) INTERTECHNE CONSULTORES ASSOCIADOS S/C LTDA. (1994); (d) INTERTECHNE CONSULTORES ASSOCIADOS S/C LTDA. (1994), presumindo um nível operacional normal de 115m; (e) Placas nas turbinas.



**Figura 3.** O reservatório de Jatapu.

havia obstruído a galeria. O reservatório encheu e transbordou o vertedouro antes do esperado. O vertedouro foi terminado, mas o rip-rap de pedra ao longo do canal estava incompleto, exceto por uns poucos metros. As bordas do canal foram, portanto, erodidas, com desmoronamento evidente abaixo da saída do vertedouro. Se ambas as galerias tivessem sido obstruídas ou, se o vertedouro não tivesse sido completado, os problemas obviamente poderiam ter sido muito mais severos.

Informações sobre a área inundada da represa são extremamente conflitantes. O número citado nos documentos técnicos é de 15 km<sup>2</sup> (1.500 ha) no nível normal de operação originalmente planejado, ou 115 m acima do nível do mar (CODESAIMA, 1991: Capítulo 2, p. 4). O número de 15 km<sup>2</sup> também foi fornecido pelo presidente da CER à época (Paulo Sérgio Lemos Latgê, comunicação pessoal, 1995). O engenheiro residente, entretanto, dá a figura de 30 km<sup>2</sup>, baseado em um mapa feito a partir de fotografias aéreas pouco antes do enchimento da represa (Augusto Alberto Iglésias, comunicação pessoal, 1994). Ele também forneceu um nível de operação de 116 m, em vez de 115 m que aparece no estudo de viabilidade e nos relatórios ambientais. Vários ajustes foram feitos nas estimativas topográficas durante o processo de construção, resultando na eliminação de um dique desnecessário e aumento de altura para um dos outros diques. Levantamentos topográficos baseados em fotografias aéreas tem a desvantagem de não serem capazes de detectar o nível do solo sob as árvores, sendo baseado nas copas das árvores que podem facilmente variar em altura por vários metros. Um fax de 1994 da firma consultora INTERTECHNE para a CER indica uma área de 38 km<sup>2</sup> na cota de 116 m<sup>(5)</sup>. A área final de 38 km<sup>2</sup> é 153% maior do que a estimativa inicial de 15 km<sup>2</sup>; se este número for o correto, ele representa um novo recorde brasileiro para área subestimada. Vale notar que a subestimativa de áreas para projetos de reservatórios hidrelétricos tem se transformado em um modelo na Amazônia brasileira: Tucuruí aumentou em 13% da estimativa inicial de 2.160 km<sup>2</sup> (Goodland, 1980) para sua atual área de 2.430 km<sup>2</sup> (Brasil, ELETRONORTE, s/d [1987], p. 24-25), enquanto Balbina aumentou em 90% seus 1.240 km<sup>2</sup> (Brasil, ELETRONORTE/MONASA/ENGE-RIO, 1976, p. B-55) para 2.360 km<sup>2</sup> (Brasil, ELETRONORTE, 1987)<sup>(6)</sup>.

Considerando a área do reservatório em 38 km<sup>2</sup> e a capacidade de 10 MW na segunda fase, a represa

inunda 380 ha/MW de capacidade instalada. Isto é alto, mesmo para os padrões amazônicos. Os 250 MW da Hidrelétrica de Balbina colocam-se como o pior precedente possível por alagar 944 ha/MW de capacidade instalada. Considerando os 5 MW da capacidade atualmente instalada em Jatapu, a represa inundou 760 ha/MW, um impacto por megawatt que se aproxima ao de Balbina. A área inundada por megawatt em Jatapu é 12 vezes maior que os 62 ha/MW inundadas pela Hidrelétrica de Tucuruí, de 4.000 MW (isto permanecerá quase o mesmo quando da duplicação da capacidade projetada para ambas as represas estiver completa).

A Represa de Jatapu poderia ser operada a 1,5 m acima do nível atual da água sem alterar a casa de força, barragem ou diques (Augusto Alberto Iglésias, comunicação pessoal, 1994). A única troca necessária seria a adição de altura no vertedouro. Isto poderia aumentar a força em 25%.

Um acréscimo na saída poderia ser obtido pelo adicionamento de altura na barragem. A barragem e outras estruturas foram construídas para permitir futuros acréscimos em sua altura (Augusto Alberto Iglésias, comunicação pessoal, 1994). O relatório de viabilidade exalta o potencial do local para futuras expansões (CODESAIMA, 1991: Capítulo 3, p. 9). Se o nível de operação normal fosse elevado em 5 m, ou 120 m acima do nível do mar, o mesmo conjunto de turbinas e geradores poderia ter uma saída máxima de 12,7 MW (CODESAIMA, 1991: Capítulo 2, p. 2).

## AVALIAÇÃO E LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Nenhum Estudo de Impactos Ambientais (EIA) ou Relatório de Impactos sobre o Meio Ambiente (RIMA) foi preparado para a Hidrelétrica de Jatapu. Para os grandes projetos de desenvolvimento implantados desde 1986, estes documentos são exigidos pela legislação ambiental do Brasil (Lei No. 6.938 de 31/01/1981, Artigos 9 e 10), que é regulada pela resolução 001 de 26/01/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Contudo, barragens hidrelétricas com capacidade menor ou igual a 10 MW estão isentas (CONAMA resolução 001, Artigo 2, Incisos VII e XI). Jatapu, com exatamente 10 MW, escapa do EIA/RIMA.

A Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Interior e Justiça (SEMAIJUS)<sup>(7)</sup> foi o órgão que concedeu a Licença Preliminar (LI) e a Licença de

Instalação (LI) antes de iniciada a obra e, mais tarde, uma Licença de Operação (LO) antes do enchimento da represa. Estas decisões foram baseadas em um Plano de Controle Ambiental (PCA). Da mesma forma que os RIMAs, estes planos devem ser feitos por uma “equipe multidisciplinar qualificada” (CONAMA resolução 001 de 26/01/1986).

A CODESAIMA contratou a LABQUIM - Estudos e Consultoria do Meio Ambiente Ltda., um firma consultora de Manaus, para produzir o PCA. A firma consistia de um limnólogo e de uma professora de segundo grau que atuava como administradora. A equipe técnica foi descrita da seguinte forma no PCA da LABQUIM (CODESAIMA, 1992, p. 72):

*Os trabalhos foram desenvolvidos pela equipe técnica e multidisciplinar da LABQUIM - Estudos e Consultoria do Meio Ambiente Ltda., constituída por especialistas nas diferentes áreas que compõem o universo de um estudo desta natureza. Os trabalhos específicos foram coordenados pelo Dr. Antônio dos Santos, Diretor Técnico, com a finalidade de integrar as diferentes áreas envolvidas.*

Antônio dos Santos (limnólogo), a única pessoa da LABQUIM que visitou o local, ficou menos de 24 h em Jatapu de acordo com o geólogo da CER que o acompanhou (Edimar Figueiredo Vasconcelos, comunicação pessoal, 1993, 1995). Nenhuma coleta foi realizada. Nem mesmo as informações indiretas, frequentemente incluídas em tais relatórios, como entrevistas com os moradores locais, foram colhidas (Edimar Figueiredo Vasconcelos, comunicação pessoal, 1995).

O relatório de 72 páginas sobre Jatapu (CODESAIMA, 1992) ilustra a prática comum dos documentos ambientais preparados rapidamente através de substituição de nomes e números dentro de um texto padrão, um processo que é facilitado pela tecnologia de processamento de texto. No ano seguinte, a LABQUIM produziu um PCA para uma área de mineração proposta para o rio Negro (estado do Amazonas) e, inadvertidamente, deixou uma seção imprópria sobre corrosão de turbinas (COOGAM, 1993: Quadro 1). Nós enfatizamos que esta prática não é única da LABQUIM, mas representa um problema geral no incipiente sistema de revisão ambiental do Brasil.

Como será explicado mais tarde, o IBAMA de Brasília rejeitou o PCA de Jatapu (após 2 anos). Isto ocorreu em 07/06/1994 (Jorge Luiz Brito Cunha Reis, IBAMA parecer No. 057/94-IBAMA/DIRCOF/DEREL/DIAP, Brasília). Nem o atraso do IBAMA em reação ao PCA e nem a rejeição do documento afetaram a continuidade da construção.

Um dos mistérios de Jatapu é porque a Secretaria Estadual de Meio Ambiente, Interior e Justiça (SEMAIJUS) levou 12 meses para conceder a licença preliminar (LP) e 19 meses para a licença de instalação (LI). Sendo um órgão estadual, seria esperado que a SEMAIJUS concedesse qualquer licença que o governo quisesse. O longo atraso é provavelmente melhor interpretado como uma ilustração de quão negligente e facilmente desprezado são as exigências de revisão ambiental.

Além disso, a ação civil pública (No. 93.000540-5) acionada pelo Procurador Público Federal em Roraima, colocou a represa sob um embargo judicial por um período de seis meses (iniciando em 01/10/93) porque as LP e LI haviam sido expedidas depois de ter iniciado a construção da barragem<sup>(8)</sup>.

O embargo judicial foi suspenso três dias mais tarde por um juiz federal em Brasília, permitindo que a construção continuasse na dependência de uma sentença a ser dada pelo juiz em Boa Vista<sup>(9)</sup>. A série de atrasos na emissão de um resultado da sentença foi suficiente para permitir a construção da barragem. O tamanho da demora, particularmente após o juiz federal já ter dado uma ordem de embargo, leva à possibilidade de que a lentidão normal do judiciário pode não ser uma explicação suficiente. Se o atraso é sinal de pressão política, isto significaria um golpe contra um dos baluartes do sistema de proteção ambiental no Brasil: a independência do judiciário.

Talvez o precedente de maior perigo na história judicial de Jatapu seja a raciocínio usado pelo Tribunal Regional Federal em Brasília para anular a liminar de 01/10/1993 que havido paralisado a obra. A justificativa foi que a continuidade do embargo causaria danos econômicos ao estado de Roraima (*Diário do Poder Judiciário (Estado de Roraima)*, 22/11/1994, p. 11). Isto abre a porta para qualquer grande obra pública. A construção de qualquer barragem hidrelétrica implica em pesados custos financeiros. Se a perda monetária se transforma em critério, doravante será impossível parar tais projetos,



independente da quanto seja flagrante o menosprezo às exigências ambientais. A justificativa vai mais adiante, afirmando que “dano ambiental” não pode servir de justificativa para uma liminar para suspender a construção<sup>(10)</sup>.

A paralisação da construção da barragem foi ordenada pelo IBAMA em 21/07/1994 quando embargos administrativos foram expedidos<sup>(11)</sup> contra o governo do estado de Roraima e a Paranapanema. Entretanto, CODESAIMA e Paranapanema obtiveram uma liminar para permitir que a construção prosseguisse enquanto o juiz decidia sobre um novo caso envolvendo Jatapu<sup>(12)</sup>. O novo caso era um contra-ataque do governo do estado em que a CODESAIMA acusou o IBAMA de emitir seus embargos com base em questões supostamente espúrias a cerca da validade das licenças emitidas pela SEMAIJUS. Este caso foi subsequentemente decidido em favor do IBAMA<sup>(13)</sup>. Este é o único dos três casos simultâneos envolvendo Jatapu em que a decisão final foi alcançada.

Após a decisão de 20/09/1994 em favor do IBAMA, o trabalho na represa prosseguiu sem que o IBAMA fizesse cumprir o seu embargo, ou emitiu um novo embargo, até que o procurador federal lembrasse à superintendente do IBAMA em Boa Vista (Jane Wanderley de Melo), que ela poderia ser considerada legalmente responsável por não cumprir as exigências federais. Ela então despachou agentes do IBAMA, acompanhados de funcionários da polícia federal, para Jatapu com a intenção de paralisar as obras. Entretanto, nesta fase, as estruturas civis já estavam terminadas. O único trabalho que ainda permanecia era o da instalação das turbinas, que não foi considerado coberto pelo embargo.

O embargo administrativo do IBAMA foi suspenso em novembro de 1994 como o resultado de um “acordo” entre o governo de Roraima e as autoridades em Brasília (Carlos Alberto Queiroz Barreto & Renato Martins Prates, comunicações pessoais, 1995). A superintendente do IBAMA em Boa Vista aparentemente atuou sob as ordens do presidente do IBAMA em Brasília. Estas ordens foram emitidas depois que um grupo liderado pelo próprio Ottomar ter estado com o presidente do IBAMA (José Ponciano Dias Filho, comunicação pessoal, 1995). A suspensão do embargo não levou em consideração nem a equipe técnica e nem o setor jurídico do IBAMA. Tudo isto ocorreu durante os 43 dias entre os dois turnos das eleições brasileiras.

## IMPACTOS E MEDIDAS MITIGADORAS

### Povos indígenas

A Hidrelétrica de Jatapu está localizada a 37 km rio abaixo da Área Indígena Wai-Wai, habitada pelo grupo Wai-Wai e, 27 km rio acima da Área Indígena Trombetas-Mapuera, habitada pelo mesmo grupo. A barragem bloqueia a rota tradicional das canoas que deslocam os índios entre as duas reservas (CIR & CPI/SP, 1993, p. 44). Os que moram a jusante da barragem também sofreriam os efeitos da alteração da qualidade da água no rio Jatapu, onde poderia esperar uma diminuição significativa das populações de peixes. A má qualidade da água também afetaria os Wai-Wai durante as suas viagens pelo rio. O parecer do IBAMA (No. 057/94 de 07/06/1994) citou a falta de informações sobre o potencial para perda de peixes e para degradação da qualidade da água a jusante, como uma das falhas do PCA. Nenhuma medida mitigadora estava planejada para a população indígena. Também neste sentido, recentemente a terra do povo Wai Wai foi ampliada para proteger um grupo de índios isolados vivendo relativamente próximo da barragem de Jatapu.

### População local

De acordo com o engenheiro residente à época, existia apenas uma pessoa vivendo na área inundada. Para esta pessoa foi dado um lote nas proximidades do Projeto de Assentamento Jatapu. Três famílias morando próximo da represa, mas fora da área de inundação, ainda permaneciam onde estavam.

### Salvamento faunístico

Em dezembro de 1993, cinco meses antes da represa ser enchida, o Jardim Zoológico do Rio de Janeiro foi convidado a submeter uma proposta para salvamento e uso científico da fauna na área do reservatório. A proposta foi feita e submetida em abril de 1994, o mesmo mês em que o reservatório estava para iniciar o enchimento (RIOZOO, 1994). A proposta previa a compra de três barcos e quatro motores de 25 HP, entre outros equipamentos. De fato, nenhum barco foi comprado, o único barco presente na área - uma canoa de alumínio com um motor usado de 15 HP - foi utilizado na operação. A equipe de salvamento ficou presente na área durante 15 dias, concentrando os seus esforços principalmente em animais com casco (jabotis), de fácil captura.

Salvamento faunístico, mesmo quando feito em grande escala, possui pouco impacto benéfico em represas hidrelétricas. Dos animais transportados para a área de floresta próxima, espera-se que entrem em competição com populações animais já presentes, eventualmente conduzindo à morte de aproximadamente o mesmo número que teria morrido se eles tivessem sido deixados para traz. Contudo, o salvamento faunístico é frequentemente um importante investimento em relações públicas. Em Tucuruí, por exemplo, um vídeo sobre o salvamento foi utilizado extensivamente pela ELETRONORTE para promover uma imagem pública favorável da hidrelétrica e do desempenho ambiental da ELETRONORTE. O salvamento em Jatapu não foi mencionado no relatório do IBAMA em uma inspeção da barragem realizada quando a equipe da RIOZOO estava na área; esta omissão é vista pela CER como uma evidência de preconceito contra a hidrelétrica por parte do IBAMA (Paulo Sérgio Lemos Latgê, comunicação pessoal, 1995).

### Remoção da biomassa

Condições de água ácida, anóxicas em reservatórios na Amazônia são resultado da decomposição da vegetação na área inundada. Remoção da vegetação minimizaria este problema, entretanto, o gasto de fazê-lo seria substancial. Outros reservatórios na Amazônia, tais como Curuá-Una, Tucuruí, Balbina, e Samuel, foram enchidos com a remoção de apenas uma pequena parcela da vegetação nas áreas inundadas. Este também foi o caso de Jatapu, onde praticamente nenhuma vegetação foi removida.

O tempo médio em que a água permanece no reservatório é de 18,5 dias<sup>(14)</sup>, o que é relativamente rápido. Este é um fator positivo para a qualidade da água, embora a decomposição da vegetação indubitavelmente ainda mantenha as condições no fundo do reservatório em condições ácidas e anóxicas. Bolhas de gás (provavelmente metano) foram prontamente evidentes quando nós visitamos o reservatório 45 dias após o fechamento da barragem.

A vegetação na área do reservatório era de floresta tropical densa, classificada pelo IBAMA como um mosaico de floresta ombrófila densa submontana (Ds) e floresta ombrófila aberta submontana (As) (Brasil, IBGE & IBDF, 1988). As biomassas totais aproximadas destes tipos de vegetação (em estado não perturbado) em Roraima são de 403 e 350 t/ha (peso seco, incluindo material morto),

respectivamente, dos quais, 307 e 267 t/ha, respectivamente, estão acima do solo (Fearnside, 1994).

A remoção completa da biomassa no reservatório nunca foi contemplada (Figuras 4 e 5). A exploração madeireira, entretanto, foi planejada. O governo do estado contratou um inventário florestal pela firma STCP Engenharia de Projetos, Ltda. (CODESAIMA, 1993). O inventário foi feito para



Figura 4. Um dos segmentos da hidrelétrica de Jatapu.

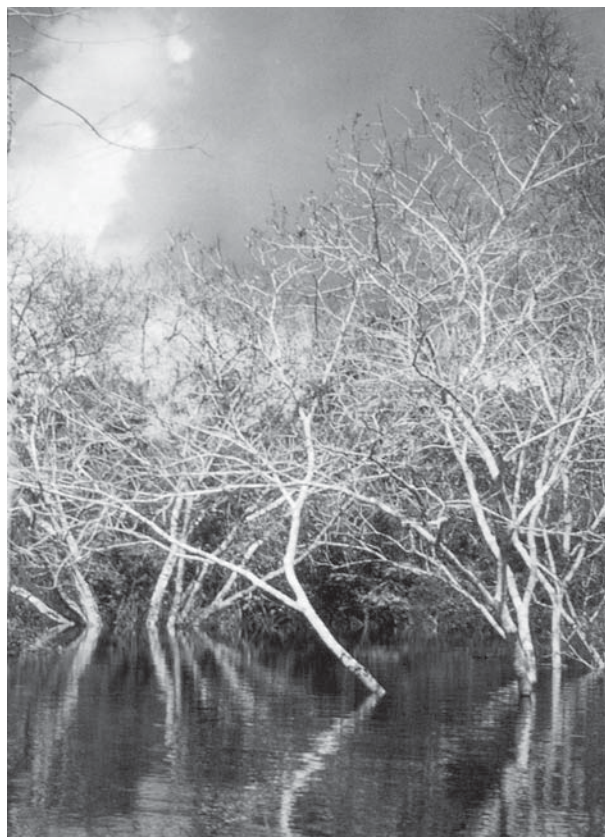


Figura 5. Copas das árvores da floresta inundada pela barragem de Jatapu.

ajudar a convencer os madeireiros a explorar a madeira do reservatório. O governo do estado tentou interessar os madeireiros em remover a madeira, mas nenhum acordo foi realizado. O curto tempo (seis meses) que sobrou entre o inventário florestal, em outubro de 1993, e a data oficialmente marcada para o enchimento do reservatório, indubitavelmente fez com que a exploração madeireira fosse pouco atraente.

Um inventário foi requisitado pelo IBAMA em 22/03/1993. Funcionários do IBAMA dizem que o inventário também foi parte de um pedido informal do IBAMA em relação aos documentos que deveriam ser submetidos em apoio à resposta do governo do estado ao embargo que havia resultado da ação civil pública do Ministério Público Federal (José Ponciano Dias Filho, comunicação pessoal, 1994). O chefe da firma consultora do Paraná, contratada para fazer o inventário foi apressadamente chamado à Boa Vista para fornecer o relatório vários dias antes do final do prazo previsto (Joésio Siqueira, comunicação pessoal, 1993). A submissão do inventário pela firma consultora, e sua entrega pela CER ao juiz federal em Boa Vista, ocorreu no mesmo dia (04/10/1993) em que a liminar foi concedida em Brasília, permitindo

que a construção continuasse enquanto o governo do estado preparava seu caso em resposta à ação civil pública. Uma coincidência desse tipo é improvável ter ocorrido ao acaso. Deve ser notado que a falta de um inventário madeireiro não constava entre as irregularidades que haviam justificado o embargo.

## Custos e benefícios monetários

Uma estimativa aproximada dos custos financeiros é dada na Tabela 2. Estes incluem construção civil, equipamentos eletromecânicos (turbinas, geradores, guindastes, etc.), 145 km de linha de transmissão de 69 kV e 230 km de linha de 13,8 kV construída para o projeto. A estes custos devem ser adicionados uma variedade de gastos não contados que também foram pagos pelo governo de Roraima. Estes incluem a estrada de acesso de 11 km que conecta o local da barragem com a Rodovia Perimetral Norte (BR-210), próxima da pequena vila de Entre Rios, o estudo de viabilidade, o plano de controle ambiental (PCA), o inventário florestal, o levantamento das possibilidades de eletrificação rural, a operação de salvamento da fauna, veículos

**Tabela 2.** Custos monetários da Barragem de Jatapu

Custo (US\$1.000)	Capacidade instalada	
	10 MW	5 MW
<b>CUSTOS DIRETOS</b>		
Construção civil	15.290(a,b)	14.762(a,b)
Equipamentos eletromecânicos	6.536(a)	3.512(a)
Linha de transmissão	11.000(a)	11.000(a)
Estrada de acesso e pontes	660(a)	660(a)
Subtotal de custos diretos	33.486	29.934
<b>CUSTOS INDIRETOS</b>		
Engenharia do canterio de obras, infra-estrutura e administração	4.700(a,e)	4.700(a,e)
<b>OUTROS CUSTOS</b>		
Estudo de viabilidade	200(c)	200(c)
Plano de Controle ambiental	50(c)	50(c)
Inventário florestal	100(c)	100(c)
Inventário de eletrificação rural	100(d)	100(d)
Transporte de postes de transmissão	400(c)	400(c)
Fábrica para doces & farinha de mandioca	300(c)	300(c)
Visitas do governador ao local da barragem	520(c)	520(c)
Subtotal de outros custos	1.670	1.670
<b>CUSTOS DE FINANCIAMENTO</b>	0(f)	0(f)
<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>39.856</b>	<b>36.304</b>

(a) Valores apresentados no estudo de viabilidade por CODESAIMA (1991, Capítulo 13, pág., 4).

(b) O engenheiro residente dá um valor de US\$23 milhões para construção civil (Augusto Alberto Iglésias, comunicação pessoal, 1994).

(c) Uma suposição.

(d) Folha Vista de Boa Vista 1 de abril de 1993.

(e) Não está claro se o custo de supervisão de CODESAIMA é incluído neste total. Se não, a quantia poderia aumentar além dos US\$300.000.

(f) Jatapu aparentemente não foi financiado. O estudo de viabilidade (CODESAIMA 1991: Capítulo 13, pág., 5) apresenta uma estimativa a taxas normais de juros (6%/semestre, composto semestralmente) que totaliza 15% da soma dos custos diretos + indiretos até que geração comece, ou US\$5.682.000 para a configuração de 10 MW e US\$5.150.100 para a configuração de 5 MW.



do governo usados para transportar postes da linha de transmissão, projetos do governo planejadas para implantação para usar a energia da hidrelétrica (como fábricas para doces e farinha de mandioca no Caroebe), supervisão do processo de construção pela CODESAIMA e, as frequentes visitas do helicóptero e outras aeronaves do governador.

De acordo com o estudo de viabilidade, a área a ser servida possuía uma população de 37.600 habitantes em dezembro de 1990, dos quais 10.800 eram urbanos (CODESAIMA, 1991: Capítulo 3, p. 3). Isto parece estar enormemente superestimado, pois o censo do IBGE de 1991 contabilizou somente 19.188 pessoas nos municípios de São João da Baliza e São Luiz do Anauá. Se presumirmos que em Novo Paraíso (no município de Caracaraí) havia uma população de cerca de 300 pessoas, a população estimada da área a ser servida por Jatapu era de aproximadamente 19.500 em 1991 e 21.000 em 1993. Fazendo uma suposição otimista de que toda a população rural é servida (além da população urbana) e, considerando a população estimada de 1993, o custo de US\$ 45,5 milhões pela hidrelétrica (Tabela 2 para a configuração de 5 MW), então, é superior a US\$ 2.100/habitante ou US\$ 10.800/família de cinco pessoas. Fazendo uma presunção mais realística de que somente 10% da população rural seriam servidos, então, o custo seria de US\$ 6.000/pessoa ou cerca de US\$ 30.200/família. A população do sudeste de Roraima indubitavelmente aumentou com o tempo, reduzindo esta cifra para pouco menos da metade em 2010, visto que os quatro municípios da região sul de Roraima (Caroebe, São Luis do Anauá, São João da Baliza e Rorainópolis) somaram juntos 45.712 habitantes naquele ano. Entretanto, mesmo com o fenomenal crescimento populacional de Roraima, seria difícil que estes custos fossem reduzidos até níveis razoáveis dentro de um horizonte de tempo normalmente utilizado para propostas de planejamento.

Dado os atrasos que ocorreram durante a construção, maiores custos do que os inicialmente previstos foram inevitáveis. O estudo de viabilidade, escrito antes que a hidrelétrica fosse construída, projetou um custo de US\$ 14,76 milhões para as obras civis em uma configuração de 5 MW (CODESAIMA, 1991, Capítulo 13, p. 4). Os US\$ 25-26 milhões gastos à época foram 70% superior do que o valor inicialmente orçado para este componente. O presidente da CER deu as seguintes razões para o custo maior: (1) não havia tantas rochas na área como

originalmente se pensava, (2) as características do solo eram diferentes das esperadas, requerendo uma base mais ampla para a barragem e um ângulo mais suave para os lados dela e, (3) a recuperação das áreas degradadas (plantação de gramíneas) não foi incluída no orçamento original (Paulo Sérgio Lemos Latgê, comunicação pessoal, 1995). Ultrapassar em muito os orçamentos originais é comum em projetos hidrelétricos. Balbina, por exemplo, custou mais do que o dobro do valor inicialmente previsto em seu estudo de viabilidade (ver Fearnside, 1989, p. 412).

Várias visões existem sobre o quanto a barragem custou realmente. Em uma propaganda especial de 12 páginas sobre Roraima, publicada na Revista *Isto É*, entre os dois turnos das eleições de 1994, Ottomar citou um valor de US\$ 30 milhões para Jatapu, enquanto que sua rival política Teresa Jucá (hoje denominada Teresa Surita) forneceu um valor (provavelmente exagerado) de US\$ 180 milhões (*Isto É*, 19/10/1994, p. 79 e 86). Uma reportagem de jornal sobre Jatapu indica um custo de US\$ 61 milhões, não contabilizando as linhas de transmissão e as estradas (*Folha de Boa Vista*, 25/08/1994). Se a cifra de US\$ 61 milhões é correta, os custos para estradas e linhas de transmissão (Tabela 2) elevariam o total para US\$ 73,7 milhões, ou 60% maior do que os US\$ 45,5 milhões estimados na Tabela 2 e usados no presente trabalho. Já que alguns dos “outros custos” incluídos na Tabela 2 podem não ter sido incluídos na soma do jornal, o total poderia ser maior ainda.

O custo de US\$ 45,5 milhões para a configuração de 5 MW, considerado neste trabalho, representa US\$ 9.106/kW de capacidade instalada - uma cifra astronômica que apenas será superada se o custo total da obra ultrapassar os 60% mencionados acima. Embora grandes hidrelétricas geralmente possuam inerentes vantagens de custos sobre barragens menores, especialmente quando os custos são considerados sem desconto (e sem os juros ao longo do período de construção), a economia de escala é insuficiente para explicar a pobre eficiência de Jatapu quando comparada com grandes barragens já existentes na Amazônia, que por sua vez não são modelos de economia. O custo de construção de Tucuruí foi de US\$ 675/kW de capacidade instalada (*Vêja*, 20/05/1987, p. 30). O custo de Jatapu



é o triplo dos inviáveis US\$ 3.000/kW de Balbina (Fearnside, 1989, p. 412).

Jatapu está aparentemente foi paga pelo governo do estado de Roraima sem financiamento. Nenhum juro foi incluído na estimativa total dos custos (ver Tabela 2). De acordo com o estudo de viabilidade (CODESAIMA, 1991, Capítulo 13, p. 5), taxas normais de juros aumentariam o custo em cerca de US\$ 5 milhões até a data em que a geração era esperada a iniciar com a configuração de 5 MW (ver Tabela 2). Estes custos, mesmo que não pagos na forma de juros de empréstimos, são indicativos de uma carga econômica adicional para Roraima, não incluída nas estimativas de custo: o custo de oportunidade de capital.

Embora Roraima tenha tido recursos suficientes para pagar os US\$ 45,5 milhões de despesas exigidos para a configuração de 5 MW, tal gasto não seria possível sem que o estado recebesse uma grande quantidade de verbas federais sem finalidade definida (ou, no mínimo, altamente flexível). O orçamento de Roraima para o período 1992-1994 continha itens para Jatapu que totalizam US\$ 69,9 milhões (Brasil, Senado Federal, 1990; Roraima, 1991, 1992, 1993a). Estes valores foram calculados usando a taxa de câmbio da data da publicação de cada balanço; correção insuficiente para a inflação poder permitir significantes reduções nos valores reais na época em que os fundos são gastos, possivelmente reduzindo o montante de despesas para um valor entorno dos US\$ 45 milhões (aproximados) de despesas de Jatapu. Deve ser mencionado que o governo de Roraima também gastou recursos em Jatapu na forma de “créditos suplementares” que não aparecem no orçamento anual do estado. Por exemplo, no período de setembro de 1992 a setembro de 1993, US\$ 4,6 milhões de tais créditos apareceram para Jatapu no diário oficial do estado.

A propaganda inicial da represa invariavelmente enfatizava que pólos agroindustriais (concentração de fábricas para processamento de produtos agrícolas) usariam a maioria da energia e, como um benefício secundário, o excesso de energia poderia se tornar disponível para a população do sudeste de Roraima. Estes empreendimentos deveriam fazer a barragem um investimento atrativo financeiramente para o estado. As indústrias que o governo do estado esperava implantar nos pólos agroindustriais são

apresentadas na Tabela 3. Com exceção da construção de uma pequena fábrica pelo governo para manufaturar doces e farinha de mandioca no Caroebe (antes uma vila do município de São João da Baliza e hoje um município autônomo), nenhuma destas indústrias existia quando a hidrelétrica foi inaugurada em 1994. Até dezembro de 2013, nenhum dos empreendimentos projetados havia se estabelecido. Além das indústrias que o governo esperava montar através da CODESAIMA, outras de propriedade privada teoricamente se sentiriam motivadas pelos pólos devido aos créditos subsidiados fornecidos pelo Banco do Estado de Roraima (BANER)<sup>(15)</sup>. Entretanto, não existiam evidências que qualquer uma delas estivesse planejando se instalar na área de Jatapu. A demanda combinada dos pólos agroindustriais planejados poderia ser satisfeita com somente 1,7 MW (Tabela 3) - não justificando uma barragem de 10 MW. O discurso em relação aos benefícios da hidrelétrica mudaram radicalmente quando o fim da construção se aproximava. Chegando ao fim da construção, os pólos industriais não eram nem de longe citados e, a distribuição de eletricidade para a população transformou-se na justificativa central. Este foi o objeto de uma intensa campanha nos meses que precederam as eleições de 03/10/1994 (e.g., *Diário de Roraima*, 06/08/1994).

Ottomar prometeu energia gratuita à população ao redor da barragem até o fim de 1994 (final de seu mandato oficial). Seu sucessor, portanto, pegou o ônus político de iniciar a cobrança pela energia elétrica, uma política que entrou em vigor nos meses de 1995. Se os retornos monetários fossem

**Tabela 3.** Indústrias que o Governo de Roraima espera localizar nos polos agroindustriais<sup>(a)</sup>

	Polo Agroindustrial	
	Anauá	Caroebe
Fábrica para doces e frutas	100 kW	100 kW
Usina de farinha de mandioca	150 kW	150 kW
Usina de pasteurização de leite	150 kW	-
Moinho e secadora de arroz	500 kW	800 kW
Sistema de irrigação (300 ha em Anauá, 500 ha em Caroebe)	600 kW	1.000 kW
Subtotais	1.500 kW	1.950 kW
Capacidade total instalada	3.450 kW	
Fator de simultaneidade	50%	
Demanda total	1.725 kW (1,7 MW)	

(a) fonte de Dados: CODESAIMA (1991: Capítulo 3, pp. 5-8).

calculados com aplicação de uma taxa de desconto, os retornos durante o primeiro ano de operação seriam especialmente importantes para a atratividade da hidrelétrica, tornando o oferecimento de energia gratuita impensável. Em termos do retorno político, contudo, a astúcia de tal ato é incontestável.

Além dos benefícios diretos da energia elétrica, uma variedade de benefícios financeiros inesperados resulta em favor dos proprietários de terras na região, principalmente para os de maiores posses. O valor da terra ao longo da estrada de acesso aumentou dramaticamente, passando de menos de US\$ 500 por um lote agrícola de 60 ha em 1992 para cerca de US\$ 3.000/lote em 1994 (Augusto Alberto Iglésias, comunicação pessoal, 1994). Vários associados do governador, proprietários de fazendas na região, são servidos pela energia<sup>(16)</sup>.

## O MISTÉRIO QUE É JATAPU

### A hipótese dos eleitores agradecidos

Por que Jatapu foi construída a um custo aproximado de US\$ 45 milhões? Este enigma não é facilmente solucionado. Na época da inauguração da hidrelétrica em 1994, a capacidade de geração nas cidades a serem servidas por Jatapu era de cerca de 2,4 MW: 1,8 MW da usina termoeletrica em São João da Baliza, 0,36 MW da usina de Rorainópolis e, mais quatro pequenas usinas que totalizam 0,192 MW. Uma vez que a área a ser servida por Jatapu possuía uma demanda menor que 1 MW quando iniciaram os investimentos na barragem, com um fator médio de carga de somente 13,2%<sup>(17)</sup>, todos os benefícios econômicos e eleitorais de curto prazo da energia de Jatapu poderiam ter sido de apenas US\$ 8 milhões, que seria o custo adicional das linhas de transmissão. Parte do sistema de transmissão já existia na forma de linhas de 13,8 kV, interligando Caroebe, São Luiz do Anauá, São João da Baliza e Vila Moderna, entretanto, esta linha necessitava de reparos.

Certamente, os benefícios econômicos que constituem a justificativa oficial para a hidrelétrica não podem explicar o enigma. Benefícios políticos diretos, tais como votos das pessoas que receberiam a energia da barragem, também são insuficiente. A área a ser servida tinha uma população de aproximadamente 18.000 pessoas na época da última eleição (1990) - considerando uma população estimada de 19.500

habitantes na época do censo de 1991, explicado anteriormente - e, aproximadamente 6.112 votos válidos (presumindo que um total de 85 eleitores na Vila Novo Paraíso votaram) presentes na área no segundo turno das eleições (TRE/RR, 1990). Destes eleitores, 63% já apoiavam Ottomar no segundo turno da eleição de 1990 para governador. Considerando uma estimativa populacional para 1994 de 22.000 pessoas (representando aproximadamente 7.487 votos válidos, baseado nas proporções de 1990) e, presumindo a mesma percentagem de apoio residual, o incremento máximo possível em votos para Ottomar sem a gratidão pelo suprimento energético seria de 2.770 votos (supondo que todos os eleitores na área se transformariam em apoiadores de Ottomar). O custo de US\$ 16.400/voto em potencial está fora de toda proporção de custo em obter o mesmo benefício eleitoral mediante a satisfação dos eleitores em qualquer outra parte do estado.

### A hipótese do último monumento

Ottomar Pinto, de 64 anos em 1994, não estava bem de saúde. Ele havia se operado duas vezes por problemas coronarianos e, frequentemente viajava para o Centro-Sul do Brasil para exames médicos. Uma das possibilidades é que ele queria construir Jatapu como um último monumento pelo qual ele seria lembrado após sair de cena, primeiro politicamente e, depois, fisicamente. Ele frequentemente comentava com os engenheiros da construção que Jatapu era um desafio pessoal porque ele já construiu centenas de obras públicas em sua vida mas, nunca uma barragem hidrelétrica.

A hipótese do último monumento possuía uma falha fatal: presumia que Ottomar se afastaria da política. Como um de seus associados explicou sucintamente à época, "*Ottomar nunca vai pendurar as chuteiras*". Isto pôde ser facilmente constatado nos anos seguintes, quando Ottomar foi eleito Prefeito de Boa Vista (1997-2000) e, governador de Roraima entre os anos de 2004 e 2007, com forte apoio popular do interior do estado. Ottomar apenas saiu de cena em dezembro de 2007, quando faleceu por problemas de saúde. Contudo, embora a hipótese do último monumento não possa ser a explicação definitiva para a construção de Jatapu, Ottomar ficará eternizado por esse projeto (Complexo Energético Governador Ottomar de Sousa Pinto), que foi rebatizado por seu apadrinhado político, José de Anchieta Júnior, conforme mencionado anteriormente.

## A hipótese da oportunidade por corrupção

Corrupção é um fator raramente discutido em muitas decisões de desenvolvimento. Saber qual é o seu papel, se tiver algum, em responder a pergunta de “por que Jatapu?” é improvável ser mais do que uma conjectura. O volume de recursos que flui em direção a tais projetos oferece oportunidades ilícitas, tanto quanto lícitas, de lucro. Ottomar foi acusado de uma série de irregularidades financeiras durante seu mandato anterior como governador, especialmente envolvendo a CODESAIMA<sup>(18)</sup>. A prevalência de corrupção no Brasil é bem conhecida, mas oferece não mais do que uma adição à lista de possibilidades para explicar a decisão de construir uma represa que não pode ser justificada com base nas tradicionais considerações do custo/benefício da esfera pública.

## A hipótese da Mina da Paranapanema

A possibilidade de que a energia de Jatapu venha a ser utilizada para propósitos que não os publicamente anunciados tem sido sempre uma fonte de especulação. A construção de uma hidrelétrica de 10 MW em uma área com menos do que 1 MW de demanda energética conduz à possibilidade de que a energia poderia ser transmitida para outros lugares. A Paranapanema foi um contribuinte importante na campanha eleitoral de 1990 de Ottomar para o governo de Roraima (*Folha de Boa Vista*, 19/08/1994), e os seus opositores políticos revelam que o contrato de construção foi concedido por caminhos irregulares por causa disto (Deputada Estadual Vera Regina, entrevista na TVE Macuxi, Boa Vista, 08/12/1993, 07:00 h). Políticos da oposição têm colocado o possível conflito de interesses implicado pelos direitos de mineração dos depósitos de cassiterita no rio Jatapu, em uma área próxima da barragem, pela Mineradora Taboca (uma subsidiária da Paranapanema), levando a possibilidade de se poder explorar mais tarde usando a energia da hidrelétrica (Farias, 1993). Seria esperado que a abertura de uma mina no rio Jatapu somente aconteceria após uma elevação dos preços internacionais da cassiterita, que estavam baixos na ocasião (cerca de US\$ 5,50/kg em 1994, versus um alto anterior de US\$ 17,60/kg). Além disto, a Paranapanema é dona e opera uma das maiores minas de cassiterita do mundo no Pitinga, 200 km ao sul de Jatapu, já no estado do Amazonas. Entretanto, a pequena capacidade da Hidrelétrica de Jatapu e o custo político de subsidiar energia para outro estado faz com que a opção de transmitir energia para Pitinga seja um caso improvável.

## A hipótese da Hidrelétrica de Cotingo

Um cenário que faz sentido político do fenomenal investimento feito na Hidrelétrica de Jatapu envolve a Hidrelétrica de Cotingo. De Cotingo é esperado o abastecimento energético para Boa Vista, Alto Alegre, Mucajaí, Caracarái, Bonfim e Normandia. O Plano Decenal 1993-2002<sup>(19)</sup> da ELETROBRÁS fez de Cotingo uma prioridade, com o término da primeira fase programado para 1999 (Brasil, ELETROBRÁS, 1992, p. 38). Os planos de construção de Cotingo foram paralisados em 1995 com o início de negociação de importação de energia da Hidrelétrica de Guri, na Venezuela, para suprir Boa Vista, depois contratada em 1997 e concretizada em 2001. No entanto, estes acontecimentos posteriores eram irrelevantes ao quadro da tomada de decisões na construção de Jatapu. Cotingo teria uma capacidade instalada de 68 MW em sua primeira fase e 136 MW na segunda (CER, 1992, p. 8-9). Cotingo garantiria o futuro político de qualquer político em Roraima que clamasse crédito para este feito. Ottomar estava em uma boa posição para isto, pois ele tinha sido o maior defensor dessa barragem desde o seu primeiro mandato como governador (1979-1983). Com o crédito de ter feito Jatapu, Ottomar poderia reivindicar credenciais como um construtor de hidrelétricas de sucesso. A administração de Ottomar foi hábil em obter a aprovação ambiental para Cotingo em 25/10/1994 (entre o primeiro e o segundo turno das eleições brasileiras, e dois meses antes do término de seu segundo mandato). O benefício político de votos conseguidos pela construção de Cotingo poderia ser especialmente valioso para Ottomar, pois o maior beneficiário da barragem seria a cidade de Boa Vista, onde 55% da população de Roraima morava segundo o censo de 1991 e onde Ottomar possuía um apoio teoricamente menor: ele obteve 49,3% dos votos válidos no município de Boa Vista (incluindo as áreas rurais) no segundo turno das eleições governamentais de 1990 (atrás de Jucá com 50,7%), mas venceu as eleições porque conseguiu 61,5% dos votos válidos do restante do estado. Ottomar também poderia esperar até as eleições de 1998 e se candidatar novamente para governador ou, para prefeito de Boa Vista no pleito de 1996 (um cargo que, na época da construção de Jatapu, era ocupado por Teresa (Surita) Jucá, esposa de Romero Jucá à época e opositora de política de Ottomar) e, então, renunciar em 1998 (presumidamente deixando como substituto um vice-prefeito de confiança) para se candidatar

de novo a governador. Ele teria a oportunidade de trabalhar a base de apoio na capital. Ottomar estará livre para concentrar as suas atenções na parte norte do estado porque o apoio eleitoral do sul já estaria assegurado graças a Jatapu e a uma série de obras realizadas durante seu mandato (1991-1994). Esta presunção foi parcialmente realizada: Ottomar se elegeu prefeito de Boa Vista em 1996 (empossado em 1997), mas não quis se credenciar ao cargo de governador no pleito de 1998. Tudo indica que ele entendeu ser mais proveitoso e racional solidificar sua base na capital e tentar se reeleger governador com mais segurança em 2002, o que acabou não ocorrendo, pois Ottomar perdeu por uma pequena margem de votos. Entretanto, ele conseguiu cassar o governador eleito à época (Flamarion Portela) e ser empossado em 2004. Na eleição seguinte (2006), Ottomar foi eleito com ampla margem de votos em todo o estado, indicando que sua política de perpetuação no poder havia dado certo.

A decisão de Ottomar de não se afastar do cargo em maio de 1994 a fim de se candidatar a um dos cargos a serem disputados nas eleições de outubro de 1994, permitiu que ele finalizasse projetos de desenvolvimento, tais como Jatapu, inteiramente dentro de seu mandato. Isto garantia que ele receberia o crédito do eleitorado pelas suas realizações e, impedia qualquer possibilidade de que os projetos pudessem ser abandonados ou que questionamentos fossem levantados sobre seu bom senso ou probidade.

## **LIÇÕES PARA O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO**

### **Limitações dos órgãos ambientais do Estado**

O exemplo de Jatapu ilustra a fragilidade do estado ao nível das agências e dos procedimentos ambientais, quando confrontados com qualquer projeto que é visto como uma alta prioridade pelo governo estadual. A atual tendência de transferir cada vez mais responsabilidades ambientais do governo federal para os estaduais é inerentemente perigosa. A maior vulnerabilidade dos órgãos estaduais em serem pressionados por interesses políticos e empresariais não é específico do Brasil, sendo que se aplica no mundo inteiro.

Órgãos ambientais no nível estadual na Amazônia brasileira são fracos. Estas agências foram reforçadas dentro do Programa Piloto para Conservação das Florestas Tropicais Brasileiras,

administrado pelo Banco Mundial em nome dos sete países mais ricos do mundo, conhecidos como os “G-7”, que se comprometeram a financiar o programa na reunião de Houston, em 1990. No entanto, precisa-se de mais do que reforçar os órgãos através de melhores treinamentos, contratações e os equipamentos. Mais importante é a necessidade de mecanismos para tornar os órgãos ambientais independentes.

### **Perigo dos critérios vagos**

Jatapú é um teste para os limites mínimos aceitáveis para uma revisão ambiental. Esperar até que os critérios sobre o mínimo aceitável para cada item sejam definidos por meio dos precedentes de casos passados garante que futuros estudos de impactos ambientais sejam meros exercícios sem sentido. Os proponentes de cada projeto podem, então, argumentar que se um ou outro projeto for aprovado, então os seus também deveriam ser. Jatapu leva à questão de qual tipo de plano de controle ambiental (PCA) seria aceitável.

Os termos das atuais exigências necessitam ser mais claros em dizer o que constitui uma “equipe multidisciplinar qualificada”. Uma definição mais explícita é necessária para apontar o que precisa ser colocado no relatório e qual tipo de investigação de campo é necessária para substanciá-lo. Atualmente existe um modelo de estudos ambientais sendo rapidamente produzidos pela substituição de nomes e cifras em um texto padrão. Este modelo deve ser quebrado.

### **Maiores controles sobre o financiamento**

Maiores controles são necessários sobre o dinheiro concedido dos programas de subsídio federal e de outras fontes externas. Quando os órgãos federais e outras fontes financeiras abdicam o seu papel na avaliação e supervisão das propostas para uso dos recursos, é provável que o papel dos benefícios políticos seja maior na determinação de como o dinheiro é usado.

### **Sem solução, mas não sem problema**

É frequentemente dito que “quando não existe solução para alguma coisa, então não existe problema”. Muitos dos problemas ilustrados por Jatapu não têm solução: benefícios políticos podem ser esperados a continuar como um fator determinante na fixação de prioridades pelos governos eleitos.



Ninguém gostaria de voltar aos governos indicados do passado. Apenas pode-se esperar que um dia se transformem em uma desvantagem política quando os projetos motivados eleitoralmente ofendam a racionalidade em outras esferas. A lentidão de tais mudanças, contudo, significa que o grau de controle exercitado pelas fontes externas de financiamento, incluindo o governo federal brasileiro, provavelmente permaneça o principal elemento capaz de restringir futuros projetos como Jatapu.

## LIÇÕES DE JATAPU PARA O MUNDO

Jatapu oferece um exemplo de uma série de barreiras a estudos apropriadas de avaliação dos custos de desenvolvimento e de agir com base nestes estudos. Estas barreiras são comuns em muitos países do mundo, embora os detalhes variem na maneira em que as influências políticas agem através dos vários órgãos e nos diferentes níveis e braços do governo. A identificação de pontos onde mudanças poderiam melhorar os resultados obtidos na prática exige entendimento de como as decisões sobre desenvolvimento são realmente feitas, em contraste com a maneira em que elas poderiam, teoricamente, ser realizadas com base em análises custo-benefício. Os sistemas de licenciamento e revisão que o Brasil e muitos outros países possuem para assegurar que os custos ambientais estejam mantidos dentro de limites aceitáveis são frequentemente incapazes de resistir às pressões políticas. Como o sistema de controle ambiental funciona na prática deve ser entendido baseado na experiência ganha de eventos do mundo real. Algumas generalizações são possíveis, tais como a maior vulnerabilidade de órgãos estaduais quando comparado aos órgãos federais e, a necessidade de fiscalização sobre as fontes de recursos (incluindo os do governo federal). Fica evidente a urgência de identificar e implementar melhores mecanismos para assegurar que preocupações ambientais estejam refletidas nas decisões sobre o desenvolvimento.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos as equipes da CODESAIMA e da Paranapanema em Jatapu, especialmente ao Engenheiro Residente Augusto Alberto Iglesias por suas informações e apoio logístico durante as nossas visitas: 17 de dezembro de 1992 (R.I.B.) e 29 de junho a 01 de julho de 1994 (P.M.F. e R.I.B.). Agradecemos também a Franklin Rodrigues da Costa (Procurador Federal, MPF/

RR), José Ponciano Dias Filho (IBAMA/RR), Edimar Figueiredo Vasconcelos (Comissão UHE-Alto Jatapu), Paulo Sérgio Lemos Latgê (presidente da CER), Carlo Zaquini (CPPY/RR), Renato Martins Prates (Juiz Federal, Boa Vista), Carlos Alberto Queiroz Barreto (MPF/RR), Carlos Frederico dos Santos (MPF/RR) e a muitas outras pessoas em Boa Vista e outros locais que nos forneceram informações sobre o projeto. Agradecemos a Springer-Verlag New York pela permissão de publicar esta tradução atualizada do nosso trabalho da revista *Environmental Management* (Fearnside & Barbosa, 1996). S.V. Wilson e dois revisores fizeram valiosos comentários. O Pew Scholars Program in Conservation and the Environment forneceu apoio financeiro.

## LISTA DAS SIGLAS

BANER .....	Banco do Estado de Roraima.
CER .....	Companhia Energética de Roraima (Centrais Elétricas de Roraima até 1988).
CODESAIMA .....	Companhia de Desenvolvimento de Roraima.
CONAMA .....	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
CPPY/RR .....	Comissão pela Criação do Parque Yanomami, Escritório de Roraima (hoje Comissão Pró-Yanomami).
DIAP .....	Divisão de Avaliação de Projetos (do IBAMA).
DIRCOF .....	Diretoria de Controle e Fiscalização (do IBAMA).
DEREL .....	Departamento de Registro e Licenciamento (do IBAMA).
EIA .....	Estudo de Impactos Ambientais.
ELETROBRÁS .....	Centrais Elétricas Brasileiras.
ELETRONORTE ..	Centrais Elétricas do Norte do Brasil.
IBAMA .....	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
IBGE .....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
LI .....	Licença de Instalação.
LO .....	Licença de Operação.
LP .....	Licença Prévia.
MPF/RR .....	Ministério Público Federal em Roraima
PCA .....	Plano de Controle Ambiental.

RIMA .....	Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente.
SEMAIJUS .....	Secretaria do Meio Ambiente, Interior e Justiça de Roraima (extinta em julho de 1996).
UHE .....	Usina Hidrelétrica.

## NOTAS

1. Por exemplo, *Contrato Particular de Alienação de Madeira* 008/86 entre FUNAI e Madeireira Noroeste Ltda. Jucá e Ottomar possuem fortes posições anti-ambientais. Jucá é mais bem conhecido por seus esforços em obstruir a criação e demarcação da reserva indígena Yanomami (Albert, 1992; Moreira, 1989) e por encorajar pequenos garimpeiros a invadir ilegalmente a área Yanomami (Monbiot, 1991, p. 126; Queiroz, 1990; *Amazonas em Tempo*, 15/02/1989). Doenças espalhadas pelos garimpeiros, além de um número menor de mortes, resultaram em uma mortalidade estimada em 2.017 índios no período de 1987-1993 (Pellegrini & Magalhães, 1994; ver também *Veja*, 19/09/1990). A população Yanomami ao início deste período era de aproximadamente 10.000 (Carlo Zaquini, comunicação pessoal, 1993), indicando que cerca de 20% do grupo pereceu neste período de 6 anos.

2. Gravação do “*Debate dos Candidatos a Governador/1990*”, Sindicato dos Trabalhadores em Educação de Roraima-SINTER (22/09/1990); Barbosa (1994).

3. Uma parte significativa do dinheiro gasto pelo braço executivo do governo do estado de Roraima em ambas as administrações (Jucá e Ottomar) foi para projetos que visavam benefícios aos eleitores em vez de fornecer base de sustentabilidade econômica ao estado. Por exemplo, de 1992 a 1994, oito complexos aquáticos foram construídos, incluindo chafarizes em forma de palhaços e botos de concreto, com distribuição de biquínis e sungas de banho para a população urbana escolhida.

4. Paulo Sérgio Lemos Latgê, presidente da CER, advertiu que a demanda na área elevou-se de 0,7 MW no início de 1994 para 1,3 MW em janeiro de 1995 (comunicação pessoal, 1995).

5. Informações sobre a área do reservatório são conflitantes. Paulo Sérgio Lemos Latgê, presidente da CER, forneceu a seguinte configuração

(comunicação pessoal, 1995): na cota de 115 m a área do reservatório seria de 15 km<sup>2</sup>; na cota de 120,5 m a área seria de 32 km<sup>2</sup> e, na de 118 m, a área seria de 26 km<sup>2</sup>. O reservatório e a casa de força poderiam operar normalmente até a uma cota de 118 m. O mínimo para a operação normal é de 113 m.

Uma área alternativa à cota de 120,6 m é de 48 km<sup>2</sup>, dada em um relatório da INTERTECHNE (1994). Esta cota é o máximo que o reservatório poderia chegar em eventos de extremas chuvas.

6. Analisando uma imagem de satélite LANDSAT (escala 1:250.000) de outubro de 1994, do município de Caroebe (onde esta localizada a hidrelétrica), foi possível contabilizar que a área de influência do lago de Jatapu, naquele mês e ano (final da estação chuvosa), já ultrapassava aos 70 km<sup>2</sup>. Isto representa mais de 22 km<sup>2</sup> do que o estabelecido oficialmente pela INTERTECHNE junto à CER em março/1994 (48 km<sup>2</sup> em situações excepcionais).

7. SEMAIJUS foi extinta em julho de 1996. Desta data em diante, o órgão licenciador passou a ser o Departamento de Meio Ambiente do Estado de Roraima (DEMA), vinculado à Secretaria de Planejamento, Indústria e Comércio (SEPLAN), passando pela Fundação Estadual do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia de Roraima (FEMACT-RR) e, a partir de 2011, sob responsabilidade da Fundação Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Roraima (FEMARH-RR).

8. Embargos judiciais são feitos por meio de uma *Ação Civil Pública*, um mecanismo criado pela Lei No. 7.347 de 24/07/1985. Neste caso, o Ministério Público Federal de Roraima (MPF/RR) moveu a ação contra o estado de Roraima, CODESAIMA, CER e Paranapanema (Processo No. 93.000540-5), enviou ao Departamento de Justiça em Roraima em 20/09/1993 através do Procurador Federal de Roraima. O embargo de 01/10/1993 foi emitido pelo Juiz Federal (Renato Martins Prates) antes que o prazo de 20 dias, concedido pelo Procurador Federal (Franklin Rodrigues da Costa) ao governo do estado para preparar a documentação relativa às licenças ambientais, houvesse se expirado. Na eminência das explosões para desviar o curso do rio (programados para 02/10/1993) o procurador federal procedeu ao pedido do embargo antes que os 20 dias houvessem passado. Contudo, a despeito da ênfase dada a este fato pelos advogados do governo do estado (*Folha de Boa Vista*, 02/10/1993), este não

foi o raciocínio do Tribunal Federal Regional em Brasília ao suspender o embargo (Renato Martins Prates & Carlos Alberto Queiroz Barreto, comunicação pessoal, 1995).

A LP foi emitida em 25/08/1992 e a LI em 23/03/1993 (MPF/RR, 1993). A data de 23 de março para a LI é a data no documento; a LI somente foi publicada no *Diário Oficial de Roraima* em 14/09/1993 (Roraima, 1993b). Os 6 meses de demora na publicação é extremamente insólito e sugere que a assinatura podia ter sido feita retroativamente. Coincidentemente, a publicação no diário oficial ocorreu no *mesmo dia* que o Procurador Público Federal entregou um ofício (ofício No. 083/93 MPF/RR) para Ottomar questionando as licenças ambientais para Jatapu. Tanto a LP como a LI são emitidas pelo órgão estadual do meio ambiente (SEMAIJUS). A declaração de embargo do Ministério Público em Roraima (MPF/RR) também citou a falta da licença do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para o desmatamento do local da obra (a licença de desmatamento ainda não havia sido emitida mesmo depois que a hidrelétrica estava completa). O escritório do IBAMA em Roraima iniciou um processo junto ao Ministério Público Federal para a emissão de uma ordem de embargo para interpor judicialmente a barragem (José Ponciano Dias Filho, comunicação pessoal, 1994). Não se entende porque a SEMAIJUS simplesmente não emitiu a licença no tempo correto. Em vez disso, uma liminar judicial foi usada para permitir que a construção continuasse sem a licença válida.

A confusão de considerar o papel do IBAMA no licenciamento de barragens hidrelétricas é evidente no incipiente sistema regulador ambiental do Brasil. O procurador federal em Roraima afirmou que o IBAMA deve homologar (ratificar) as licenças dadas pela SEMAIJUS antes que elas sejam dadas como válidas (Ação Civil Pública No. 93.000540-5, Ministério Público Federal contra o Estado de Roraima, CODESAIMA, Paranapanema e IBAMA), enquanto que o escritório do IBAMA em Roraima vê seu papel como o de *agente fiscalizador* que apenas entraria após o surgimento de irregularidades (José Ponciano Dias Filho, comunicação pessoal, 1995). As LP, LI e LO para Jatapu não foram homologadas pelo IBAMA.

9. O embargo inicial foi decretado por Renato Martins Prates (Juiz Federal em Boa Vista), e suspenso por Hermenito Dourado (Presidente do Tribunal Regional Federal, 1ª Região, Brasília), permitindo, portanto, que o trabalho continuasse enquanto a sentença era esperada do Juiz Renato Martins Prates. Esta sentença não foi dada (até fevereiro de 1996, 29 meses mais tarde). Aparentemente visualizando Jatapu como uma “batata quente”, o Juiz Prates passou o caso para outra pessoa tão rapidamente quanto possível, alegando que os tribunais do estado eram a autoridade competente para decidir a matéria. Em 27/04/1994 o procurador federal (Franklin Rodrigues da Costa) submeteu um apelo (agravo de instrumento No. 94.0000437-0) mantendo que os tribunais federais eram a autoridade apropriada (*Diário do Poder Judiciário (Estado de Roraima)*, 16 de abril de 1994, p. 20-22). O caso para decidir a autoridade competente foi, portanto, passado para o tribunal de Brasília. De acordo com o Juiz Prates (comunicação pessoal, 1995), ele daria uma sentença uma vez que a competência da questão fosse decidida e, mesmo então, somente após obter um parecer técnico. A espera foi suficiente o bastante para permitir a conclusão das estruturas físicas. O parecer técnico foi elaborado somente em meados de 1995 por Ozório J. de Menezes Fonseca, diretor do INPA que havia sido recentemente empossado. Este parecer foi solicitado pelo IBAMA, em consonância aos quesitos judiciais para que a obra pudesse finalmente obter sua liberação judicial. Nós não tivemos acesso ao parecer e nem à decisão judicial que permitiu o pleno funcionamento de Jatapu.

10. O parecer do Juiz Hermenito Dourado foi datado de 04/10/1993 e comunicado ao Juiz Prates pelo ofício OF./SUPLE./No.1032/93 (Poder Judiciário/Tribunal Regional Federal da 1ª Região, 6 de outubro de 1993).

11. Um “embargo administrativo” é um documento emitido diretamente pelo IBAMA para os construtores da barragem (o Governo de Roraima e a Paranapanema), em vez de ser através do procurador federal. Os embargos administrativos de 21/07/1994 foram baseados no parecer de um perito do IBAMA que indicava uma série de irregularidades no PCA e na emissão da LP e LI. O parecer (No. 057/94-IBAMA/DIRCOF/DEREL/DIAP, Brasília, 07/06/1994) forneceu a base legal para os Termos de Embargo/Interdição No. 09152 (para a CODESAIMA) e No. 09153 (para a Paranapanema).



12. Garantida pelo Juiz Renato Martins Prates, do Tribunal de Justiça Federal em Roraima (ofício No. 236/94 do Poder Judiciário/Justiça Federal de 1ª Instância, Seção Roraima).

13. O caso (mandato de segurança No. 94.0000683-7) foi decidido pelo Juiz Prates em 20/09/1994.

14. Este tempo de retorno presume o volume do reservatório de  $94,4 \times 10^6 \text{ m}^3$  dado no estudo de viabilidade; um volume de  $200 \times 10^6 \text{ m}^3$  dado por um documento mais recente implicaria em dobrar este tempo (ver Tabela 1). Deve ser lembrado que isto se refere a uma média sobre o ano e, porque o nível da água estaria abaixo do nível do vertedouro durante boa parte do ano, o fluxo de saída estaria restrito à capacidade de  $22 \text{ m}^3/\text{segundo}$  das duas turbinas (cerca de um terço da média mensal de todo o ano), portanto, aproximadamente triplicando o tempo de residência durante estes meses.

15. BANER foi extinto na segunda metade da década de 1990 devido ao rombo de caixa deixado por anos de má administração. Em seu lugar foi criada a Agência de Fomento Regional.

16. Estes incluem o deputado federal Francisco Rodrigues estabelecido na Rodovia BR-174.

17. O estudo de viabilidade (CODESAIMA, 1991: Capítulo 3, p. 4) adverte para um fator de carga “da ordem de 20%”, mas os dados no relatório sobre qual este valor está aparentemente baseado (para São João da Baliza e Rorainópolis em dezembro de 1990) indicam uma fator de carga de 13,2%.

18. O jornal *Folha de Roraima* (10/05/1982) cessou abruptamente sua edição após fazer estas denúncias, em o que acabou sendo o seu último número. Estas denúncias são reportadas como tendo sido o estopim que levou ao assassinato de João Batista de Melo Alencar em 02/12/1982, o jornalista proprietário e responsável pelo jornal (*Folha de Boa Vista*, 02/12/1983). Ottomar foi acusado de ser um dos dois homens que contratou os pistoleiros que assassinaram o jornalista, levando a remoção de Ottomar do cargo pelo então presidente João Figueiredo (*Vêja*, 13/04/1983). Já que os ricos e poderosos no Brasil são raramente levados a julgamento ou declarados culpados por algum tipo de má conduta, a falta de consequências judiciais no caso não fornecem praticamente nenhuma indicação de correta ação (ou não) da condenação que a imprensa fez naquele tempo.

19. Cotingo somente se transformou em uma prioridade em 1991, por iniciativa do governo de (CIR & CPI/SP, 1993, p. 29). Cotingo está ausente do Plano Decenal de 1990-1999 (Brasil, ELETROBRÁS, 1989, p. 44), que anunciou a suspensão dos planos para a Hidrelétrica do Paredão devido a comparações não favoráveis com as alternativas termoeletricas.

## LITERATURA CITADA

- Albert, B. 1992. Indian lands, environmental policy and military geopolitics in the development of the Brazilian Amazon: The case of the Yanomami. *Development and Change* 23: 35-70.
- Amazonas em Tempo* (Manaus) 15 de fevereiro de 1989. “Romero Jucá contra retirada de garimpeiros em Roraima”, p. 3.
- Barbosa, R.I. 1993. Ocupação Humana em Roraima. II. Uma Revisão do Equívoco da Recente Política de Desenvolvimento e o Crescimento Desordenado. *Boletim do MPEG/Série Antropologia* 9(2): 177-197.
- Bonassa, E.C. 1994. “Governo abre o cofre antes da eleição.” *Folha de São Paulo*. 14 de agosto de 1994. p. Especial-3.
- Brasil, ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras). 1989. *Plano Decenal 1990-1999*. Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS), ELETROBRÁS, Rio de Janeiro, RJ. 55 p.
- Brasil, ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras). 1992. *Plano Decenal de Expansão 1993-2002*. Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS), ELETROBRÁS, Rio de Janeiro, RJ. 81 p.
- Brasil, ELETRONORTE. s/d (1987). *Livro Branco sobre o Meio Ambiente da Usina Hidrelétrica de Tucuruí*. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 288 p.
- Brasil, ELETRONORTE. 1987. *UHE Balbina. Fev./87*. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 26 p.
- Brasil, ELETRONORTE/MONASA/ENGERIO. 1976. *Estudos Amazônia, Relatório Final Volume IV: Aproveitamento Hidrelétrico do Rio Uatumã em Cachoeira Balbina, Estudos de Viabilidade*. Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE)/MONASA Consultoria e Projetos Ltda./ENGE-RIO Engenharia e Consultoria, S.A., Brasília, DF. paginação irregular.
- Brasil, IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1993. Estimativa da População Residente em Roraima - Segundo a Situação Político-Administrativa, 01 de julho de 1993. IBGE, Boa Vista. 1 p.
- Brasil, IBGE & IBDF (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística and Instituto Brasileiro do Desenvolvimento Florestal). 1988. Mapa de Vegetação do Brasil. Escala 1:5.000.000. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Brasília, DF.



- Brasil, Senado Federal. 1990. Estima a receita e fixa a despesa do Estado de Roraima para o exercício financeiro de 1991. (Projeto de Lei do Senado Federal No. 169 de 1990). 25 de setembro de 1990. Senado Federal, Brasília, DF.
- CER (Companhia Energética de Roraima). 1992. *Usina Hidrelétrica Cotingo, Rio Cotingo, Roraima. Relatório de Impactos Ambientais--RIMA*. INTERTECHNE Consultores Associados, São Paulo, SP. 60 p.
- CERR (Companhia Energética de Roraima). 2013. CERR suspende, parcialmente, geração na Hidrelétrica para manutenção. Site oficial da Companhia Energética de Roraima de 19.12.2013. Disponível em <http://www.cerr.rr.gov.br/news.php?id=n2013122001.html>.
- CIR & CPI/SP (Conselho Indígena de Roraima e Comissão Pró-Índio de São Paulo). 1993. *Roraima: Energia e Alternativas para o Futuro*. CPI/SP, São Paulo, SP. 55 p.
- CODESAIMA (Companhia de Desenvolvimento de Roraima). 1991. *Aproveitamento Hidrelétrico do Alto Jatapu: Relatório dos Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica*. 9101-RT-100G-004. INTERTECHNE Consultores Associados, São Paulo, SP. paginação irregular.
- CODESAIMA (Companhia de Desenvolvimento de Roraima). 1992. *UHE- Alto Jatapu: Plano de Controle Ambiental (PCA)*. LABQUIM-Estudos e Consultoria do Meio Ambiente Ltda., Manaus, AM. 72 p.
- CODESAIMA (Companhia de Desenvolvimento de Roraima). 1993. *Inventário Florestal da Área de Inundação da Usina Hidrelétrica do Alto Jatapu. CAU 01/Rev. 0*. Out. de 1993. STCP Engenharia de Projetos Ltda., Curitiba, Brasil, 3 vols.
- COOGAM (Cooperativa dos Garimpeiros no Estado do Amazonas). 1993. *Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da Frente de Lavra do Médio Rio Negro - Estado do Amazonas*. COOGAM, Manaus, AM. 74 p.
- Diário de Roraima*. 06 de agosto de 1994. "JATAPU - A Redenção do Sul do Estado." (anúncio de jornal).
- Farias, O. 1993. "Roraima investe em frota de aviões para missões excêntricas," *A Crítica* (Manaus), 07 de março de 1993.
- Fearnside, P.M. 1986. Settlement in Rondônia and the token role of science and technology in Brazil's Amazonian development planning. *Interciencia* 11(5): 229236.
- Fearnside, P.M. 1989. Brazil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environmental Management* 13(4): 401-423.
- Fearnside, P.M. 1993. Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. *Ambio* 22(8): 537-545.
- Fearnside, P.M. 1994. Biomassa das florestas Amazônicas brasileiras. p. 95-124 In: *Anais do Seminário Emissão x Seqüestro de CO<sub>2</sub>*. Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio de Janeiro, RJ. 221 p.
- Fearnside, P.M. & R.I. Barbosa. 1996. Political benefits as barriers to assessment of environmental costs in Brazil's Amazonian development planning: The example of the Jatapu Dam in Roraima. *Environmental Management* 20(5): 615-630.
- Folha de Boa Vista*. 02 de dezembro de 1983. "Assassinos soltos". p. 1 e 3.
- Folha de Boa Vista*. 02 de outubro de 1993. "Juiz manda paralisar construção de Jatapu". p. 3.
- Folha de Boa Vista*. 01 de março de 1993. "Contrato vai beneficiar agricultura." p. 3.
- Folha de Boa Vista*. 19 de agosto de 1994. "Jucá tentou manter garimpos". p. 3.
- Folha de Boa Vista*. 25 de agosto de 1994. "Escândalo II". p. 3.
- Folha de Boa Vista On-line*. 09 de fevereiro de 2008. "Revitalizar Jatapu custará R\$ 27 milhões". Disponível em <http://www.folhabv.com.br/noticia.php?id=35263>.
- Folha de Boa Vista On-line*. 11 de março de 2009. "Servidores da CER denunciam que represa pode romper". Disponível em <http://www.folhabv.com.br/noticia.php?id=57673>.
- Folha de Roraima*. 10 de maio de 1982. "Todos querem esta cabeça fora de Roraima". p. 1.
- Folha de São Paulo*. 23 de outubro de 1994. "Governador 'importa' eleitor para Roraima". p. 1-18.
- Freitas, A. 1993. *A História Política e Administrativa de Roraima: 1943-1985*. Editora Umberto Calderaro Ltda., Manaus, AM, 242 p.
- Goodland, R.J.A. 1980. Environmental ranking of Amazonian development projects in Brazil. *Environmental Conservation* 7(1): 9-26.
- INTERTECHNE Consultores Associados S/C Ltda. 1994. UHE Alto Jatapu--curva cota-volume do reservatório. Fax de 24 de março de 1994.
- Isto É* (São Paulo). 19 de outubro de 1994. "Informe especial: Roraima". p. 75-86.
- Monbiot, G. 1991. *Amazon Watershed--The New Environmental Investigation*. ABACUS, London, Reino Unido 374 p.
- Moreira, M. 1989. "A Estratégia do Genocídio". *Jornal de Brasília* 28 de julho de 1989.
- MPF/RR (Ministério Público Federal de Roraima). 1993. Processo Nº 93.000540-5, Ação Civil Pública do MPF/RR contra o Estado de Roraima/CODESAIMA/CER/Parapanema. MPF/RR, Boa Vista, RR.
- Pellegrini, M. & E. Magalhães. 1994. Relatório da Situação Sanitária e dos Serviços de Atenção à Saúde das Comunidades Yanomami e Ye'kuana (Maiongong). Fundação Nacional de Saúde/ Distrito Sanitário Yanomami (FNS/DSY), Boa Vista, RR. 87p.
- Portal G 1 Roraima*. 2013. Novas turbinas para usina de Jatapu chegam em setembro a Roraima. *Portal G1 - Roraima* de 24.08.2013. Disponível em <http://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/2013/08/novas-turbinas-para-usina-de-jatapu-chegam-em-setembro-roraima.html>.
- Queiroz, A.C. 1990. "Yanomami--A Tragédia Continua". *Porantim* (São Paulo) 12(125) jan./fev., p. 7-10.
- RIOZOO (Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, Fundação Jardim Zoológico da Cidade do Rio de Janeiro). 1994.

- Usina Hidrelétrica do Alto Jatapu, Roraima: Projeto de Resgate e Utilização Científica da Fauna.* RIOZOO, Rio de Janeiro, RJ, 17 p. + anexos.
- Roraima, 1991. Estima a receita e fixa a despesa do Estado de Roraima para o exercício financeiro de 1992. Lei No. 014 de 31/12/91. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Ano. 1, No. 251. 31 de dezembro.
- Roraima, 1992. Estima a receita e fixa a despesa do Estado de Roraima para o exercício financeiro de 1993. Lei No. 032 de 31/12/92. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Ano. 2, No. 494. 31 de dezembro.
- Roraima, 1993a. Estima a receita e fixa a despesa do Estado de Roraima para o exercício financeiro de 1994. Lei No. 060 de 29/12/93. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Ano. 3, No. 735. 30 de dezembro.
- Roraima, 1993b. Outras Publicações; Licença de Instalação. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Ano. 3, No. 666. 14 de setembro, p. 6.
- TRE/RR (Tribunal Regional Eleitoral de Roraima). 1990. Demonstrativo da Votação do Candidato VP-002 (1º/2º turno). SERPRO--Serviço Federal de Processamento de Dados. Brasília, DF, páginas não numeradas.
- Veja* (São Paulo). 13 de abril de 1983. "Roraima: Troca de guarda - Os políticos derrubam o Governador". p. 44.
- Veja* (São Paulo). 20 de maio de 1987. "Um jogo de faraós e empreiteiras". p. 28-37.
- Veja* (São Paulo). 19 de setembro de 1990. "A morte ronda os índios na floresta". p. 70-83.

# Capítulo 20

## A Hidrelétrica de Cotingo como um Teste do Sistema Brasileiro para Avaliação de Propostas de Desenvolvimento na Amazônia

**Philip M. Fearnside\***

**Reinaldo Imbrozio Barbosa\*\***

\*Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). CEP: 69067-375 Manaus-Amazonas  
Email: pmfearn@inpa.gov.br

\*\*Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). CEP: 69301-150 Boa Vista-Roraima  
Email: reinaldo@inpa.gov.br

Tradução atualizada de:

Fearnside, P.M. & R.I. Barbosa. 1996. The Cotingo Dam as a test of Brazil's system for evaluating proposed developments in Amazonia. *Environmental Management* 20(5): 631-648. doi: 10.1007/BF01204136

Com atualizações em janeiro de 2014.

## RESUMO

A proposta da Hidrelétrica de Cotingo, no estado de Roraima, é examinada com o objetivo de ilustrar lições para o sistema brasileiro para avaliação das consequências ambientais, sociais e financeiras de decisões de desenvolvimento. Os planos para esta hidrelétrica foram promovidos fortemente por autoridades do setor elétrico federal e por forças políticas em Roraima até 1995, quando os planos foram suspensos ao se optar pelo suprimento de energia para Roraima a partir de uma linha de transmissão da hidrelétrica de Guri, na Venezuela. No entanto, em 2002 um pedido para construção da Hidrelétrica de Cotingo foi aprovado pela Comissão da Amazônia e Desenvolvimento Regional, da Câmara dos Deputados, em Brasília, e vem tomando lugar na mídia repetidamente em função dos distintos cenários políticos que se formam localmente. A história dos planos para a Hidrelétrica de Cotingo nos mostra a dificuldade de traduzir na prática os princípios de economia e estudos ambientais. Um exame dos argumentos financeiros da hidrelétrica de Cotingo indica que as justificativas nesta esfera são insuficientes para explicar porque o projeto leva vantagem sobre outras alternativas e, aponta para os fatores políticos como a melhor explicação da alta prioridade do projeto. Forte pressão de grupos de interesse político e empresarial quase que invariavelmente dominam as tomadas de decisão na Amazônia. As análises indicam a inerente tendência do atual sistema em produzir decisões em favor de grandes projetos de construção à custa do ambiente e das populações locais. As exigências necessárias para assegurar peso apropriado para estes empreendimentos, tais como o Relatório de Impactos Ambientais (RIMA) e a Audiência Pública (AP) falham neste papel. Cotingo também providencia um teste de caso para as restrições constitucionais para a construção de hidrelétricas em terras indígenas, e que foram parcialmente revistas pelo Superior Tribunal Federal dentro da decisão final de homologação da Terra Indígena Raposa - Serra do Sol em 2009.

Palavras-Chave: Amazônia, Barragens, Hidrelétricas, Povos indígenas, Roraima.

## COTINGO COMO TESTE DE DECISÕES DE DESENVOLVIMENTO

O Brasil, como muitos outros países, possui um sistema governamental regulador de apreciação e aprovação de propostas de projetos de desenvolvimento. Este sistema é composto de uma série de decretos, leis e dispositivos constitucionais e é desenhado para

garantir que sensatas escolhas de desenvolvimento sejam feitas, tais como (1) fundos públicos não desperdiçados em projetos economicamente pouco atrativos, e (2) limites sobre os impactos ambientais e sociais circunstanciados, incluindo impactos sobre os povos indígenas. Discrepâncias grosseiras entre a salvaguarda que existe na teoria e a tomada de decisão que toma lugar na prática, indicaria, entre outras coisas, que a confiança das agências que financiam o desenvolvimento na Amazônia é perdida quando é assumido que os fundos não serão usados em favor do ambiente e dos povos indígenas. Isto é especialmente importante para o setor de empréstimos; no caso do Banco Mundial, por exemplo, barragens ou outras obras públicas financiadas através do setor de empréstimos fogem do processo de revisão “caso a caso” que é aplicado para empréstimos a projetos (ver Fearnside, 1989).

Da forma como o sistema regulador do Brasil funciona, o grau de proteção que ele providencia e como ele pode ser aperfeiçoado, não podem ser verificados a partir do texto das várias medidas reguladoras mas, unicamente pela observação do modo pelo qual o sistema funciona na prática. A maioria das revelações são situações onde o sistema está sob “stress” -- isto é, sob pressão para aprovar um projeto de desenvolvimento independentemente da comparação entre seus benefícios e impactos. O caso da proposta da Hidrelétrica de Cotingo oferece um teste.

A Hidrelétrica de Cotingo foi proposta para ser construída na Terra Indígena Raposa - Serra do Sol, localizada no extremo norte do Estado de Roraima (Figura 1). O principal grupo indígena na área é o Macuxi, com pequenos contingentes de Ingarikó, Taurepang e Wapixana. A barragem tem se transformado em um teste das proteções que a Constituição Brasileira de 1988 providencia para os povos indígenas do País. Embora os prováveis impactos ambientais da barragem sejam modestos em relação aos padrões amazônicos (a maior parte da área é de savana, com poucas manchas de floresta), o desenvolvimento em Cotingo ilustra sérios problemas na incipiente revisão ambiental do Brasil e no sistema de licenciamento. Ambos fazem o funcionamento do sistema, na prática, uma pobre reflexão das garantias de proteção que foram planejadas quando ela foi iniciada em 1986 e, também, quando o Estudo de Impactos Ambientais (EIA) e o Relatório de Impactos Ambientais (RIMA) transformaram-se em exigências para barragens hidrelétricas com capacidade instalada superior a 10 megawatts (MW). Estes problemas são comuns para aprovações ambientais de grandes obras públicas na Amazônia brasileira e, também, em situações similares em muitas partes do mundo.



A Hidrelétrica de Cotingo também ilustra as dificuldades de planejamento de longo prazo no contexto do crescimento explosivo na fronteira amazônica e os fortes impedimentos que existem para as tomadas de decisão em desenvolvimento que dão peso adequado no que diz respeito ao ambiente e aos direitos humanos. A presunção normal, quando tais eventos estão prevalecendo, é que argumentos financeiros são os mais fortes para os tomadores de decisão. Entretanto, uma análise de Cotingo revela que o projeto não pode ser justificado pelos aspectos financeiros, e sugere que a consideração política é a explicação mais convincente pela alta prioridade que a barragem assumiu. Na verdade, é notória a grande dificuldade de dissociação entre política de estado e política eleitoral no caso de Cotingo (Silva & Joaquim, 2011). Entender como o processo de tomada de decisão trabalha na prática é um pré-requisito essencial para identificar alterações que protegeriam o ambiente e os povos indígenas. Os problemas ilustrados não são únicos para o Brasil nem tão pouco para projetos hidrelétricos. O valor político das obras públicas pode movimentar-se em uma sequência de eventos para tirar proveitos ou frustrar o sistema de aprovação e autorização. A força para a aprovação é colocada contra as exigências do sistema de licenciamento ambiental e também contra a vigilância do sistema judiciário sobre as proteções ambientais. Cada obstáculo é testado até os seus

limites no processo. Até agora, somente o sistema judicial tem resistido à pressão. Seria um erro presumir, entretanto, que a defesa judicial das proteções constitucionais seria suficiente ao longo de um trajeto deste tipo. No caso de Cotingo, o processo foi interrompido em 1995 com a decisão de priorizar a consideração de importação de energia da Hidrelétrica de Guri, na Venezuela, para suprir Boa Vista. O contrato com a Venezuela foi assinado em 1997, e a transmissão começou (com dois anos de atraso do planejado) em 13 de agosto de 2001. Mesmo assim, em 2002 um pedido para construção da Hidrelétrica de Cotingo (Projeto de Decreto Legislativo No. 1400/2001) foi apresentado por representantes de Roraima e aprovado pela Comissão da Amazônia e Desenvolvimento Regional, da Câmara dos Deputados, em Brasília (Agência Câmara, 2002). Além deste, o Projeto de Decreto Legislativo (PDL) 2540/2006 (originalmente 434/2006), também foi aprovado na Comissão de Minas e Energia do Senado Federal em 2011, exclusivamente para a Cachoeira do Tamanduá, não se referindo à bacia do rio Cotingo. Este último PDL vem proporcionando debates intensos entre as forças políticas locais e as comunidades indígenas, apesar do Governo Federal preferir investir em uma hidrelétrica no rio Branco, nas corredeiras do Bem-Querem, ao ter que comprar uma disputa judicial com as associações indígenas contrárias ao projeto no Cotingo.

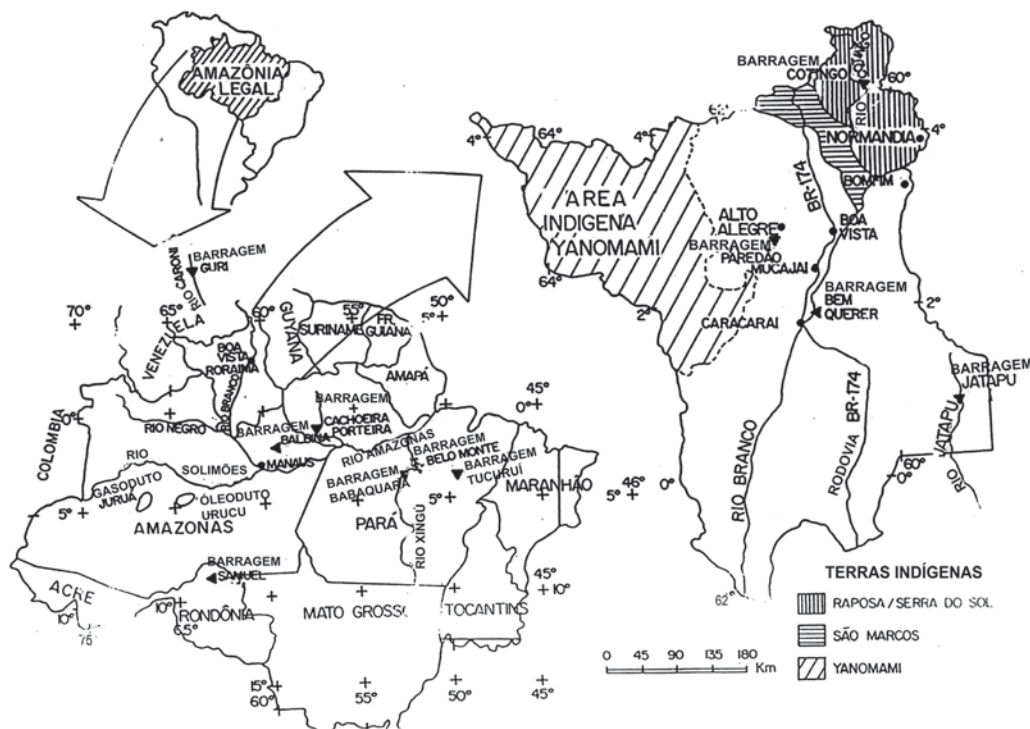


Figura 1. Região da Amazônia Legal Brasileira e o Estado de Roraima. Nem todas as áreas indígenas estão indicadas.

## PLANOS HIDRELÉTRICOS PARA O RIO COTINGO

### História da Barragem de Cotingo

A proposta da Hidrelétrica de Cotingo estaria localizada no rio Cotingo (4°35' N; 60°20' O), no Estado de Roraima. O Cotingo é um tributário do rio Surumu que, por sua vez, deságua no rio Tacutu, rio Branco, rio Negro e, finalmente, no rio Amazonas. Portanto, ele é um rio de sexta ordem, mas possui um fluxo médio de 86 m<sup>3</sup>/segundo no local onde seria construída a represa. A bacia de captação acima do local da barragem possui uma área de 3.380 km<sup>2</sup> delimitada, ao norte, pelo divisor de águas continental que forma a fronteira do Brasil com a Venezuela (CER, 1994, p. 2-2).

O rio Cotingo sofreu o primeiro levantamento para desenvolvimento de hidrelétricas em 1971, quando a Eletrobrás empreendeu um inventário dos sítios hidrelétricos potenciais em toda a região amazônica. Em 1973, a Eletronorte (formada em 1972 como forma de monopolizar a energia no norte brasileiro) contratou as empresas Monasa e Enge-Rio para realizarem um detalhado inventário do rio. O inventário foi concluído em 1975. Monasa, uma firma canadense baseada em Montreal, fez também o estudo de viabilidade para a Hidrelétrica de Balbina, no Estado do Amazonas (ver: Fearnside, 1989). Os sítios foram localizados em uma série de cinco barragens ao longo do rio Cotingo. Em 1980, o governo do então Território Federal de Roraima contratou a

Monasa para revisar os estudos para dois dos cinco sítios: Cotingo 123/113 e Cotingo 55. Os números referem-se à localização em quilômetros acima da confluência com o rio Surumu. Por exemplo, a localidade de Cotingo 123/113, com a barragem no km 123 e a casa de força (usina) no km 113, é atualmente a prioridade principal para a construção. A capacidade instalada dos cinco sítios totalizaria 584,4 MW, dos quais 274,2 MW seriam de força firme (CER, 1994, p. 4-3).

Em 1983 o governo territorial fez com que o Consórcio Eletroprojetos (Projet) elaborasse planos para diferentes concepções para a barragem em Cotingo 123. A casa de força seria localizada na base da barragem como é o caso para a maioria das represas hidrelétricas (CER, 1983).

O local de Cotingo 123 é excepcionalmente favorável para uma represa hidrelétrica por estar situada no topo de uma série de corredeiras e cachoeiras. O plano atual levaria a água lateralmente do reservatório através de um túnel de 4,2 km de extensão (CER, 1994, p. 2-3) até um ponto 10 km abaixo da barragem. Isto é possível porque o rio, após passar através do trecho estreito onde a barragem seria construída (km 123), retorna pelo lado sul da serra Araí, que formaria a margem sul do reservatório (Figura 2). Pela escavação de um túnel através da serra, a geração de energia levaria a vantagem adicional de aproveitar-se de uma queda de 240 m na parte do rio que inclui a Cachoeira do Tamanduá (CER, 1994, p. 1-3).

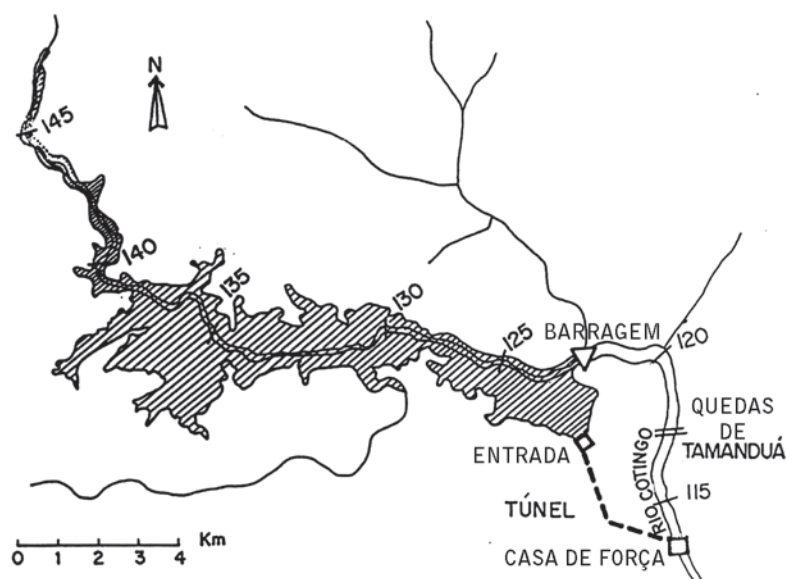


Figura 2. O reservatório de Cotingo.

De Cotingo esperava-se o fornecimento energético para os municípios de Boa Vista, Alto Alegre, Mucajaí, Caracarái, Bonfim e Normandia. Dentro da lógica do PDL 2540/2006, aprovado em 2011 pelo Senado Federal, o que se espera atualmente com a construção desta hidrelétrica é a interligação total de Roraima ao sistema nacional e a eliminação da dependência da energia comprada de Guri (Venezuela). Algo louvável do ponto de vista econômico, mas que deve ser visto com prudência dentro de uma análise socioambiental mais profunda, em especial tentando entender os reais atores do processo que serão beneficiados com esta obra. No passado, o plano Decenal da Eletrobrás (1993-2002) fez de Cotingo uma prioridade (Brasil, Eletrobrás, 1992, p. 38), com a primeira fase programada para ser completada em 1999. Cotingo teria uma capacidade instalada de 68 MW em sua fase inicial e 136 MW em uma segunda fase (CER, 1992, p. 8-9). Cotingo somente se tornou prioridade em 1991, através da iniciativa do governo de Roraima (CIR & CPI/SP, 1993, p. 29). Cotingo não constava no Plano Decenal para 1990-1999 (Brasil, Eletrobrás, 1989, p. 44). O mesmo plano indicou a suspensão de preparativos para a Hidrelétrica do Paredão devido comparações desfavoráveis com alternativas termelétricas.

O processo de transformar Cotingo em um fato consumado acelerou rapidamente em outubro de 1994, entre os dois turnos das eleições brasileiras. A audiência pública foi realizada para debater o EIA e o RIMA em 07 de outubro de 1994 e, a licença prévia (LP), foi concedida pelo órgão ambiental do estado (SEMAIJUS) em 18 de outubro de 1994. Os frágeis fundamentos destas ações pelo governo do Estado de Roraima são reconhecidos pela autoridade energética federal, Eletrobrás, que, na reunião de 23 de dezembro de 1994 de seus diretores executivos, resolveu (Resolução No. 602/94) que o documento que analisa o estudo de viabilidade da Hidrelétrica de Cotingo "... ainda não esta em condição que permita a emissão de um julgamento favorável (parecer) no que diz respeito à sua viabilidade, aos aspectos sócio-ambientais ou mesmo aos aspectos econômicos, uma vez que se poderia requerer investimentos adicionais do que aqueles previstos anteriormente" (Brasil, Eletrobrás, 1994a).

Os índios Macuxi possuem uma tradicional *maloca* (aldeia), ou área de vida comum (Caraparu II), na região a ser inundada. Com a aproximação da construção da barragem, o grupo construiu uma *maloca* adicional e a batizou de *Retiro do Tamanduá*, na

área do represamento. A Polícia Militar do Governo do Estado de Roraima isolou a área e tentou expulsar os índios das suas próprias terras (Figura 3). A violência da operação policial atraiu a atenção internacional (e.g., Survival International, 1995).



**Figura 3.** Retiro do Tamanduá: Maloca Indígena Macuxi queimada pela Polícia Militar na área a ser inundada da Hidrelétrica de Cotingo (fotografado por R.I. Barbosa).

A implantação de marcos topográficos foi iniciada pela U.T.M. Topografia Ltda. em janeiro de 1995. O levantamento topográfico em Cotingo foi supostamente apenas para determinar onde seria o limite do reservatório e, se alguma *maloca* sofreria com a inundação. A área do reservatório (16 km<sup>2</sup> na fase 1, aumentaria para 37 km<sup>2</sup> na fase 4) foi calculada a partir de fotografia aérea (CER, 1994, p. 5-6), que não possuem exatidão sem um levantamento em solo. O levantamento terrestre que havia sido feito anteriormente foi somente para o posicionamento da barragem e não para a área a ser inundada.

Em 17 de março de 1995, o Juiz Federal Marcos Augusto de Sousa (Sousa, 1995) emitiu uma decisão judicial (liminar) ordenando que todo trabalho, exceto o de "pesquisa", deveria ser paralisado e, proibindo o governo de Roraima de enviar sua Polícia Militar para a área de conflito. A decisão apontava que não é a demarcação que dá à população indígena o direito de suas terras tradicionais. Se não fosse derrubada através do recurso que o governo do estado havia preparado em 1995 (*Folha de Boa Vista*, 24/03/95), uma decisão final sobre a construção da barragem teria que ser dada exclusivamente pelo voto do Congresso Nacional. A decisão foi mantida,



e o caminho pelo Congresso Nacional foi iniciado pelos políticos de Roraima com a aprovação do PDL 2540/2006. Contudo, como o projeto ainda não foi à plenária, não se constitui em um ato terminativo com poder de decisão final. Essa parece ser a mais árdua tarefa para os grupos políticos locais, pois seria necessária a anuência política do Governo Federal para que o projeto fosse à votação plenária. Na época dos conflitos mais violentos (1994-95), o governo de Roraima insistia que a hidrelétrica poderia ser construída sem a aprovação do Congresso Nacional baseando-se na tese de que a área "... está fora das áreas demarcadas ou reservas, mas dentro de uma área reivindicada pelos índios Macuxi para demarcação ... a situação legal é de uma área identificada, que, no jargão da FUNAI, é o ponto inicial para o processo de demarcação" (CER, 1994, p. 10-15, ênfase do original). Embora a Constituição Brasileira deixe claro que a ocupação tradicional, mais do que a demarcação, é a base da proteção (Artigo 231, Parágrafo 3), a possibilidade dos eventos se desdobrarem de forma diferente é real. Nós explicaremos este importante ponto em maiores detalhes na sequência do trabalho.

A decisão judicial de 17 de março de 1995 (Sousa, 1995) foi um sinal positivo para a aplicação das proteções constitucionais para os povos indígenas. A decisão não permite generalizações sobre a independência do poder judiciário. É relevante notar que tanto o Procurador Federal, que formulou o caso contra o governo do estado, quanto o juiz que assinou a decisão, eram substitutos de Manaus que estavam em Boa Vista por curto período de tempo, enquanto os titulares residentes em Roraima poderiam estar sujeitos a plena força das pressões políticas daquele estado.

Em 08 de janeiro de 1996 uma nova ameaça à reserva indígena Raposa - Serra do Sol surgiu quando o Decreto Federal No. 1.775 foi editado, permitindo que a maioria das áreas indígenas na Amazônia pudessem ser contestadas judicialmente, de forma retroativa, incluindo-se também os governos estaduais. O governo de Roraima indicou uma comissão para preparar um "contraditório" contestando a demarcação da área. A área indígena perderia aproximadamente 300 mil ha da sua extensão que era ocupada por vilas, fazendas de pecuária e arroz (mas não afetando a parte da reserva a ser inundada pela Hidrelétrica de Cotingo) (Santilli, 2000). Após longo debate político e judicial, o Superior Tribunal Federal, em março de 2009, expediu a decisão final

favorável à homologação da Terra Indígena Raposa - Serra do Sol (Lauriola, 2010, 2013), na forma proposta pela FUNAI e como determinado pelos atos administrativos do ministro da Justiça e do presidente da República: Portaria MJ nº 820, de 11.12.1998 e Portaria MJ nº 534, de 13 de abril de 2005, posteriormente homologada por Decreto Presidencial de 15 de abril de 2005. Contudo, o STF, na sua decisão em 2009, estabeleceu 19 condicionantes para seu efeito. Dentre as condicionantes, a de número 5 é de especial interesse ao setor energético: "*O usufruto dos índios não se sobrepõe ao interesse da Política de Defesa Nacional. A instalação de bases, unidades e postos militares e demais intervenções militares, a expansão estratégica da malha viária, a exploração de alternativas energéticas de cunho estratégico e o resguardo das riquezas de cunho estratégico a critério dos órgãos competentes (o Ministério da Defesa, o Conselho de Defesa Nacional) serão implementados independentemente de consulta a comunidades indígenas envolvidas e à Funai*" (ver: Joaquim, 2013). Neste sentido, o ISA (Instituto Socioambiental) fez o seguinte comentário sobre as consequências legais desta condicionante imposta pelo STF em 2009: "*Já são permitidas instalações militares em Terras Indígenas em faixa de fronteira. Essa condicionante, no entanto, inova ao confundir a construção de estradas e hidrelétricas com objetivos militares e ao negar o direito dos povos indígenas em serem consultados previamente, o que contraria a Convenção 169 da OIT e, no caso de hidrelétricas e mineração, a própria Constituição. Não está claro também se essa condição pode se aplicar a terras situadas fora de faixa de fronteira*" (ISA, 2009).

## Planos futuros para o Rio Cotingo

Uma série de cinco barragens foi planejada para o rio Cotingo, como forma de atender a crescente demanda energética na região, fazendo uso deste potencial (Figura 4). Seria um total de 548 MW instaladas, inundando um total de 306 km<sup>2</sup> (Giordano *et al.*, 1993). Trata-se de um fenômeno comum que os rios sejam desenvolvidos através de uma série de barragens, portanto, regulando o fluxo d'água através do sistema e incrementando a saída energética total além do que se poderia obter com a soma das barragens individualmente. Tais planos podem causar severos problemas, principalmente com a soma do conjunto das barragens seguintes à primeira, danificando o ambiente devido ao processo sequencial de inundação e deslocamento do rio. O mais dramático caso é a série de barragens planejadas para o



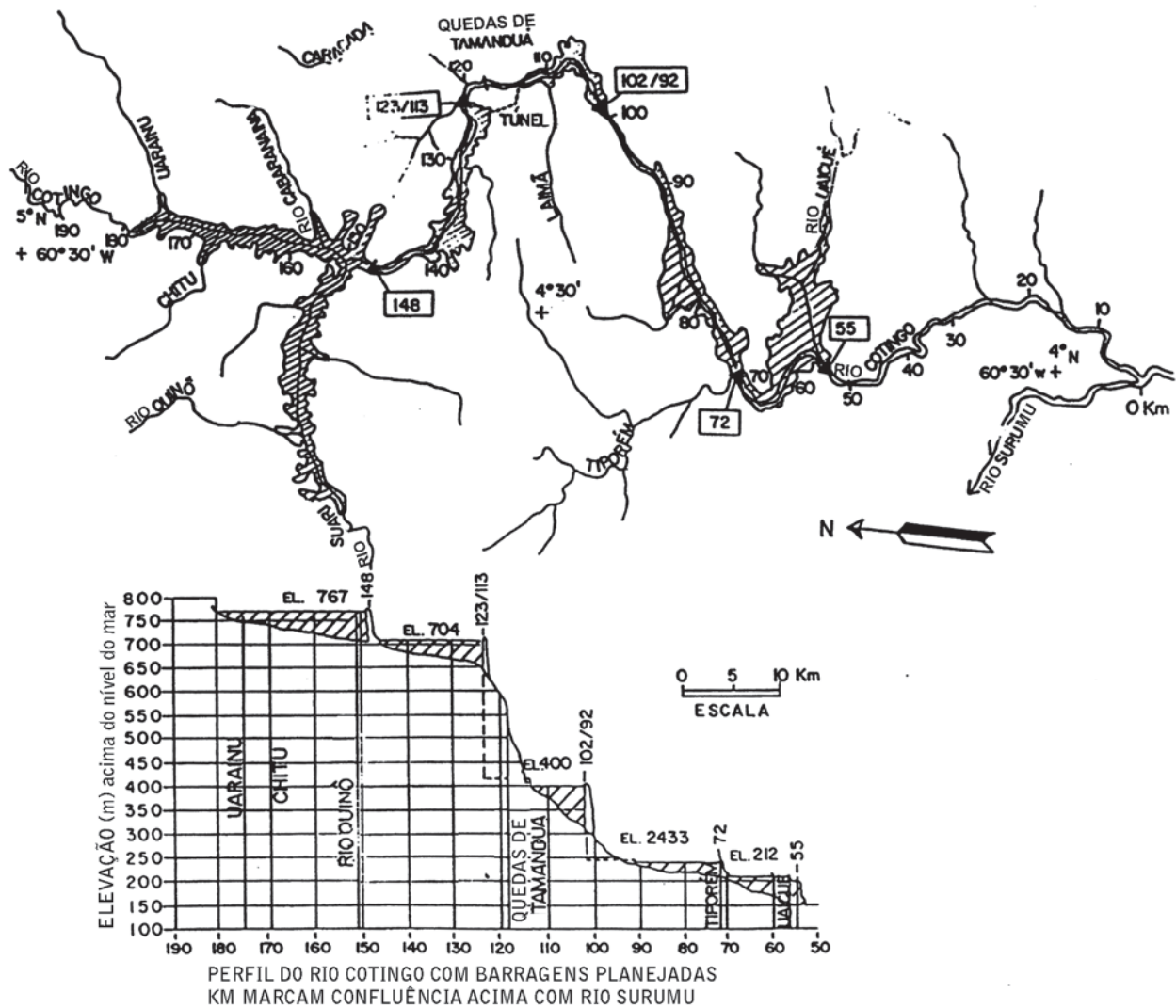


Figura 4. Reservatórios hidrelétricos planejados para o rio Cotingo.

rio Xingu, onde a primeira barragem (Belo Monte, anteriormente chamada de Kararaô) providenciaria a justificativa para a construção de mais cinco represas adicionais, incluindo a Hidrelétrica de Babaquara com 6.140 km<sup>2</sup> de lago e, que inundaria extensas áreas indígenas (Santos & Andrade, 1990; Cummings, 1990).<sup>1</sup>

O potencial de dano das futuras barragens é muito menor em Cotingo do que no rio Xingu. Todavia, o fato de que o EIA e o RIMA estejam restritos à primeira barragem dentro da série, é parte de um problema genérico na avaliação do impacto que, inevitavelmente, levaria a maiores problemas. Todas as cinco represas programadas para a bacia do Cotingo estariam em território indígena da Raposa – Serra do Sol.

## RACIOCÍNIO ECONÔMICO

### Economia em decisões de desenvolvimento

Argumentos econômicos são geralmente presumidos a explicar decisões sobre projetos de desenvolvimento a despeito do dano que possam causar ao ambiente e aos povos indígenas. Análises econômicas não adicionam custos humanos e ambientais e, normalmente presume-se que as decisões seriam racionais da perspectiva dos reais interesses da sociedade se estes fatores forem devidamente valorados na análise. Um exame da racionalidade econômica para Cotingo é necessário se queremos entender como a decisão de construí-la foi feita e quais as barreiras existentes para proteger o ambiente e os povos indígenas. Se as justificativas econômicas tradicionais são insuficientes

para explicar o projeto, como a informação apresentada a seguir mostrará, então, podemos ter mais confiança de que são outros fatores, tal como a política, que exercem um papel decisivo.

### **Projeções de demanda energética**

A racionalidade para se construir Cotingo é baseada nas projeções de demanda energética para Roraima (CER, 1993, p. 2-8 a 2-10) encontradas nos estudos da Eletronorte e da Companhia Energética de Roraima (CER), que usam um cenário presumindo enorme crescimento populacional para o estado (aproximadamente 10% por ano no período de 1991-2001). Embora o EIA expresse que as projeções foram feitas "...de extrapolações das configurações do mercado observadas anteriormente" (CER, 1993, p. 2-9), nenhum fator de correção foi aplicado para quebrar a tendência de expansão explosiva que caracterizou o período sobre o qual a extrapolação foi baseada ou que permitisse avaliar a probabilidade de um futuro "boom" no consumo. Os três cenários de consumo energético em Roraima até 2020 não são acompanhados por qualquer informação sobre como as porcentagens de demanda por "micro-período" foram derivadas. Tudo indica que estes cenários são meramente suposições (otimistas do ponto de vista dos construtores de represas) sobre o mercado futuro de eletricidade. É difícil justificar grandes gastos públicos sem uma base razoável para crer que a quantidade de energia a ser fornecida realmente será necessária.

O EIA encena um futuro sombrio para Roraima se a hidrelétrica não for construída: "... a tendência ambiental da região é manter a condição de estagnação econômico-social dentro de um meio ambiente degradado" (CER, 1993, p. 8-1). Esta visão do futuro se opõe frontalmente com a própria avaliação dos consultores que indicam que a economia de Roraima cresceu por um fator de sete, de 1970 a 1985 (CER, 1993, p. 6-82 e 6-83). É difícil imaginar como este crescimento, que foi conseguido sem energia hidrelétrica, pode ser chamado de economia «estagnada». É necessário um cenário de crescimento econômico sem a barragem, mas com a expansão do atual sistema de geração a óleo diesel (termelétrico). Cenários com abastecimento hidrelétrico ou termelétrico precisam ser avaliados em termos dos custos e benefícios. Tais análises devem identificar quem pagará os maiores custos e qual a camada da população que será beneficiada.

As projeções de demanda após o ano 2000 (ano que Cotingo era esperado entrar em operação) foram baseadas na presunção que a demanda tem sido represada na era pré-Cotingo (CER, 1994, p. 2-2). Desnecessário dizer que, isto é um impulso adicional ao crescimento explosivo da demanda calculada das extrapolações exponenciais do aumento populacional de Roraima.

### **Viabilidade física da hidrelétrica**

Uma fonte de dúvida sobre a viabilidade física da Hidrelétrica de Cotingo é a magnitude da sedimentação que poderia ser causada pela erosão provocada pelos garimpeiros na bacia de captação a montante da barragem. A presença de garimpeiros foi reconhecida no EIA (CER, 1993, p. 6-29), mas as taxas de sedimento não foram calculadas.

O zoneamento econômico-ecológico de Roraima situa uma "área de garimpo organizada" e a barragem em um mesmo mapa. Jaime de Agostinho, que coordenou o zoneamento até 1995, indicou o zoneamento da área do rio Quinô, acima da represa de Cotingo, como um "garimpo organizado" (comunicação pessoal, 1995). Isto provavelmente provocaria a continuidade e a expansão da atividade garimpeira que produziria a entrada de sedimentos no reservatório de Cotingo: zoneamento para área de mineração e hidrelétrica em uma mesma localidade é inconsistente.

O EIA coloca que "com a construção da barragem serão criadas condições para a deposição dos sedimentos ora transportados, cujos volumes deverão, todavia, ser pouco significativos com relação ao volume morto do reservatório" (CER, 1993, p. 6-19). A equipe de limnologia, entretanto, possui uma interpretação diferente. Na seção de limnologia do EIA (CER, 1993, p. 6-36), os "sólidos sedimentáveis" no rio Cotingo são estimados em 0,50 ml/litro, um valor muito maior do que aqueles encontrados em seus tributários (igarapés Caimã e das Lages), que possuem valores de zero. Isto é explicado no EIA como sendo o resultado da garimpagem no rio Quinô (principal tributário do Cotingo) e no próprio Cotingo (CER, 1993, p. 6-31). O EIA descreve este sedimento como um "pequeno volume" (CER, 1993, p. 6-31). Entretanto, é necessário entender o comportamento destes sólidos dentro de um cenário com hidrelétrica e atividade garimpeira (CER, 1993, p. 6-80).

O EIA menciona as modestas dimensões do reservatório e a perda da velocidade da água que entra rio acima como um indicador de elevada sedimentação (CER, 1993, p. 7-46 a 7-51). Estes argumentos se conflitam com aqueles que repudiam a sedimentação como um problema significativo (CER, 1993, p. 6-31). O modelo usado para estimar o volume de acumulação de sedimentos (CER, 1993, p. 7-48) requer informação sobre a época em que foi realizado, além do tipo de carregamento sólido e a quantificação dos volumes de sedimentos dos diferentes tributários. Obter esta informação seria uma grande precaução, dada a importância da sedimentação em um processo de decisão sobre a viabilidade técnica da barragem. Por exemplo, é notório que os “sólidos sedimentáveis” tendam a ser próximo de zero na estação seca do ano (dez-mar) em rios que correm sobre a Formação Roraima, uma formação geológica de base litológica-arenítica onde o rio Cottingo se insere. Isso porque a falta de chuvas de grande intensidade impede o natural deslocamento de sedimentos para dentro dos rios. Contudo, o arraste de sedimentos, em especial partículas de areia grossa e fina, tenderá a ser grande entre maio-julho, quando chuvas ganham volume e intensidade.

O EIA indica que o rio Cottingo contém 45 mg/litro de substâncias húmicas, uma concentração 5,6 vezes maior do que o resultado para seus dois igarapés analisados (Caimã e das Lajes), ambos com pouco distúrbio humano. Seria de valor ao governo de Roraima obter mais interpretações detalhadas dos resultados da modelagem sobre a sedimentação e a qualidade da água, baseados em uma maior soma de pesquisa de campo. Cenários deveriam ser desenvolvidos com e sem a barragem.

O estudo da viabilidade estabelece: “não existem registros de quaisquer atividades de campo que tenham sido feitas com o propósito de obter informações sobre as descargas sólidas no rio Cottingo. A validade de um estudo sedimentológico realizado sem qualquer base de dados é questionável” (CER, 1994, p. 7-9). O relatório continua com um cálculo aproximado que toma os mais altos índices de transporte de sedimentos nos rios do Estado de São Paulo (420 t/km<sup>2</sup> da bacia de captação) registrado por Setzer (1982) e Bittencourt (1978) e, presumindo uma densidade média específica aparente de 1,24 t/m<sup>3</sup> e 100% de retenção no reservatório. Sob estas

presunções, o reservatório levaria mais de 100 anos para sedimentar. Usando o mesmo valor para a densidade específica, o valor de 0,50 ml/litro para sólidos sedimentáveis dados no EIA para o rio Cottingo (CER, 1993, p. 6-36) é equivalente a 0,62 g/litro de água, um valor confirmado pela amostragem realizada em janeiro de 1995 (R.I. Barbosa, observação pessoal). Dada a média do fluxo de água de 86 m<sup>3</sup>/segundo (CER, 1993, p. 6-23), 1,4 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de sólidos entrariam no reservatório anualmente. Se todos estes sólidos fossem retidos, os 139,7 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de volume de armazenagem do reservatório no nível de água da primeira fase (CER, 1994, p. 2-10) seriam preenchidos em 103 anos.

Mesmo que este período de tempo possa parecer longo, deve ser lembrado que os sedimentos carregados podem incrementar pela pressão do aumento da garimpagem e, que metade do volume de armazenagem do reservatório estaria perdida em um horizonte de “vida útil” de 50 anos utilizados nos cálculos da CER (CER aparentemente não fez ajustes para perdas do volume de armazenagem pelos cálculos usados no estudo de viabilidade, EIA e RIMA). O volume de sólidos é grande: como ilustração, o volume anual que poderia entrar no reservatório seria mais do que os 1,2 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> da “escavação comum” a ser feita quando da construção da hidrelétrica (CER, 1994, p. 14-4). A um custo de US\$ 4/m<sup>3</sup> de escavação em condições terrestres (CER, 1994, p. 14 *ff.*), a remoção custaria cerca de US\$ 5,4 milhões anualmente.

O relatório do EIA menciona que a vegetação aberta e a presença de barrancos e ravinas na bacia de captação sugerem “uma susceptibilidade insignificante de erosão” e continua a observar que “a existência de atividades de mineração acima do local da barragem, nas cabeceiras do rio Cottingo, poderiam resultar em sérios problemas, devido a estas condições naturais de fragilidade” (CER, 1994, p. 10-10).

O solo no reservatório e na bacia de captação é descrito como “litólico distrófico com presença de laterita hidromórfica distrófica e afloramentos de rochas” e como “pobremente desenvolvido e muito raso” (CER, 1994, p. 10-10). Isto implica que quase toda a água da chuva escorreria sobre a superfície, fazendo a área propensa à erosão. O fluxo do rio Cottingo possui uma “rápida resposta à precipitação” (CER, 1994, p. 10-9).

## Custos financeiros da construção

Estimativas dos custos financeiros da construção são apresentadas na Tabela 1.

As informações sobre os custos são diametralmente conflitantes, como é comum em hidrelétricas na Amazônia (Fearnside & Barbosa, 1996a). A informação compilada das declarações dispostas no EIA totaliza US\$ 142,8 milhões (Tabela 1). O Conselho Nacional da Amazônia Legal, um grupo de trabalho composto por representantes da Eletrobrás, Eletronorte, Petrobrás e companhias

estaduais de energia, formado em 1994 para elaborar uma política coerente de abastecimento energético regional, projetou investimentos necessários para o período de 1995-2000 (o mesmo período em que o estudo previa a construção de Cotingo) para suprir Boa Vista. Estes investimentos totalizaram mais do que o dobro do previsto para a construção de Cotingo: US\$ 305,5 milhões (Conselho Nacional da Amazônia Legal, 1994, p. 63). Se aplicado uma taxa de desconto de 12% ao ano, este investimento possuía um valor líquido presente de US\$ 213,7 milhões.

**Tabela 1.** Custos financeiros das alternativas energéticas para Roraima.

Tipo do Custo	Em US\$1.000		
	Hid. Cotingo (68 MW - Fase 1)	Expansão Termelétrica (p/ 102 MW)	Importação da Hidrelétrica de Guri
Direto	71.959 <sup>(a)</sup>		
Indireto	21.780 <sup>(a)</sup>		
Proteção Ambiental	1.500 <sup>(b)</sup>		
Empréstimos	16.940 <sup>(a)</sup>		
Sistema de Proteção	48.000 <sup>(a)</sup>		0
Total para a capacidade instalada	160.179		13.100 <sup>(c)</sup>
Custo/kW instalado (US\$)	2.100 <sup>(d)</sup>		700 <sup>(e)</sup>
Custo unitário "Global" (US\$/MWh)	50,90 <sup>(f)</sup>	124,3 <sup>(g)</sup>	32 <sup>(h)</sup>

(a) Valores para dezembro de 1992 do estudo de viabilidade (CER, 1994, p. 14-16).

(b) Valor de março de 1992, ponto médio do intervalo de US\$1.000-2.000 dado no EIA (CER, 1993, p. 2-35).

(c) Valor de março de 1992, estimado do custo por kW instalado dado no EIA (CER, 1993, p. 2-34), assumindo que o parque termelétrico é expandido para 102 MW.

(d) Estimado do custo total/capacidade instalada.

(e) CER (1993, p. 2-34).

(f) Valor à 12% de taxa de desconto (CER, 1994, p. 2-6).

(g) Valor de dezembro de 1992 do estudo de viabilidade (CER, 1994, p. 2-6), menor do que os US\$ 135,4/MWh calculados para março de 1992 no EIA.

(h) Valor não oficial do Instituto Socioambiental (ISA, 1994, p. 6), assumindo que Manaus é também suprida.

## COMPARANDO AS ALTERNATIVAS

### 1. Expansão da Geração Térmica

O Plano Decenal de 1993-2002 estabelece: "Em 1999, com a operação da hidrelétrica de Cotingo (3 × 40 MW), haverá uma redução na geração térmica de 318,9 GWh ou, quase o total da demanda energética prevista para este ano. Isto implica em uma redução no consumo de óleo diesel de 137,7 × 10<sup>6</sup> de litros (2.336 BEP/dia), economizando cerca de US\$ 29 milhões anualmente" (Brasil, Eletrobrás, 1992, p. 38). Como é frequente em tais comparações, as "economias" reivindicadas representam somente o custo do combustível, presumindo que a hidrelétrica (e também usinas termelétricas) é construída e mantida gratuitamente.

A comparação de alternativas é um item exigido em um EIA (CONAMA Resolução No. 001, Artigo 5, Inciso I de 23/01/1986)<sup>2</sup>. O EIA apresenta esta "comparação" de forma confusa e singular, não implicando em uma "linguagem clara", especificada nas exigências do CONAMA para tais relatórios (CONAMA Resolução No. 001, Artigo 9, Inciso VIII). Os números apresentados para os custos de diferentes itens aparecem dispersados no texto, em vez de apresentados em uma tabela que permita ao leitor visualizar comparativamente as vantagens e desvantagens das diferentes opções. Em adição, disfarçam, ou no mínimo dificultam a visualização dos verdadeiros relacionamentos entre as opções. Os valores mencionados para Cotingo e para as alternativas não são para os custos totais: os leitores



interessados são obrigados a localizar e somar os vários componentes do projeto para fazer suas próprias comparações.

Os valores dos custos apresentados no EIA foram organizados na Tabela 1. A conclusão a que os números chegam quando organizados não é necessariamente a mesma alcançada pelos consultores da INTERTECHNE. O EIA coloca que, "... como pode ser visto, a barragem hidrelétrica ... permite o fornecimento de energia ... sob condições econômicas claramente melhores do que aquelas correspondentes à expansão do parque térmico" (CER 1993, p. 2-34). Contudo, a adição dos diferentes componentes de custo do EIA (Tabela 1) totalizam US\$ 2.100/kW de capacidade instalada para Cottingo em valores de março de 1992. Considerando 306.600 MWh/ano de geração esperada (CER, 1992, p. 16), o custo de instalação por quilowatt gerado seria de US\$ 4.082/kW. O custo de instalação para a expansão da capacidade de geração termelétrica é estimado em US\$ 700/kW (CER, 1993, p. 2-34).

O custo de expansão do parque termelétrico poderia ter sido razoavelmente pequeno. A CER estimou que, para ser equivalente aos 68 MW da primeira fase de Cottingo, Boa Vista necessitaria de 102 MW de capacidade térmica instalada, incluindo uma margem de 50% para uso durante manutenções (CER, 1993, p. 2-34). Como Boa Vista já possuía 83,26 MW de capacidade termelétrica instalada (Conselho Nacional da Amazônia Legal, 1994, p. 38), somente 18,7 MW teriam que ser adicionados para complementar a configuração necessária. A um custo de instalação de US\$ 700/kW (CER, 1993, p. 2-34), isto custaria apenas US\$ 13,1 milhões ou, menos do que um décimo do custo de construir a Hidrelétrica de Cottingo e sua respectiva linha de transmissão (Tabela 1). Mesmo se supondo uma situação de catástrofe, onde todo o equipamento termelétrico tenha que ser substituído, uma vez que os equipamentos de Boa Vista foram comprados usados de Porto Velho (Rondônia), e estavam com deficitária manutenção, o custo de instalação seria de US\$ 71,4 milhões, ou metade do custo de Cottingo.

O aspecto da geração termelétrica, que é inherentemente mais cara do que a geração hidrelétrica está nas despesas de operação, uma vez que o combustível deve ser comprado. O custo do combustível "economizado" é invariavelmente o maior foco dos argumentos para esta e outras barragens hidrelétricas. A fim de fazer uma comparação equitativa,

deve-se tratar estes tipos de custos de maneira consistente que reflita os valores da sociedade. O que parece ter sido feito é presumir-se que os custos da construção da barragem seriam totalmente financiados. O débito na hora do início da operação é calculado considerando as despesas de capital mais os juros acumulados até aquele momento. A partir de então, a amortização é presumida a ocorrer de forma linear ao longo de 50 anos, e os juros a 10% são calculados sobre o restante (*e.g.*, CER, 1994, p. 9-18). Os 50 anos de amortização implicam em um custo de 2% ao ano no início do período, fazendo o resultado com 10% de juros, aproximadamente equivalente a uma taxa de desconto de 12% ao ano, mencionada no relatório na descrição de como os custos "globais" por megawatt-hora foram derivados (CER, 1994, p. 2-6).

Os custos calculados desta forma indicam que a Hidrelétrica de Cottingo seria mais barata do que a geração termelétrica (Tabela 1). Parte desta diferença recai na decisão social se o governo deveria fazer um grande investimento inicial, para ser dado baixa ao longo dos próximos 50 anos, ou se os custos deveriam ser adiados e pagos durante este período através de compras de combustível. Na prática, o teórico empréstimo de 100% sobre o qual os cálculos estavam baseados não ocorreria e, a maioria ou todas as despesas de construção teriam que ser pagas à vista pelos contribuintes. É bem possível que empréstimos reais, tais como os que foram concedidos pelos países fornecedores de equipamento para Tucuruí e Balbina, estariam sob termos menos favoráveis do que aqueles usados no cálculo.

Durante a discussão das propostas até 1995, talvez o maior impedimento à opção térmica, assim como a importação de eletricidade da Hidrelétrica de Guri, na Venezuela, tenha sido o baixo "status" que estas formas de abastecimento possuem dentro da cultura dos "barrageiros". Barrageiros, ou construtores de barragens, representam uma distinta subcultura na sociedade brasileira, que exerce influência sobre as decisões de desenvolvimento hidrelétrico que vão além do que os números podem sugerir (Fearnside, 1989). Esta influência também pode ir além dos benefícios econômicos que uma barragem hidrelétrica poderia garantir. A construção de uma hidrelétrica é um empreendimento de alto "status", enquanto a instalação e o reparo de usinas termelétricas são atividades com baixo "status" social. Uma barragem como Cottingo, que envolve a construção de um túnel através de quilômetros de rocha e a

construção de uma parede de concreto (em vez das simples estruturas de terra de muitas hidrelétricas) representa o tipo de desafio que faz brilhar os olhos de muitos engenheiros.

A equipe da CER foi rápida em apontar as desvantagens da geração térmica: as usinas estão envelhecendo e continuamente quebrando. Boa Vista tem uma desvantagem adicional nos períodos de estação seca quando o rio Branco fica com água insuficiente para permitir que as barcas que transportam óleo diesel de Manaus façam a viagem normalmente. Entretanto, estes períodos de estiagem são um fenômeno regular e, a frequência dos «blackouts» (apagões) poderia ser evitada dentro de limites aceitáveis através de investimento na capacidade de estoque suficiente para geração contínua, a níveis normais, ultrapassando qualquer seca por mais prolongada que fosse.

Um argumento frequente na condenação da geração termelétrica na Amazônia brasileira é o exemplo dos cortes de energia que eram comuns em Belém antes da inauguração da Hidrelétrica de Tucuruí em 1984. Deve ser lembrado, entretanto, que a geração termelétrica é uma tecnologia simples que tem estado em uso por cerca de um século. Não existe mistério em projetar uma rotina de manutenção e substituição e, estimar a capacidade de geração extra que seria necessária para evitar “blackouts”. Entretanto, a tentação seria forte em permitir que os equipamentos termelétricos se deteriorassem quando as autoridades energéticas estão antecipando a substituição de geradores térmicos por projetos hidrelétricos, mesmo se as hidrelétricas em questão ainda necessitem de importantes aprovações tais como a do Congresso Nacional para construí-las em uma área indígena. Algo que é difícil de ocorrer dado os diferentes níveis de interesse político no Brasil, mas não impossível. Há também a possibilidade das autoridades energéticas não expandirem a capacidade termogeradora suficientemente rápido, permitindo que as usinas termelétricas se deteriorassem como um meio de montar o apoio popular para a barragem. Em Boa Vista, por exemplo, a população tendia a culpar cada queda de energia sobre os índios e/ou restrições ambientais que impediam a construção de Cotingo. A capacidade termelétrica em Boa Vista durante as discussões sobre Cotingo na primeira metade da década de 1990 era substancialmente maior do que a demanda. A capacidade termelétrica instalada em Boa Vista totalizava 83,26 MW (Conselho Nacional da Amazônia

Legal, 1994, p. 38). A CER considerava apenas 42,0 MW como energia efetiva, devido a algumas unidades estarem sendo reservadas para servir de sobressalentes para uso em caso de paralisações (CER, 1994, p. 3-5). Mesmo sem os geradores de reposição, a capacidade existente providenciava uma confortável margem, considerando o tamanho de Boa Vista à época: a demanda média foi projetada em 22,74 MW para 1994 e o pico da demanda em 36,60 MW (CER, 1994, p. 3-7). Quando recentemente eleito, o Governador Neudo Campos informou ao Presidente Fernando Henrique Cardoso desta capacidade termelétrica e que a demanda de Boa Vista era de apenas 29 MW (Lima, 1995). A margem entre capacidade e demanda significa que o aumento brusco nos cortes de energia em Boa Vista em 1994, na época em que a construção de Cotingo estava por começar, seria de difícil explicação com base na capacidade de geração insuficiente, como implicado pelos frequentes lembretes que os “blackouts” cessariam com a construção da hidrelétrica.

A expansão da capacidade termelétrica possui a grande vantagem de poder ser feita e incrementada em pequenos passos a partir da confirmação do crescimento da demanda e da necessidade de mais energia. A natureza incremental da expansão da capacidade de geração termelétrica combinava bem com a incerteza extraordinariamente alta das projeções populacionais em Roraima. Crescimento populacional explosivo nos anos anteriores se devia a eventos tais como subsídios governamentais de importação de eleitores a fim de influenciar nos resultados eleitorais e estabelecer obstáculos aos esforços do governo federal para inibir a invasão de terras indígenas por garimpeiros (ver revisão destas avaliações em Fearnside & Barbosa, 1996a). Estes não são os tipos de processos que demógrafos estão acostumados a projetar, como crescimento populacional através da reprodução ou migração para cidades de um estoque definido de habitantes rurais.

Diferenças no nível de incertezas entre as diferentes opções precisam ser consideradas. Custos reais acima dos previstos são frequentes em projetos hidrelétricos, fazendo com que o custo verdadeiro do Cotingo pudesse ser muito maior do que foi calculado. Em contraste, os custos da geração termelétrica são mais previsíveis e menos prováveis a serem subestimados de forma tendenciosa. A Hidrelétrica de Cotingo tem a desvantagem da alta incerteza nos planos de abastecimento energético por causa da questão não resolvida dos direitos indígenas. Se

a construção da barragem fosse avante, em violação constitucional e/ou outras restrições, ela poderia ter sido paralisada por ordem judicial após considerável investimento realizado. A vantagem financeira dos US\$ 50,9/MWh de Cottingo *versus* os US\$ 124,30/MWh da geração termelétrica calculada pela CER (ver Tabela 1) é enganadora como um resumo do valor de cada opção para a tomada de decisão, já que cada “recompensa” precisa ser multiplicada pela probabilidade de realmente obtê-la (Raiffa, 1968).

Comparações das opções termelétricas e hidrelétrica deveriam incluir considerações globais tais como a natureza finita das reservas de combustível fóssil e o impacto destas opções nas emissões de gases do efeito estufa. Em geral, estas considerações favorecem as soluções hidrelétricas, embora no caso de áreas de floresta tropical (que não é o caso de Cottingo), o impacto no aquecimento global pela geração hidrelétrica pode exceder aos efeitos das usinas termelétricas (Fearnside, 1995).

## 2. Outros Sítios Hidrelétricos

Outras barragens hidrelétricas foram consideradas para o papel previsto para a Hidrelétrica de Cottingo. A preferência oficial tem pulado de uma proposta para a outra com a sucessão de diferentes governadores. A Hidrelétrica do Bem Querer, no leito principal do rio Branco (ver Figura 1), foi considerada em 1975 pelo então governador, e Coronel da Força Aérea, Ramos Pereira. Um dos discursos publicados por este governador dita que “o projeto da Eletronorte para instalação de uma barragem hidrelétrica no rio Cottingo ... não satisfaz os objetivos estratégicos, diretrizes e programas ... do II Plano Nacional de Desenvolvimento” (Brasil, Ministério do Interior, 1975, p. 28). A hidrelétrica do Bem Querer poderia eventualmente ter uma capacidade instalada de cerca de 600 MW (revista para 708 MW recentemente) e permitiria que as eclusas providenciassem navegabilidade para Boa Vista durante todo o ano, devido à submersão das corredeiras do Bem Querer que tornam o rio Branco intransitável nos períodos de seca (CER, 1993, p. 2-2). Uma estimativa de 1975 apontou um custo de US\$ 235,7 milhões para uma configuração inicial de 195 MW (Brasil, Ministério do Interior, 1975).

A Hidrelétrica de Paredão (ver Figura 1) foi proposta através de um estudo de viabilidade em 1984 (CER, 1984) e foi considerada seriamente entre 1985 e 1986 durante o governo de Getúlio Cruz.

Paredão deixou de ser uma prioridade porque outras fontes (alternativas termelétricas consideradas para este papel nos planos da Eletrobrás publicados no período 1990-91, além de Cottingo a partir de 1992) seriam suficientes para suprir todas as necessidades energéticas de Boa Vista (Brasil, Eletrobrás, 1992, p. 38). Paredão teria somente 27 MW de capacidade instalada a um custo de US\$ 110 milhões (CER, 1984), fazendo-a como uma pobre comparação em relação a Cottingo e as alternativas não-hidrelétricas. Devido a sua pequena capacidade de armazenamento, Paredão teria somente 9 MW de energia firme (CER, 1994, p. 4-2). Em sua primeira fase de nível de água, Cottingo teria 48,3 MW de energia firme (CER, 1994, p. 2-3).

Paredão e Bem Querer foram objetos de fanfarras políticas quando estavam sendo considerados, mas isto depois foi transferido para Cottingo. Contudo, dentro do jogo político local, recentemente Bem Querer e Paredão voltaram a ser opções estratégicas para angariar simpatia da população, visto que o caminho para Cottingo continua longo e com pouco apoio do Governo Federal. Desta forma, em 2011, Bem Querer e Paredão foram incluídas no PAC 2 (Programa de Aceleração do Crescimento 2) do governo da Presidente Dilma Rousseff, como as melhores opções energéticas para Roraima. No caso de Bem Querer, foi estimado que a potência instalada seria da ordem de 708 MW, sendo todo o projeto construído a um custo de R\$ 3,8 bilhões (EPE, 2011; *Folha de Boa Vista On-line*, 23/02/2011); algo inimaginável à época de Ramos Pereira. Essa transferência de atenção de Cottingo para Bem Querer e Paredão apenas indica a necessidade de geração de um fato político para ser discutido nas eleições majoritárias de 2014. Políticos precisam de assuntos que toquem mais com o emocional do eleitor do propriamente com a solução dos problemas estruturais. No caso desta nova configuração, os dois grandes grupos políticos locais (um liderado pelo Senador Romero Jucá e o Governador José de Anchieta e, o outro, pela Senadora Ângela Portela e o ex-governador Neudo Campo) reivindicam para si a responsabilidade da inclusão destas obras no PAC 2.

## 3. Energia da Hidrelétrica de Guri (Venezuela)

Uma possibilidade de fornecer energia para Boa Vista, hoje posto em prática, era a importação de eletricidade da Hidrelétrica de Guri (10.000 MW), na Venezuela. Quando começou a consideração dessa opção em 1994, o principal objetivo da



transmissão da energia de Guri seria suprir Manaus: suprir Boa Vista seria um benefício adicional relativamente menor (Brasil, Eletrobrás, 1994b). A linha de transmissão de Guri para Manaus seria de 1.600 km, 1.000 km dentro do Brasil. Avanços na tecnologia de transmissão têm abaixado os custos de linhas de longa distância, tais como aquelas projetadas para ligação da Amazônia com os centros industriais do Sudeste brasileiro: as linhas são consideradas viáveis até 2.500 km, para qual o custo seria de US\$ 16/MWh transmitido, incluindo investimento, custos operacionais, manutenção e perdas de energia (Conselho Nacional da Amazônia Legal, 1994, p. 56). O custo proporcional para transmissão de Guri para Manaus seria de US\$ 10/MWh transmitido. A decisão posterior de suprir energia para Manaus a partir dos campos de gás natural do rio Urucu fez com que a construção de uma linha de transmissão entre Boa Vista e Manaus fosse, à época, desnecessária. Contudo, como a estratégia atual do governo federal é interligar todo o país dentro do Sistema Nacional de Energia, o linhão que liga Manaus à Boa Vista foi iniciado e possui previsão de ser finalizado em meados de 2015. O objetivo do Ministério de Minas e Energia vem sendo o de apoiar o Plano Energético de Roraima – construído pelo Governo de Roraima, com o intuito de fazer com que o estado fique interligado ao sistema nacional, incluindo a já existente hidrelétrica de Jatapu, e as planejadas dentro do PAC 2 (Paredão e Bem-Querer), como parte da estratégia nacional de interiorização da energia para todos os municípios brasileiros.

Ressalta-se que a linha de transmissão de Guri para Boa Vista, de 676 km (191 km no Brasil) causou impactos ambientais e sociais na Venezuela por cortar o Parque Nacional de Canaimã (Gran Sabana Venezuelana), que é também uma área indígena. Foi notável a diferença de visões nos dois países entre organizações não governamentais (ONGs) ambientalistas e indigenistas: as ONGs venezuelanas se opuseram à linha de transmissão enquanto as brasileiras a apoiaram como maneira de evitar os impactos da hidrelétrica de Cotingo. No lado venezuelano, não houve negociações entre a empresa estatal de eletricidade e os povos indígenas, que resistiram a construção da linha, inclusive dinamitando algumas torres de transmissão. Em contraste, no Brasil houve um ano de negociação, com assinatura de um termo de compromisso com os índios afetados pela linha em abril de 1998 (Gonçalves, 2000). Diferente da barragem no rio

Cotingo que iria afetar a Terra Indígena Raposa - Serra do Sol, a linha de Guri afeta a Terra Indígena São Marcos. O acordo firmado com os índios permitiu, entre outras coisas, que se iniciasse um estudo para estabelecer o fornecimento de energia entre algumas comunidades de São Marcos, através do Programa São Marcos, um convênio firmado entre a Eletronorte, a FUNAI e as comunidades da reserva indígena. Além disto, este acordo também possibilitou a retirada de 101 invasores que estavam estabelecidos ilegalmente dentro da reserva (JM, 2002). Desde 2009, o fornecimento regular da energia de Guri vem enfrentando sérios problemas devido a seguidas secas no rio Caroni e à crise política e econômica da Venezuela (*Portal G1*, 2009). Este fato acaba provocando o retorno de Cotingo às discussões, aproveitando a insatisfação popular, em especial por causa dos seguidos cortes de energia ao longo de 2013 (Folha Boa Vista On-line, 2013).

## CONTEXTO POLÍTICO

Por causa de sua alta visibilidade, Cotingo seria um grande trunfo para qualquer político em Roraima que reivindicasse o crédito de tê-la construído. O governador anterior, Ottomar de Sousa Pinto (conhecido como Ottomar e falecido em dezembro de 2007) estava em uma boa posição para fazer isto, já que ele foi o porta-voz mais visível da barragem desde seu primeiro mandato como governador (1979-1983), por exemplo, em seu plano de desenvolvimento para o Estado (Brasil, Ministério do Interior, 1980). Durante seu segundo mandato (1991-1994), a administração de Ottomar foi hábil em obter a aprovação ambiental para Cotingo em 18 de outubro de 1994 (entre o primeiro e o segundo turno das eleições brasileiras e dois meses antes do fim do mandato oficial de Ottomar). O benefício político dos votos ganhos pela construção de Cotingo seria especialmente valioso para Ottomar, porque o maior beneficiário da barragem seria a cidade de Boa Vista, onde 55% da população de Roraima residia, segundo o censo de 1991. É aonde Ottomar possuía um apoio um pouco menor: ele conseguiu 49,3% dos votos válidos no município de Boa Vista (incluindo áreas rurais ao redor da cidade) no segundo turno das eleições governamentais de 1990 (logo atrás de seu principal oponente com 50,7%), mas venceu a eleição geral por conseguir 61,5% dos votos válidos do restante do Estado (Fearnside & Barbosa, 1996a). O apoio de Boa Vista, quando combinado com os votos do sul de



Roraima, onde a popularidade de Ottomar já era alta, o faria virtualmente invencível nas eleições seguintes, podendo ser visualizado com seu grande favoritismo para os pleitos seguintes ao governo do estado. Isso foi concretizado, com Ottomar se tornando prefeito eleito de Boa Vista (1997-2000) e, sendo empossado governador de Roraima em 2004 após uma decisão judicial que caçou o mandato do então governador eleito (Flamarion Portela). Ottomar foi eleito pelo voto popular no pleito de 2006 quando, em pleno mandato, veio a falecer em 2007. Em seu lugar assumiu o então vice-governador José de Anchieta Júnior, que também é franco defensor de Cotingo, tendo exposto em 2008 esta opção a instituições financeiras e lideranças sociais reunidas em Londres, com o príncipe Charles, para um amplo debate sobre a sustentabilidade da Amazônia (Folha de Boa Vista On-line, 2008). Anchieta deixará o cargo em 2014.

## IMPACTOS AMBIENTAIS

### Impactos sobre os ecossistemas terrestres

A área inundada pela Hidrelétrica de Cotingo é modesta comparado aos muitos projetos existentes e/ou propostos. É também um dos únicos locais propostos na Amazônia brasileira que possui vegetação do tipo savana, em vez de floresta tropical. A perda de floresta e os problemas de decomposição são portanto muito menos severos do que em outros lugares.

O estudo de viabilidade enfatiza que os consultores consideraram a pobreza biológica da área: “a fauna é muito pobre, não sendo notada abundância de pássaros, insetos, moluscos e anfíbios” (CER, 1994, p. 10-11). Isto leva à conclusão que “a fauna e a flora são, portanto, quase insignificantes” (CER, 1994, p. 10-16). Os Macuxi disputariam a inutilidade da biota da área, da qual o grupo tem se sustentado por milênios. Botânicos também chegariam a uma conclusão contrária: as savanas do norte de Roraima, sul da Venezuela e leste da Guiana constituem um mosaico de pequenas áreas de diferentes tipos, cada um com uma grande variedade de espécies endêmicas (Carneiro Filho, 1991; Eden, 1964; Huber, 1982).

A alteração no regime de “cheia” de um rio teria um impacto sobre a vegetação ripária (ribeirinha) abaixo da represa. O EIA e o RIMA não possuem informações sobre a oscilação do rio e nenhuma informação de como a água será balanceada tanto para

manter a geração de energia durante a estação seca como para manter pelo menos 80% de fluxo d’água, no mínimo, como exigido pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE Norma 3, Portaria 125; ver CER, 1993, p. 4-9).

O estudo de viabilidade inclui cenários de geração de energia com e sem uma descarga sanitária d’água (CER, 1994, p. 9-4), implicando que a CER poderia decidir operar a barragem sem manutenção do fluxo de água rio abaixo. De fato, antes da revisão de 1994 do estudo de viabilidade, todos os cálculos de custos haviam sido feitos sobre a presunção de que nenhuma descarga sanitária d’água (fluxo mínimo rio abaixo) seria mantida (CER, 1994, p. 1-2). A revisão do estudo de viabilidade em 1994 implica que a CER está disputando o tamanho da descarga sanitária: os cálculos são feitos dos anos quando seria necessário fazer diferentes acréscimos ao complexo da represa “caso que o valor da descarga sanitária seja confirmado” (CER, 1994, p. 14-7).

Na primeira fase de nível d’água, a manutenção do nível de descarga implica em uma perda de 32% do potencial de energia firme da represa. O estudo de viabilidade sempre se refere à descarga como uma “perda de energia” (*e.g.*, CER, 1994, p. 9-3) e enfatiza que, no caso de mantida, isto significará em um aumento da represa dois anos antes do previsto (CER, 1994, p. 9-5). A tentação de desobedecer a exigência de uma descarga desproveria o baixo fluxo do rio Cotingo durante a estação seca.

O estudo de viabilidade, o EIA e o RIMA parecem estar deturpando o “fluxo médio mínimo mensal observado” que os regulamentos do DNAEE (DNAEE Norma 3, Portaria 125, ver CER, 1993, p. 4-9) indicam como critério para determinar a descarga d’água. A descarga deve ser no mínimo de 80% deste valor. Os relatórios repetidamente citam o valor de 8 m<sup>3</sup>/segundo (CER, 1993, p. 6-2, 1994, p. 7-3), implicando que os 80% requeridos seriam de somente 6,4 m<sup>3</sup>/segundo. Entretanto, 8 m<sup>3</sup>/segundo refere-se ao mínimo observado em um simples mês (abril de 1988), em vez de uma *média* mensal para uma série de no mínimo 10 anos como requerido pela regulamentação do DNAEE. Os dados de fluxo mensal apresentados no EIA (CER, 1993, p. 6-25) para o período de 1950-1990 indicam que a menor média mensal é de 34 m<sup>3</sup>/segundo (a média para fevereiro). O fluxo mínimo a jusante da barragem, por conseguinte, teria que ser de 80% deste valor ou, 27,2 m<sup>3</sup>/segundo, portanto, diminuindo a energia

filme que poderia ser creditada para a hidrelétrica. Cada turbina com capacidade de 34 MW requer 14,6 m<sup>3</sup>/segundo de água (CER, 1994, p. 2-13). O mínimo necessário para manter um gerador em operação seria, portanto, de 27,2 + 14,6 = 41,8 m<sup>3</sup>/segundo, mais uma quantia não especificada para a evaporação no reservatório. A curva de fluxo apresentada no relatório (CER, 1994, p. 7-4) indica que para cerca de 25% do ano, em média, a fluxo de água seria inferior a esta quantia.

### Impactos sobre os ambientes aquáticos

O EIA e o RIMA clamam que o rio Cotingo é pobre em peixes (CER, 1992, p. 30, 1993, p. 6-4). Não é especificado se esta pobreza é natural ou o resultado de uma sedimentação da garimpagem que o rio vem experimentando nos últimos anos. Os consultores podem ter pouca base para afirmar que o impacto sobre a ictiofauna será baixo sem conhecimento de quais fatores estão influenciando a alegada baixa diversidade. A introdução de peixes exóticos no reservatório provavelmente causaria um maior impacto. O EIA sugere a introdução de tilápia (CER, 1993, p. 9-30), uma espécie que é bem conhecida pela competição com espécies nativas em muitas partes do mundo.

As declarações sobre a ictiofauna ilustram o problema de firmas consultoras que geram longos relatórios em base de pouco ou nenhum trabalho de campo. Em uma opinião técnica (parecer) sobre o EIA e o RIMA, Carvalho & Barbosa (1994) fazem uma série de questões retóricas:

“Com respeito à pobreza de peixe no rio Cotingo, esta declaração é comprometedor. A pobreza diz respeito ao número de espécies ou indivíduos? Quando foram feitas as coleções? Qual foi o esforço de captura? Quem coletou o material? Qual foi a parte do rio Cotingo onde foram realizadas as coletas? Quem identificou o material coletado? Sem estes dados básicos e, especialmente sem o material coletado, não é possível dizer qualquer coisa sobre a diversidade e o número de indivíduos. Como chegaram a estas conclusões? Se existe realmente baixa diversidade de ictiofauna no rio Cotingo, ela é uma função das alterações causadas pelo homem no rio em anos recentes (poluição pelo garimpo) ou ela é natural? Como pode existir baixo impacto sobre a ictiofauna se os fatores limnológicos que influenciam a baixa diversidade são desconhecidos?

Além disto, na página 6-4 do EIA existe outra declaração comprometedor sobre a “...pobreza de espécies de peixes, o que também se evidencia pelos estudos limnológicos efetuados”. Nenhum estudo foi feito pela firma consultora que relaciona aspectos limnológicos com a diversidade de espécies de peixes. No parágrafo seguinte o leitor é induzido a aceitar que os “... resultados obtidos justificam as várias diretrizes e recomendações apontadas no Plano de Manejo Ambiental. Mas onde estão os resultados?” (Carvalho & Barbosa, 1994).

### O EIA/RIMA

O EIA e o RIMA para Cotingo contêm uma variedade de irregularidades. Uma delas aponta o RIMA sendo feito antes do EIA. Desde que o RIMA é suposto para “refletir as conclusões do EIA” (CONAMA Resolução 001 de 23/01/1986, Artigo 9), o EIA deveria ter sido feito primeiro. O EIA está datado de junho de 1993, enquanto o RIMA está datado de setembro de 1992. Em adição, INTERTECHNE aparentemente iniciou seu trabalho antes de ser contratada pela CER. De acordo com o prefácio do EIA, o trabalho no RIMA foi iniciado em setembro de 1991. Entretanto, a firma só foi contratada em outubro de 1991 (CER, 1993, p. 2-5).

A associação próxima de firmas consultoras com agências governamentais que repetidamente as contratam é um problema bem conhecido para obter relatórios objetivos. A regulamentação requerida para o EIA e o RIMA (CONAMA Resolução 001 de 23/01/1986, Artigo 7) é explícita em exigir que “o estudo ambiental será realizado por uma equipe multidisciplinar qualificada que não dependa, direta ou indiretamente, do proponente do projeto”. Contudo, firmas consultoras estão conscientes de que serão provavelmente convidadas para realizar outros serviços no futuro para uma agência se eles produzirem relatórios favoráveis àquela proposta da agência. INTERTECHNE, por exemplo, escreveu o estudo de viabilidade para a Hidrelétrica de Jatapu (CODESAIMA, 1991) e indubitavelmente espera manter um relacionamento comercial de longo tempo com o governo de Roraima.

O EIA e o RIMA estão recheados com referências dos pontos positivos da barragem de Cotingo e dão pouca atenção às soluções alternativas para o abastecimento de energia de Boa Vista. O tom dos documentos não deixa dúvidas ao endosso da firma consultora para a opção de construir a represa.

Linguagem tendenciosa não está restrita às partes do documento reservadas para conclusões e recomendações mas permeia por todas as partes do texto. Independente se Cotingo é a melhor opção, a Resolução 001 do CONAMA implica fortemente que o objetivo do EIA/RIMA é permitir que o público e os tomadores de decisão cheguem às suas próprias conclusões com respeito ao melhor curso de ação.

Um dos problemas com o processo do EIA/RIMA é a inevitável falta de objetividade. Um EIA/RIMA que enfatiza problemas que levariam a *não* aprovação do projeto em questão é virtualmente desconhecido. Isto deve ser esperado porque: (1) O proponente paga a firma consultora que escreve os relatórios, (2) a firma consultora geralmente procede a submissão de rascunhos preliminares ao proponente em várias fases enquanto o definitivo esta sendo preparado. O proponente frequentemente faz pedidos de mudanças que a firma consultora inevitavelmente cumpre e (3) os contratos normalmente especificam que a última parcela de pagamento (que soma 20-30% do total) é somente paga após o RIMA e/ou o EIA serem aceitos pelas agências governamentais próprias (Jaime de Agostinho, comunicação pessoal 1995).

### A Audiência Pública

A Audiência Pública, que é uma exigência no procedimento de licenciamento, foi um marco no lapso que existe entre a intenção do sistema de licenciamento ambiental e seu funcionamento na prática. Tudo foi feito na tentativa de excluir os índios e seus representantes e terem apenas um aparecimento simbólico na audiência. Os índios e seus representantes não foram incluídos entre os oradores no dia da Audiência Pública, sendo relegados apenas como platéia. As questões da audiência estavam limitadas a três minutos, sem direito a réplica das respostas dadas. A audiência e a presença dos índios foi essencial para dar credibilidade à hidrelétrica.

Cotingo ilustra bem um dos mais frustrantes aspectos do sistema de avaliação ambiental no Brasil: que não importa quão crítico ou negativo os resultados das audiências e avaliações ambientais possam ser, o único fato importante no final das contas é que estes estágios no processo de licenciamento tivessem sido passados. Pareceristas e a platéia que testemunham a Audiência Pública exigida, podem dizer do que não gostam mas o processo de aprovação

e construção inexoravelmente segue em frente. Ironicamente, o fato dessas pessoas terem contribuído com depoimentos, mesmo negativos, pode ajudar o projeto a seguir em frente por permitir aos proponentes dizer que todas as posições foram consultadas. Isto não deve sugerir que potenciais ouvintes deveriam boicotar as Audiências Públicas, porque o silêncio também tem seu custo.

Na Audiência Pública sobre o Relatório de Impactos Ambientais (RIMA) para Cotingo, realizado em Boa Vista em 07 de outubro de 1994, Paulo Sérgio Lemos Latjê, Presidente da Companhia Energética de Roraima (CER), foi perguntado sobre uma série de questões que diziam respeito ao componente orçamentário da hidrelétrica, por exemplo, como a decisão de construir Cotingo poderia ser justificada dado que as exigências de energia de Boa Vista poderiam ser resolvidas por preço mais baixo mediante a expansão da capacidade termelétrica (em uma instalação de 102 MW apresentada como uma “segunda alternativa” no EIA). Em relação a esta opção, Cotingo é no mínimo duas vezes mais cara em termos do custo de instalação total mesmo se toda a instalação atual tivesse que ser refeita (ver Tabela 1). Nenhuma resposta convincente foi dada.

A reunião tinha um aspecto de “teatro do absurdo”, com os atores fazendo seus papéis em uma peça onde a conclusão já estava pré-determinada (Barbosa & Carvalho, 1994). Embora virtualmente todas as considerações apresentadas na reunião fossem altamente críticas à hidrelétrica de Cotingo, o projeto recebeu seu licenciamento preliminar da agência ambiental do governo do estado (SEMAIJUS) somente 11 dias mais tarde (18 de outubro de 1994). Como um dos atores (Jaime de Agostinho) colocou mais tarde “todos *sabiam* que isto aconteceria”.

### Uso do zoneamento para justificar a barragem

Em 1988 o governo brasileiro anunciou o início de um zoneamento ecológico-econômico para o País, após a conclusão de que todos os projetos de desenvolvimento teriam que ser feitos de acordo com o zoneamento (Decreto No. 96.944 de 12/10/1988). O exercício do zoneamento é separado do processo de identificação e demarcação de terras indígenas. A responsabilidade do zoneamento foi dada à Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE) (Decretos 99.193 de 27/03/1990 e 99.246 de 10/05/1990), que atuava no papel supervisor sobre as agências dos governos estaduais que fazem



as descrições a níveis mais detalhados (Decreto 99.540 de 21/09/1990). Mais tarde a coordenação do zoneamento passaria para o Ministério do Meio Ambiente. Em Roraima o projeto de zoneamento deu alta prioridade à área em torno de Cotingo e, esta prioridade foi aceita pela SAE. O projeto do zoneamento em Roraima está recebendo US\$ 1,2 milhões do Banco Mundial como parte do Programa Piloto do G-7 para Conservação da Floresta Tropical Brasileira (PPG-7); ironicamente, o objetivo do governo de Roraima é de usar os fundos para bloquear a demarcação da reserva Raposa - Serra do Sol, de acordo com afirmações de Edileuza Melo, uma das coordenadoras do projeto do zoneamento (CCPY, 1995).

Por que foi dada uma alta prioridade para a área de Cotingo no zoneamento de Roraima? Uma provável resposta é que se esperava que o esforço levaria a encontrar recursos preciosos na área da Raposa - Serra do Sol, que poderia ser usados como argumento para não concretizar o processo de demarcação. O chefe do projeto do zoneamento afirmou que esperava que o zoneamento documentasse o valor dos recursos na área para servir como um argumento para compensar o estado pelo não aproveitamento da área (Jaime de Agostinho, comunicação pessoal, 1994).

É importante notar que terras indígenas são demarcadas pelo governo federal na guarda dos povos tribais que tradicionalmente as habitam. Estas terras nunca fizeram parte da base dos recursos dos estados para exploração. A demarcação delas como reservas indígenas, portanto, não cria obstáculos no caminho dos estados e, nenhuma compensação é garantida.

A visão do zoneamento ecológico-econômico como forma de abertura de terras indígenas e outras áreas protegidas para exploração é uma perversão de sua intenção original, que foi a de servir como um meio de evitar projetos de desenvolvimento inapropriados que causem danos ao meio ambiente. Quando a exigência de zoneamento foi incluída no Programa Nossa Natureza do então Presidente José Sarney, ele foi visualizado como uma vitória dos ambientalistas. Neste instante, governadores dos estados, não somente o de Roraima mas também os dos outros estados amazônicos, visualizaram o processo do zoneamento como um meio de aumentar a legitimidade de seus próprios projetos prioritários. Em Roraima, isto colocou Cotingo no topo da lista.

O chefe do zoneamento em Roraima (Jaime de Agostinho) explicou a aptidão agrícola das diferentes

unidades de terra em sua apresentação na Audiência Pública sobre o EIA/RIMA da Hidrelétrica de Cotingo. Cotingo foi incluída nos mapas produzidos pelo zoneamento, adicionando assim credibilidade à visão de Cotingo como uma parte inevitável do futuro de Roraima.

## POVOS INDÍGENAS

### Impactos sobre a População Indígena

A represa inundaria terras indígenas (Figura 1). Os operários trazidos enquanto a barragem estivesse sendo construída, e depois a presença permanente de pessoal de manutenção e de outros serviços, poderia ter efeitos negativos sobre os grupos indígenas que vão além das perdas de terras por inundação.

Cotingo representa um dilema cruel para os povos indígenas que teriam suas terras inundadas. Eles sabem que Cotingo representa uma ferramenta com que o governo, "militares" e interesses políticos esperam abrir um precedente que permitirá livre acesso para exploração de recursos de todos os tipos em terras indígenas por toda a Amazônia. Altamente visível, os proponentes de Cotingo não fazem segredo desta intenção. Elton Rohnelt, ex-diretor da CER e depois deputado federal de Roraima, cuja campanha eleitoral de 1994 se intitulou "Elton Energia" e, que caracterizou-se simbolicamente por uma lâmpada, declarou: "o maior obstáculo para a construção de Cotingo é a questão política, que envolve a problemática questão da demarcação da área da Raposa - Serra do Sol" (Souza, 1995).

Terras indígenas representam um tipo de última fronteira para exploração de madeira, minerais e outros recursos. Estes segmentos da sociedade brasileira que estão em uma posição de explorar estas riquezas, frequentemente veem os índios como meros obstáculos. Para os índios, a defesa de suas terras é a sua sobrevivência. Isto não é para ser olhado de forma insignificante. A Hidrelétrica de Cotingo é vista como uma ponta de lança de penetração nas terras indígenas, servindo para perfurar as proteções legais, obstruir mais demarcações ao longo da região e ganhar tempo para que outros abusos sobre terras indígenas possam se tornar fatos consumados.

Os Macuxi, até o presente, estão divididos com respeito a Cotingo e as relações com o governo em geral. Algumas aldeias protestantes são a favor da barragem e contra a demarcação da área indígena



de forma contínua. Este grupo tem sido favorecido com benefícios governamentais tais como postos de saúde, água encanada, eletricidade e postos telefônicos. A maioria das aldeias, que se opõe à barragem e a fragmentação da reserva, são apoiadas pela Igreja Católica; das 90 malocas existentes na área em 1994/95, 13 (14%) eram a favor da hidrelétrica, e 77 (86%) contra (ISA, 1995). Esta divisão, por exemplo, permitiu a Secretaria de Obras e Serviços Públicos descrever o levantamento topográfico como tendo sido “demandado pelas comunidades indígenas” (Ofício de 16/01/1995 SOSP/GAB/of./CIRC. No. 005/95 de Ariomar Gouvêa Coelho, Secretário de Estado de Obras e Serviços Públicos, para Suami Percílio dos Santos, Administrador da FUNAI em Roraima). Entretanto, a maioria da população indígena era inquestionavelmente contra a hidrelétrica e qualquer trabalho de preparação para ela.

O EIA para a Hidrelétrica de Cotingo contém pouco sobre os problemas indígenas, a despeito disto estar sendo a chave que afeta a viabilidade da represa. O EIA coloca que a questão indígena é abordada “através de pesquisa bibliográfica, visitas na área de interesse, contatos com residentes locais e tomadas de depoimentos” (CER, 1993, p. 6-5). Entretanto, nada do conteúdo destas entrevistas e depoimentos é revelado, nem mesmo estabelece quantas pessoas foram entrevistadas.

Uma das mais incríveis passagens no EIA é sua classificação de um «impacto positivo» da hidrelétrica, permitindo «...consolidar definitivamente a presença de não-índios na região» (CER, 1993, p. 2-3). Mais do que um fator positivo, isto representa uma severa ameaça ao futuro das comunidades indígenas na área, permitindo um aumento dos conflitos de terra já existentes na região.

A Eletrobras vem tentando convencer a CER a tomar uma posição menos hostil em relação aos povos indígenas da área. Em 1994 o presidente da Eletrobrás (José Luiz Alquéres) escreveu para o presidente da CER (Paulo Sérgio Lemos Latgê) avisando-o que a Eletrobrás foi comunicada pelo DNAEE que ele poderia não endossar uma aprovação de Cotingo naquela época (Ofício No. CTA-PR 10762/94 de 03/11/1994). Os povos indígenas foram o fator chave que evitaram um julgamento favorável. A Eletrobrás colocou a necessidade de consultas com os povos indígenas e considerou inadequados os estudos antropológicos. A Eletrobrás avisou a CER que Cotingo poderia vir a se tornar

um perigoso precedente se existisse polarização entre uma “falsa dicotomia” do ambiente versus desenvolvimento e coloca que a Audiência Pública de 07/10/1994 deveria servir como o início, em vez do fim, de um diálogo com os diferentes grupos ambientais e indígenas.

O que os índios Macuxi poderiam ganhar de Cotingo é um objeto com as mais divergentes visões possíveis. Durante uma visita a área indígena dos Macuxi onde está situado o local da barragem de Cotingo, a chefe do Departamento de Meio Ambiente da agora extinta SEMAIJUS (Rita de Cássia) sugeriu que a represa permitiria aos índios o uso de fornos microondas (Edimar Figueiredo Vasconcelos, comunicação pessoal, 1995). O abismo entre esta visão do que os índios necessitam e a realidade de vida nas aldeias Macuxi seria difícil de exagerar.

### Proteções Constitucionais

Cotingo demonstra dramaticamente a facilidade com a que a constituição do Brasil pode ser ignorada quando é conveniente fazê-lo.<sup>3</sup> A constituição de outubro de 1988 (Artigo 231, Parágrafo 3) estabelece claramente que barragens hidrelétricas em terras indígenas devem ser aprovadas pelo Congresso Nacional. Isto se aplica a todas as terras que são “historicamente ocupadas” pelos índios; não somente para terras em reservas demarcadas. No caso de Cotingo, a região tem sido o lar dos grupos Macuxi, Taurepang, Wapixana e Ingarikó por milênios e está em uma área indígena não-demarcada (Raposa - Serra do Sol). A Terra Indígena Raposa - Serra do Sol foi delimitada pela FUNAI (Portaria No. 9) em ato publicado no Diário Oficial de 18/05/1993. Até mesmo o EIA coloca que a terra é ocupada pelo grupo e, que os índios são contrários a qualquer tipo de transferência para outro local (CER, 1993, p. 6-99).

O estudo de viabilidade nota a presença de índios mas apresenta a barragem como uma oportunidade para desenvolvimento dos grupos afetados e como parte de um inevitável processo que levaria ao fim os indígenas ao longo da vida. O relatório é cuidadoso ao se referir às terras como “... ocupadas por índios ...”, evitando qualquer implicação que estas pessoas tenham direito à terra (CER, 1994, p. 10-6). É também enfatizado a presença de não-índios e o acentuado contato exterior por pelo menos 100 anos. O relatório também enfatiza outras fontes de “presença incrementada”, tais como garimpagem, zonas de livre comércio na fronteira da Venezuela e Guiana

(autorizado pela Lei 8256 de 25/11/1991) e, “várias estradas *existentes* que cortam a bacia em diferentes direções” (CER, 1994, p. 10-6, ênfase no original).

Se o Congresso Nacional aprovasse a construção da hidrelétrica na área indígena, então os grupos étnicos deveriam receber uma compensação pela perda da terra. Qualquer tipo de indenização pela desapropriação da terra requereria uma estimativa precisa do montante de terra necessário. O EIA menciona uma estimativa de 4.000 ha para a Fase 1 (CER, 1993, p. 6-2). É claramente necessário uma maior precisão para isto.

### **Pagamento de “Royalty”**

Pagamento de “royalties” para mineração em áreas indígenas é especificamente mencionado na Constituição do Brasil (Artigo 231, Parágrafo 3). Barragens hidrelétricas, embora mencionadas no mesmo parágrafo com relação à necessidade de autorização pelo Congresso Nacional, não estão especificadas para pagamento de “royalty”. O parágrafo relata:

“O aproveitamento dos recursos hídricos, incluindo os potenciais energéticos, a pesquisa e a lavra das riquezas minerais em terras indígenas só podem ser efetivados com autorização do Congresso Nacional, ouvidas as comunidades afetadas, ficando-lhes assegurada participação nos resultados da lavra, na forma da lei [Artigo 231, Parágrafo 3]”.

A constituição (Artigo 176) mantém que a construção de barragens hidrelétricas em áreas indígenas deveria seguir procedimentos específicos a serem estabelecidos por lei. A referida lei ainda não foi proposta ao Congresso Nacional, muito menos aprovada.

Pagamento de “royalties” não foi mencionado em nenhuma parte do estudo de viabilidade, no EIA ou no RIMA para a Hidrelétrica de Cotingo. Um documento anônimo circulado pelas autoridades do setor elétrico Federal e de Roraima sugere oferecer como “royalty”, de 1% a 2% da tarifa cobrada pela eletricidade (Anônimo, 1994). Um “royalty” de 1% é previsto na proposta aprovada em 24 de maio de 2002 pela Comissão de Amazônia e Desenvolvimento Regional, da Câmara dos Deputados, em Brasília (Agência Câmara, 2002).

### **LIÇÕES DA HIDRELÉTRICA DE COTINGO**

1. Cotingo ilustra as dificuldades de controlar projetos que se transformam em alta prioridade política. A falta de consideração de diferentes

alternativas para abastecimento energético mostra o pouco peso econômico existente nas decisões sobre grandes projetos de desenvolvimento.

2. A maior parte dos componentes de avaliação do projeto e do sistema de autorização falhou em alguns passos do caminho de assumir seu papel nas grandes decisões de desenvolvimento. Estes incluem os estudos de impactos ambientais (EIA), o relatório de impactos ambientais (RIMA), a licença preliminar (LP) e a audiência pública.

3. É irrealista a expectativa de que firmas consultoras que produzem os documentos de EIA/RIMA sejam objetivas sob o atual sistema. O sistema necessita ser reformado mas, as falhas do sistema não deveriam ser permitidas para justificar o abandono das exigências do EIA/RIMA (como muitos proponentes de grandes obras ficariam contentes com isto). Entre as reformas necessárias estão as provisões para suporte da avaliação por mecanismos financeiros que são independentes dos proponentes do projeto.

4. A decisão judicial barrando a construção e condicionando a aprovação pelo Congresso Nacional é um sinal positivo para a aplicação das proteções constitucionais para os povos indígenas. Entretanto, a fragilidade destas proteções é clara pelos eventos ocorridos em torno da Hidrelétrica de Cotingo. Os bancos multilaterais, que fazem empréstimos ao setor de energia do Brasil, não deveriam se enganar pensando que as verbas não poderiam ser usados em detrimento dos povos indígenas graças às proteções constitucionais e legais que estes povos teoricamente gozam. A inclusão de avaliações independentes sobre cada projeto continua sendo uma parte necessária e importante na tomada de decisões dessas agências financiadoras.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Ana Paula Souto Maior (CIR), Lúcia Andrade (CPI/SP), Edimar Figueiredo Vasconcelos (CER), Carlos Alberto Queiroz Barreto (MPF/RR), Carlos Frederico dos Santos (MPF/RR) e muitas outras pessoas de Boa Vista e de outros locais que providenciaram informação sobre o projeto. Ao povo Macuxi da Raposa - Serra do Sol por permitir a visita de R.I.B. na área do evento. Agradecemos a Springer-Verlag New York pela permissão de publicar esta tradução atualizada do nosso trabalho publicada na revista *Environmental Management* (Fearnside & Barbosa, 1996b). D.H.

Boucher, K.F. Wiersum e S.V. Wilson fizeram comentários valorosos ao manuscrito. O “Pew Scholars Program in Conservation and the Environment” forneceu suporte financeiro.

## NOTAS

(1) Em 1992 a Hidrelétrica de Babaquara e as outras quatro represas acima de Belo Monte foram removidas da lista de barragens incluídas no plano decenal, resultado de um estudo para “realocar a queda” do rio Xingu. A remoção temporária das represas mais controversas da lista não implica, necessariamente, que não haverá alagamento das mesmas áreas por construção de represas nesta extensão do rio, possivelmente em locais diferentes e com outros nomes. A Hidrelétrica de Babaquara foi renomeada “Altamira” e aparece no plano decenal da Eletrobrás para construção até 2013 (Brasil, Eletrobrás, 1998, p 145).

(2) A firma consultora é legalmente responsável pelas informações técnicas e financeiras apresentadas no EIA. Se o governo de Roraima gastar dinheiro público desnecessariamente com base nas recomendações da firma consultora, a empresa, teoricamente, poderia ser obrigada a compensar o estado (CONAMA Resolução 001 de 23/01/1986, Artigo 7).

(3) Proteções constitucionais no Brasil são muito mais nebulosas e incertas na prática do que se poderia imaginar. A finalidade com que os procedimentos e regras são frequentemente feitos pelos legisladores, advogados, organizações não-governamentais (ONGs) e oficiais de justiça, em geral, implica que o que está escrito na constituição representa a palavra final. Infelizmente, os eventos se revelam diferentes na prática. Em 1990, por exemplo, um rígido pacote econômico foi efetivado pelo então Presidente Fernando Collor de Mello através de uma série de “medidas provisórias” que violaram a Constituição. As medidas foram produzidas pelo Ministro da Justiça Bernardo Cabral, que havia sido o relator da Constituição de 1988 pela Assembleia Nacional Constituinte (*Isto É*, 04/04/1990; Fernandes, 1990). Algumas das medidas, tal como a de No. 153, foram revogadas, enquanto outras, como a de No. 173, foram mantidas. ONGs que representam os índios cujas terras seriam inundadas pelo represamento de Cotingo escreveram o seguinte sobre a Hidrelétrica de Jatapu (no sul de Roraima): “A Hidrelétrica de

Jatapu trará consequências negativas para o povo indígena Wai-Wai. Por causa disto, a construção desta barragem depende da autorização do Congresso Nacional. Esta é também a opinião do Procurador Federal em Roraima” (CIR & CPI/SP, 1993, p. 46). Jatapu nunca foi submetida ao Congresso Nacional como um caso que deveria ser decidido sob o Artigo 231 da Constituição e a hidrelétrica foi construída sem a mínima consideração pelos povos indígenas (Fearnside & Barbosa, 1996a).

A Constituição de 1988 também requereu que o governo federal demarcasse todas as áreas indígenas até 05/10/1993 (Disposições Transitórias, Artigo 67). Esta data limite foi atingida com menos da metade das áreas indígenas demarcadas. Falta de fundos não explicaria a falha de se proceder a este requerimento constitucional, pois fundos para este empreendimento veem sendo ofertado frequentemente por uma diversidade de fontes internacionais. Mais do isto, a falha representa uma vitória para indivíduos e instituições de dentro do próprio governo (incluindo militares), que não querem que as partes da Constituição que dizem respeito à proteção das terras indígenas sejam respeitadas. Os índios estão conscientes desta realidade. Avanços significativos foram realizados na última parte da década de 1990 e início da década de 2000 através do Programa Piloto de Conservação das Florestas Tropicais do Brasil (PPG7), com contribuições principalmente da Alemanha para a parte indígena do Programa. A Raposa - Serra do Sol não foi incluída nas atividades do PPG7 devido às normas do Banco Mundial (co-administrador do PPG7) com relação a projetos que envolvem re-assentamento de populações, neste caso de ocupantes não indígenas.

## LISTA DAS SIGLAS

CCPY/RR .....	Comissão pela Criação do Parque Yanomami, Escritório de Roraima (hoje Comissão Pró-Yanomami).
CER .....	Companhia Energética de Roraima; até 1988 <i>Centrais Elétricas de Roraima</i> .
CIR .....	Conselho Indígena de Roraima.
CODESAIMA .	Companhia de Desenvolvimento de Roraima.
CONAMA .....	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
CPI/SP .....	Comissão Pró-Índio de São Paulo.
DNAEE .....	Departamento Nacional de Águas e



Energia Elétrica.  
 EIA ..... Estudo de Impactos Ambientais.  
 Eletrobrás ..... Centrais Elétricas Brasileiras.  
 Eletronorte ..... Centrais Elétricas do Norte do Brasil.  
 FUNAI ..... Fundação Nacional do Índio.  
 LP ..... Licença Prévia.  
 MPF/RR ..... Ministério Público Federal  
 em Roraima.  
 RIMA ..... Relatório de Impactos Ambientais.  
 SEMAIJUS ..... Secretaria do Meio Ambiente,  
 Interior e Justiça (órgão ambiental  
 do Estado de Roraima - extinto em  
 julho de 1996).

## LITERATURA CITADA

- Anônimo. 1994. UHE Cotingo: Uma possível posição consensual. (manuscrito).
- Agência Câmara. 2002. Roraima poderá ter nova hidrelétrica. Reportagem divulgada em 25 de maio de 2002. Agência Câmara, Câmara dos Deputados, Brasília, DF. <http://www.ambientebrasil.com.br/agenda/index.php3?action=ler&cid=4578>.
- Barbosa, R.I. & C.M. Carvalho. 1994. Cotingoblefe: A farsa da hidrelétrica e o teatro do absurdo em Roraima. *Folha de Boa Vista*, 14 de outubro de 1994, p. 6.
- Bittencourt, A.V. 1978. *Sólidos Hidrotransportados na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí*. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Brasil, Eletrobrás. 1989. *Plano Decenal 1990-1999*. Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS), Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobras), Rio de Janeiro, RJ. 55 p.
- Brasil, Eletrobrás. 1992. *Plano Decenal de Expansão 1993-2002*. Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS), Eletrobras, Rio de Janeiro, RJ. 81 p.
- Brasil, Eletrobrás. 1994a. Assunto: *Análise do Relatório da Revisão dos Estudos de Viabilidade da UHE Cotingo*. Ofícios No. 168-DNAEE/CGCO, de 23.09.92 e No. 109/CGCO-DNAEE, de 11.08.94. Resolução No. 602/94, 1638ª Reunião da Diretoria Executiva, 23/94.
- Brasil, Eletrobrás. 1994b. *Relatório de viagem à Venezuela*. Memo No. DPT-098/94. 2 de agosto de 1994. Eletrobras, Rio de Janeiro, RJ. 13 p.
- Brasil, Eletrobrás. 1998. *Plano Decenal 1999-2008*. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), Rio de Janeiro, RJ.
- Brasil, Ministério do Interior. 1975. *II Simpósio de Integração de Projetos na Amazônia, Tema 3.5 - Aproveitamento Integrado da Cachoeira do Bem-Querer*. Ministério do Interior/Território Federal de Roraima/Gabinete do Governador, Boa Vista, RR. 29 p.
- Brasil, Ministério do Interior. 1980. *I Plano de Desenvolvimento de Roraima. (V.1 - Diagnóstico)*. Ministério do Interior/ Governo de Roraima/Secretaria de Planejamento e Coordenação, Boa Vista, RR. 219 p.
- Carneiro Filho, A. 1991. *Contribution to the Study of the Forest-Savanna Mosaic in the Area of Roraima, Northern Amazon Basin*. Dissertação de mestrado. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Eindhoven, Países Baixos, 116 p.
- Carvalho, C.M. & R.I. Barbosa. 1994. Parecer Técnico/UHE Cotingo. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Núcleo de Pesquisas de Roraima (NPRR), Boa Vista, RR. 26 de agosto de 1994, 16 p.
- CCPY. 1995. Zoneamento em Roraima, financiado pelo Banco Mundial, pode influenciar decisão sobre demarcação. Página 2 in *Update 80* março/1995, CCPY, Boa Vista, RR.
- CER. 1983. *Usina Hidrelétrica de Cotingo 123--Projeto Básico*. CER/ELETRONORTE/GTFR/PROJEST (Consórcio Eletroprojetos) COT-10B-1536-RE, Boa Vista, RR.
- CER. 1984. *Usina Hidrelétrica de Paredão--Estudo de Viabilidade*. Centrais Elétricas de Roraima, Boa Vista, RR. 40 p.
- CER. 1992. *Usina Hidrelétrica Cotingo, Rio Cotingo, Roraima. Relatório de Impactos Ambientais--RIMA*. INTERTECHNE Consultores Associados, São Paulo, SP. 60 p.
- CER. 1993. *Usina Hidrelétrica Cotingo, Rio Cotingo, Roraima. Estudo de Impactos Ambientais*. INTERTECHNE Consultores Associados, São Paulo, SP. 2 vols.
- CER. 1994. *Usina Hidrelétrica Cotingo, Rio Cotingo, Roraima. Revisão dos Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica*. INTERTECHNE Consultores Associados, São Paulo, SP. paginação irregular.
- CIR & CPI/SP. 1993. *Roraima: Energia e Alternativas para o Futuro*. CPI/SP, São Paulo, SP. 55 p.
- CODESAIMA. 1991. *Aproveitamento Hidrelétrico do Alto Jatapu: Relatório dos Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica*. 9101-RT-100G-004. INTERTECHNE Consultores Associados, São Paulo, SP. paginação irregular.
- Conselho Nacional da Amazônia Legal. 1994. *Política Integrada do Governo Federal para a Amazônia Legal. Revisão 1. Agosto 1994*. Grupo de Trabalho-Energia, Conselho Nacional da Amazônia Legal, Brasília, DF. 76 p.
- Cummings, B.J. 1990. *Dam the Rivers, Dam the People: Development and Resistance in Amazonian Brazil*. Earthscan, London, Reino Unido. 132 p.
- Eden, M. 1964. *The Savanna Ecosystem--Northern Rupununi, British Guiana*. McGill University Savanna Research Series, No. 1. McGill University, Montreal, Canadá, 216 p.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). 2011. Bacia Hidrográfica do Rio Branco/RR: Estudos de Inventário Hidrelétrico (AAI - Avaliação Ambiental Integrada, Vol. 1/2). Hydros Engenharia, São Paulo, SP. 289 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Documents/>



- AAI%20Branco/1%20-%20AAI%20Branco%20-%20Relat%C3%B3rio%20Completo.pdf.
- Fearnside, P.M. 1989. Brasil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environmental Management* 13: 401-423.
- Fearnside, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of "greenhouse" gases. *Environmental Conservation* 22: 7-19.
- Fearnside, P.M. & R.I. Barbosa. 1996a. Political benefits as barriers to assessment of environmental costs in Brasil's Amazonian development planning: The example of the Jatapu Dam in Roraima. *Environmental Management* 20(5): 615-630.
- Fearnside, P.M. & R.I. Barbosa. 1996b. The Cotingo Dam as a test of Brazil's system for evaluating proposed developments in Amazonia. *Environmental Management* 20(5): 631-648.
- Fernandes, B. 1990. "Ministro pesado". *Isto É* [São Paulo]. 4 de abril de 1990, p. 16-23.
- Folha de Boa Vista*. 04 de janeiro de 1995. "Consórcio". p. 3.
- Folha de Boa Vista*. 24 de março de 1995. "Secretário do Meio Ambiente diz que decisão foi correta". p. 7.
- Folha de Boa Vista On-line*. 23 de fevereiro de 2011. "Hidrelétrica Bem-Querer é incluída no PAC". Disponível em: [http://www.folhabv.com.br/Noticia\\_Impressa.php?id=103965](http://www.folhabv.com.br/Noticia_Impressa.php?id=103965).
- Folha de Boa Vista On-line*. 24 de abril de 2008. "Governador vai defender em Londres a implantação da hidrelétrica do Cotingo". Disponível em: <http://folhabv.com.br/noticia.php?id=39281>.
- Giordano, S.R., S.L. da Rosa & Z. C. Cardoso. 1993. Desenvolvimento da bacia do rio Cotingo (Roraima) a partir de ações do setor elétrico São Paulo, *Octa-Consultoria e Planejamento*. 5 p.
- Huber, O. 1982. Significance of savanna vegetation in the Amazon Territory of Venezuela. p. 221-244 In: G. T. Prance (ed.) *Biological Diversification in the Tropics*. Columbia University Press, New York, E.U.A.
- Isto É* [São Paulo]. 4 de abril de 1990. "Bala solitária". p. 15.
- ISA (Instituto Socioambiental). 1994. Energia importada. *Parabólicas*, dezembro. Instituto Socioambiental, São Paulo, SP. p. 6.
- ISA (Instituto Socioambiental). 1995. Cotingo. *Parabólicas*, março. Instituto Socioambiental, São Paulo, p. 6.
- ISA (Instituto Socioambiental). 2009. Veja quais são as "condicionantes" da decisão sobre a TI Raposa Serra do Sol estabelecidas pelo STF em 2009 e alguns comentários sobre o que diz a legislação. Disponível em: <https://titan.socioambiental.org/home/oswaldo@socioambiental.org/Briefcase/Condicionantes%20comentadas%20Raposa.pdf>
- JM (*Jornal do Maku'naimi*). 2002. "A Retirada dos Invasores". *Jornal do Maku'naimi*, Roraima, 27.04.2002 (Ano I, No 1).
- Joaquim, A.P. 2013. Direito constitucional indígena – uma análise à luz do caso Raposa/Serra do Sol. USP, Faculdade de Direito do Largo de São Francisco. 174 p. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/2/2134/tde-09122013-145825/pt-br.php>.
- Lauriola, V.M. 2010. Terras indígenas, propriedade comum, pluralismo jurídico e sustentabilidade: Considerações da Raposa entre oportunidades e riscos de etnocentrismo. *Revista da Faculdade de Direito da Fundação Escola Superior do Ministério Público* 5: 37-70.
- Lauriola, V.M. 2013. Indigenous Lands, Commons, Juridical Pluralism and Sustainability in Brazil: Lessons from the Indigenous Lands of Raposa Serra do Sol. *Journal of Latin American Geography* 12(1): 157-185. Disponível em: [http://muse.jhu.edu/login?auth=0&type=summary&url=/journals/journal\\_of\\_latin\\_american\\_geography/v012/12.1.lauriola.html](http://muse.jhu.edu/login?auth=0&type=summary&url=/journals/journal_of_latin_american_geography/v012/12.1.lauriola.html).
- Lima, M. 1995. "Neudo vai dar murros em mesa por Roraima-- Governador discute com FHC asfaltamento da BR e cargos", *O Diário* (Boa Vista), 23 de fevereiro de 1995, p. 3-A.
- Portal G1*. 2009. "Seca faz a Venezuela racionar energia". *Portal G1* de 23.12.2009. Disponível em: [http://g1.globo.com/Noticias/Economia\\_Negocios/0,,MUL1424716-9356,00.html](http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL1424716-9356,00.html).
- Raiffa, H. 1968. *Decision Analysis: Introductory Lectures on Choices under Uncertainty*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, E.U.A., 312 p.
- Santilli, M. 2000. Facada na Raposa. p. 297-303 In: C.A. Ricardo (ed.) *Povos Indígenas no Brasil, 1996-2000*. Instituto Socioambiental (ISA), São Paulo, SP. 832 p.
- Santos, L.A. de O. & L.M.M. Andrade (eds.). 1990. *Hydroelectric Dams on Brazil's Xingu River and Indigenous Peoples*. Cultural Survival Report 30. Cultural Survival, Cambridge, Massachusetts, E.U.A., 192 p.
- Setzer, J. 1982. Dados médios de suspensão carregada pelos rios paulistas. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, Brasília, DF.
- Silva, L.C.J.; Joaquim, C.V. 2011. Hidrelétrica no rio Cotingo: quatro décadas na pseudo-agenda política de Roraima. *Revista de Administração de Roraima* 1(1): 154-162. Disponível em: <http://revista.ufrb.br/index.php/adminrr/article/view/581/598>
- Sousa, M.A. 1995. Processo No. 950000057-1. Autor: Ministério Público Federal. Réus: Companhia Energética de Roraima-CER e Estado de Roraima. Decisão. Poder Judiciária, Justiça Federal de 1ª instância, Boa Vista, Roraima, 5 p.
- Souza, J. 1995. "Elton quer alterar constituição para apressar desenvolvimento econômico de Roraima--demarcação de área indígena deve mudar". *O Diário* [Boa Vista], 23 de fevereiro de 1995, p. 2-A.
- Survival International. 1995. Dam fuels violence in Brazil's far north. *Urgent Action Bulletin* January 1995, Survival International, London, Reino Unido. 4 p.





# Bacia do Rio Tapajós







# Capítulo 21

---

## **Hidrelétricas e Hidrovias na Amazônia: Os Planos do Governo Brasileiro para a Bacia do Tapajós**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2015. Amazon dams and waterways: Brazil's Tapajós Basin plans. *Ambio* 44(5): 426-439.  
doi: 10.1007/s13280-015-0642-z

Há planos para construção de 43 “grandes” barragens (com potência superior a 30 MW) na bacia do Tapajós, sendo dez consideradas prioritárias pelo Ministério das Minas e Energia (MME), com conclusão prevista para até 2022. Entre outros impactos, várias represas inundariam terras indígenas (TIs) e unidades de conservação (UCs). Além disso, o Rio Tapajós, no estado do Pará, e seus afluentes no estado de Mato Grosso, os rios Teles Pires e Juruena, também são foco de planos do Ministério dos Transportes (MT), que planeja convertê-los em hidrovias para transporte de soja de Mato Grosso até portos no Rio Amazonas. Note-se que a construção de represas é necessária para a passagem de barcas sobre cachoeiras nos rios. Os planos para hidrovias, assim, implicam em completar a cadeia de barragens, que inclui a usina hidrelétrica (UHE) de Chacorão, que inundaria 18.700 ha da TI Munduruku. Nesse quadro, as proteções contidas na Constituição Federal, na legislação brasileira e em convenções internacionais são facilmente neutralizadas com a aplicação de suspensões de segurança, como já demonstrado em uma série de casos no licenciamento das barragens hoje em construção na bacia do Tapajós. Os múltiplos impactos das barragens previstas para a bacia do Tapajós serão o foco do atual capítulo. Poucos estão cientes das “suspensões de segurança”, resultando em um pequeno impulso para mudar essas leis.

## INTRODUÇÃO

A bacia amazônica, que cerca de dois terços estão no Brasil, é o foco de uma onda maciça na construção de usinas hidrelétricas, com planos que prevêm converter quase todos os afluentes do Rio Amazonas em cadeias de reservatórios (e.g., Fearnside, 2014a; Finer & Jenkins, 2012; Kahn et al., 2014; Tundisi et al., 2014). As barragens em áreas tropicais, como a Amazônia, têm uma vasta gama de impactos ambientais e sociais, incluindo a perda da biodiversidade terrestre e aquática (Santos & Hernandez, 2009; Val et al., 2010), emissão de gases de efeito estufa (Abril et al., 2005; Fearnside & Pueyo, 2012; Kemenes et al., 2007), perda de pesca e de outros recursos que sustentam a população local (Barthem et al., 1991; Fearnside, 2014b), metilação do mercúrio (tornando o venenoso para animais, incluindo os seres humanos) (e.g., Fearnside, 1999; Leino & Lodenius, 1995) e deslocamento de população

(Cernea, 1988, 2000; McCully, 2001; Oliver-Smith, 2009, 2010; Scudder, 2006; WCD, 2000).

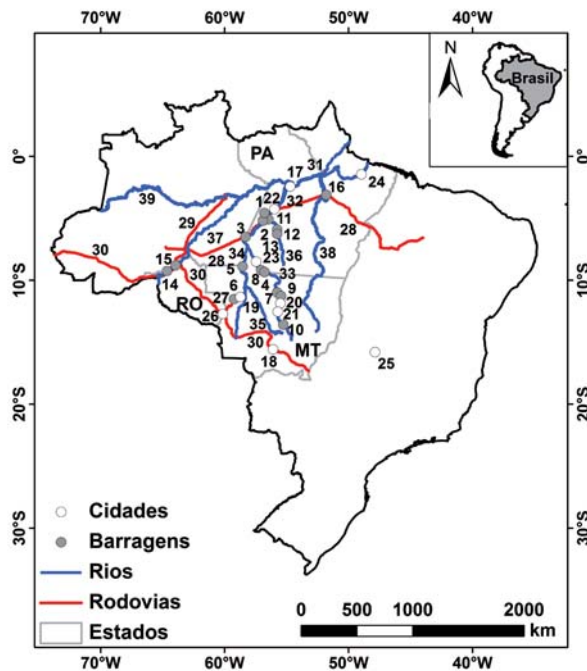
Projetos de construção de barragens nos trópicos como um todo têm seguido um padrão de violação sistemático dos direitos humanos, incluindo a violência e assassinato, especialmente envolvendo povos indígenas. Exemplos recentes de assassinatos de lideranças indígenas que se opõem às barragens incluem Miguel Pabón em 2012 na barragem de Hidrosogamoso na Colômbia e Onésimo Rodriguez em 2013 na barragem de Barro Blanco no Panamá (Ross, 2012; Yan, 2013). O assassinato de duas crianças (David e Ageo Chen) em 2014 na barragem de Santa Rita na Guatemala, quando os pistoleiros não conseguiram localizar o líder que eles haviam sido contratados para matar, tornou-se um caso emblemático (e.g., Illescas, 2014). Ironicamente, todas estas barragens têm projetos de crédito de carbono aprovados pelo Mecanismo do Desenvolvimento Limpo e, supostamente, representam o “desenvolvimento sustentável”. No Brasil, o assassinato de Adenilson Kirixi Mundurku pela polícia em novembro de 2012 é o caso emblemático para os povos indígenas impactados por hidrelétricas na bacia do Rio Tapajós (e.g., Aranha & Mota, 2014).

O Tapajós é um afluente do Rio Amazonas com uma bacia de drenagem de 764.183 km<sup>2</sup>, ou quase do tamanho da Suécia e Noruega juntas. Muitos dos desafios exemplificados pelos planos no Tapajós se aplicam em todo o mundo. Como será ilustrado por planos de desenvolvimento na bacia hidrográfica do Tapajós, o processo de tomada de decisões no Brasil e o sistema legal cercando o frenesi de construção de barragens do país são como cartas marcadas contra o meio ambiente e os habitantes tradicionais da Amazônia.

O presente capítulo concentra-se em um aspecto pouco discutido da tomada de decisão e de licenciamento para grandes projetos de desenvolvimento: as ferramentas legais empregadas para neutralizar as proteções do ambiente e dos direitos humanos. Muitos outros tópicos também exigem mudança para reduzir os impactos e melhorar os benefícios de projetos de desenvolvimento na Amazônia. Estes incluem a reforma da política energética e do sistema de avaliação de impacto ambiental, a criação de mecanismos para evitar conflitos de interesse das pessoas que avaliam e decidem sobre propostas de infraestrutura, e a eliminação de corrupção, tanto na sua forma financeira simples como nas suas formas políticas ainda mais perversas, incluindo tanto

doações legais como ilegais para campanhas eleitorais (ver Fearnside, 2014a).

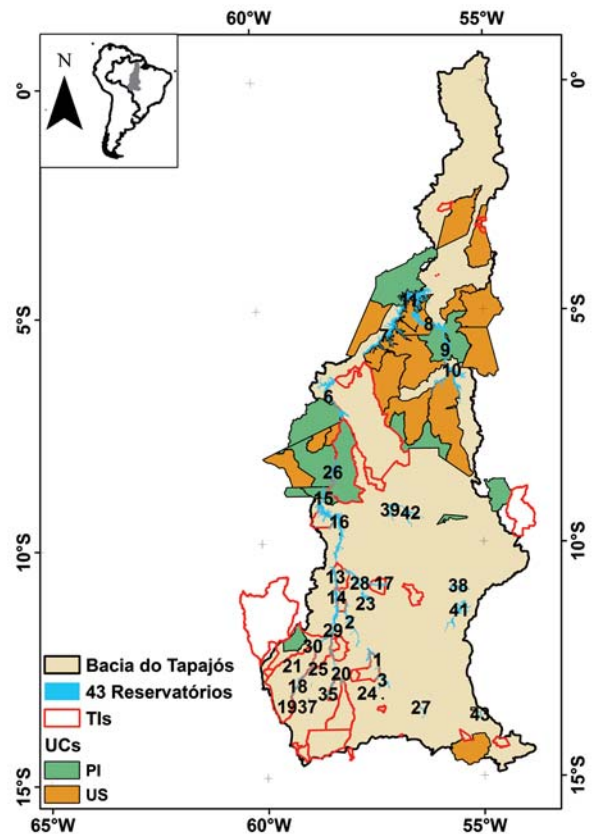
O referencial teórico utilizado neste estudo segue o padrão de identificação de um conjunto limitado de objetivos e, em seguida, o exame dos pontos críticos que impedem que os objetivos sejam alcançados. Os quadros que seguem este princípio são eficientes na indicação de prioridades para a mudança (e.g., Mermet, 2011; Ostrom, 2011). Neste caso, os objetivos são tanto a manutenção dos ecossistemas amazônicos (juntamente com os seus serviços ambientais) e a manutenção das populações tradicionais (incluindo os povos indígenas). Conflitos entre os planos hidrelétricos e diferentes tipos de áreas protegidas, incluindo terras indígenas, estão documentados. Outros aspectos importantes das decisões sobre desenvolvimento, tais como meios alternativos de fornecimento dos benefícios da eletricidade para a população brasileira, são discutidos em outras partes (e.g., Moreira, 2012).



**Figura 1.** Brasil e locais mencionados no texto. Estados: MT=Mato Grosso, PA=Pará, RO=Rondônia. Barragens: 1=São Luiz do Tapajós, 2=Jatobá, 3=Chacorão, 4=Teles Pires, 5=Salto Augusto Baixo, 6=São Simão Alto, 7=Colíder, 8=São Manoel, 9=Sinop, 10=Magessi, 11=Cachoeira do Cai, 12=Cachoeira dos Patos, 13=Jardim de Ouro, 14=Jirau, 15=Santo Antônio, 16=Belo Monte. Cidades: 17=Santarém, 18=Cuiabá, 19=Juína, 20=Sinop, 21=Sorriso, 22=Itaituba, 23=Miritituba, 24=Barcarena, 25=Brasília, 26=Vilhena. Rodovias: 27=MT-319, 28=BR-230, 29=BR-319, 30=BR-364. Rios: 31=Amazonas, 32=Tapajós, 33=Teles Pires, 34=Juruena, 35=Arinos, 36=Jamanxim, 37=Madeira, 38=Xingu, 39=Solimões.

## As barragens

Os planos para construção de barragens na bacia do Tapajós são enormes, totalizando, entre as planejadas e em construção, 43 “grandes” aproveitamentos hidrelétricos, definidos como aqueles com mais de 30 MW de capacidade instalada (Figuras 1 e 2). Aproveitamentos com potência de até 30 MW são caracterizados como pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), de acordo com a Resolução Normativa n°343/2008 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Quase todas essas barragens planejadas têm capacidade muito superior a 30 MW. Três destas ficariam no Rio Tapajós propriamente dito e quatro, no Rio Jamanxim (afluente do Rio Tapajós no estado



**Figura 2.** Barragens grandes (> 30 MW) planejadas para a bacia do Tapajós: 1=Roncador, 2=Kabiara, 3=Parecis, 4=Cachoeirão, 5=Juruena, 6=Chacorão, 7=Jatobá, 8=Cachoeira do Cai, 9=Cachoeira dos Patos, 10=Jardim de Ouro, 11=São Luiz do Tapajós, 12=Jamanxim, 13=Tucumã, 14=Erikpatsá, 15=Salto Augusto Baixo, 16=Escondido, 17=Apiaká-Kayabi, 18=Jacaré, 19=Pocilga, 20=Foz do Sacre, 21=Foz do Formiga Baixo, 22=Salto Utiariti, 23=Castanheira, 24=Paiaguá, 25=Nambiquara, 26=São Simão Alto, 27=Barra do Claro, 28=Travessão dos Índios, 29=Fontanilhas, 30=Enawenê Nawê, 31=Foz do Burity, 32=Matrinxá, 33=Tapires, 34=Tirecatinga, 35=Água Quente, 36=Buriti, 37=Jesuítas, 38=Colíder, 39=Foz do Apicás, 40=São Manoel, 41=Sinop, 42=Teles Pires, 43=Magessi. TI=Terra indígena; UC=Unidade de conservação; PI=Proteção integral; US=Uso sustentável.

do Pará) (Tabela 1). Para os afluentes no estado de Mato Grosso, há seis barragens planejadas na bacia do Rio Teles Pires (Tabela 2) e 30 na bacia do Rio Juruena (Tabela 3). Também há planos para numerosas pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), ou seja, barragens com capacidade instalada de até 30 MW, que são isentas do estudo de impacto ambiental e do relatório de impacto ambiental (EIA/RIMA).

O segundo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 2), para 2011-2015, inclui seis barragens nos Rios Tapajós e Jamanxim e cinco barragens no Rio Teles Pires (Brasil, PR, 2011). As

prioridades e os cronogramas das barragens vêm evoluindo continuamente, como indicam os planos decenais de expansão de energia (PDEs) lançados todo ano pelo MME, contendo as barragens planejadas para os dez anos seguintes. Por exemplo, as barragens no Rio Jamanxim, presentes nos PDEs até o plano de 2011-2020, depois sumiram, ou seja, foram adiadas para além do horizonte de dez anos, sendo substituídas por outras, como as megabarragens de São Simão Alto e Salto Augusto Baixo, no Rio Juruena, além de barragens menores, como Castanheira, no Rio Arinos, um afluente do Juruena e local de um

**Tabela 1.** Barragens planejadas nos Rios Tapajós e Jamanxim

No. na Figura 1	Nome	Código	Rio	Potência [MW] <sup>(a, b)</sup>	Área do reservatório (km <sup>2</sup> ) <sup>(b)</sup>	Situação	Inclusão na hidrovia	Inclusão no PDE 2013-2022 <sup>(a)</sup>	Povos indígenas atingidas	Unidades de conservação atingidas
7	Jatobá	TPJ-445	Tapajós	2.338	646	Planejada	Sim	Sim	Áreas Munduruku não oficialmente reconhecidas <sup>(c)</sup>	Floresta Nacional de Amanã
6	Chacorão	TPJ-685	Tapajós	3.336	616	Planejada	Sim	Não	TI Munduruku	
8	Cachoeira do Cai	JMX-043	Jamanxim	802	420	Planejada	Não	Não		Floresta Nacional Itaituba-II
9	Cachoeira dos Patos	JMX-166 [J]	Jamanxim	528	117	Planejada	Não	Não		Parque Nacional do Jamanxim, Floresta Nacional de Jamanxim
10	Jardim de Ouro	JMX-257	Jamanxim	227	426	Planejada	Não	Não		Floresta Nacional de Jamanxim
11	São Luiz do Tapajós	TPJ-325	Tapajós	6.133	722	Planejada	Sim	Sim	Áreas Munduruku não oficialmente reconhecidas <sup>(c)</sup>	Parque Nacional da Amazônia, Floresta Nacional Itaituba-I, Floresta Nacional Itaituba-II
12	Jamanxim	JMX-212	Jamanxim	881	75	Planejada	Não	Não		Parque Nacional de Jamanxim

(a) Brasil, MME (2013, p. 84-85).

(b) ver Fearnside (2014).

(c) Ortiz (2013).

**Tabela 2.** Barragens planejadas na Bacia do Rio Teles Pires

No. na Figura 1	Nome <sup>(a)</sup>	Código	Rio	Potência revisada [MW] <sup>(a)</sup>	Área do reservatório (km <sup>2</sup> )	Situação	Inclusão na hidrovia	Inclusão no PDE 2013-2022 <sup>(b)</sup>	Áreas indígenas atingidas <sup>(c)</sup>
38	Colíder	TPR-680	Teles Pires	300	171,7	Em construção	Sim	Sim	
39	Foz do Apiacás (Salto Apiacás)	API-006	Apiacás	230	89,6	Planejada	Não	Sim	Kaiabí
40	São Manoel	TPR-287	Teles Pires	700	53	Em construção	Sim	Sim	Kaiabí
41	Sinop	TPR-775	Teles Pires	400	329,6	Em construção	Sim	Sim	
42	Teles Pires	TPR-329	Teles Pires		1.820	Em construção	Sim	Sim	
43	Magessi	TPR-1230	Teles Pires	53	60	Planejada	Não	Não	

(a) Barragens, capacidades e anos previstos de conclusão de Brasil, MME (2013, p. 84-85). Áreas de reservatórios: ver Fearnside (2014a).



**Tabela 3.** Barragens planejadas na Bacia do Rio Juruena

No. na Figura 1	Nome <sup>(a, c)</sup>	Código	Rio	Potência [MW] <sup>(a)</sup>	Inclusão na hidrovia	Inclusão no PDE 2013-2022 <sup>(b)</sup>	Áreas indígenas atingidas <sup>(c)</sup>
1	Roncador		do Sangue	134,0	Não	Não	TI Manoki
2	Kabiara		do Sangue	241,2	Não	Não	TI Erikpatsá
3	Parecis		do Sangue	74,5	Não	Não	TI Manoki
4	Cachoeirão		Juruena	64,0	Não	Não	
5	Juruena		Juruena	46,0	Não	Não	
13	Tucumã	JRN-466	Juruena	510	Sim	Não	TI Japuiara
14	Erikpatsá	JRN-530	Juruena	415	Sim	Não	TI Erikpatsá
15	Salto Augusto Baixo	JRN-234b	Juruena	1.461	Sim	Sim	
16	Escondido	JRN-277	Juruena	1.248	Sim	Não	TI Escondido
17	Apiaká-Kayabi	PEX-093	dos Peixes	206	Não	Não	
18	Jacaré	JUI-048	Juína	53	Não	Não	TI Nambikwara
19	Pocilga	JUI-117	Juína	34	Não	Não	TI Nambikwara
20	Foz do Sacre	PPG-147	Papagaio	117	Não	Não	TI Tirecatinga
21	Foz do Formiga Baixo	JUI-029b	Juína	107	Não	Não	TI Nambikwara
22	Salto Utariti	PPG-159	Papagaio	76	Não	Não	TI Tirecatinga
23	Castanheira	ARN-120	Arinos	192	Sim	Sim	
24	Paiaguá		do Sangue	35,2	Não	Não	TI Manoki; TI Ponte de Pedra
25	Nambiquara	JUI-008	Juína	73	Não	Não	TI Nambikwara
26	São Simão Alto	JRN-117a	Juruena	3.509	Sim	Sim	
27	Barra do Claro		Arinos	61,0	Não	Não	
28	Travessão dos Índios		Juruena	252	Não	Não	
29	Fontanilhas	JRN-5771	Juruena	225	Não	Não	
30	Enawenê-Nawê	JRN-7201	Juruena	150	Não	Não	
31	Foz do Buriti	PPG-1151	Papagaio	68	Não	Não	
32	Matrinxá	SAC-0141	Sacre	34,5	Não	Não	
33	Tapires	SAN-0201	do Sangue	75	Não	Não	
34	Tirecatinga	BUR-0391	Buriti	37,5	Não	Não	
35	Água Quente	BUR-077	Buriti	42,5	Não	Não	
36	Buriti	BUR-0131	Buriti	60	Não	Não	
37	Jesuíta		Juruena	22,3 <sup>(d)</sup>	Não	Não	

(a) Fonte dos dados sobre barragens: Brasil, ANEEL (2011); várias barragens tiveram potências revisadas para baixo em relação às propostas iniciais.

(b) Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2013-2022: Brasil, MME (2013, p. 84-85).

(c) CNEC Worley Parsons Engenharia, S.A. (2014a, Ilustração 3.5/1).

(d) Listada como barragem grande, mas com previsão atual para capacidade instalada menor que 30 MW.

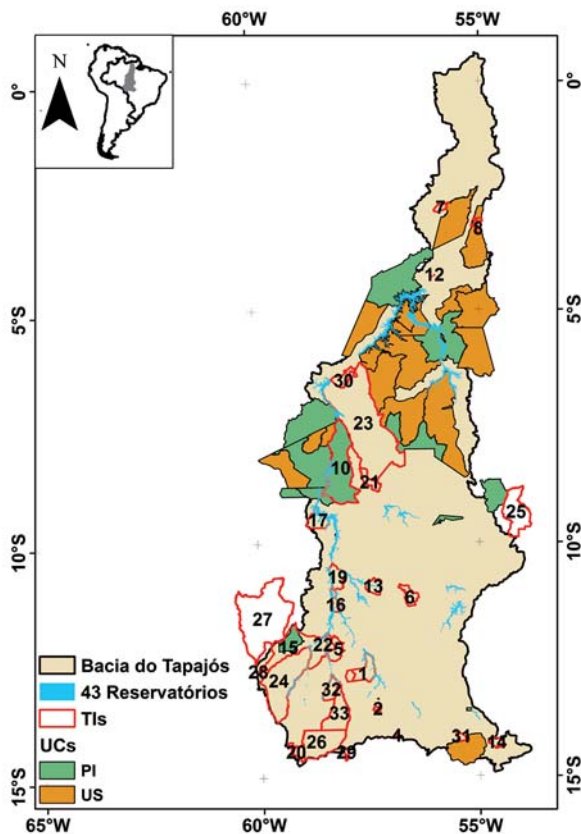
dos portos planejados para embarque de soja (Brasil, MME, 2013). Essas mudanças de prioridade favorecem barragens que compõem as hidrovias planejadas para transporte de soja, e adiam as barragens fora dessas rotas. O Ministério das Minas e Energia não constrói eclusas, apenas reservando espaço para este fim ao lado de cada barragem. As eclusas são a cargo do Ministério dos Transportes. Embora os dois ministérios nem sempre estão de acordo sobre as prioridades, a palavra final fica com a Casa Civil.

Das 43 barragens planejadas na bacia do Tapajós, dez constam no PDE 2013-2022: duas no Rio Tapajós, cinco na bacia do Teles Pires e três na bacia do Juruena (Tabelas 1, 2 & 3). As barragens acarretam múltiplos impactos, incluindo danos a terras indígenas (TIs) (Figura 3) e inundação em unidades de conservação (UCs) (Figura 4). No Brasil, “unidades de conservação” se referem a áreas protegidas de tipos incluídos no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (Brasil, PR,

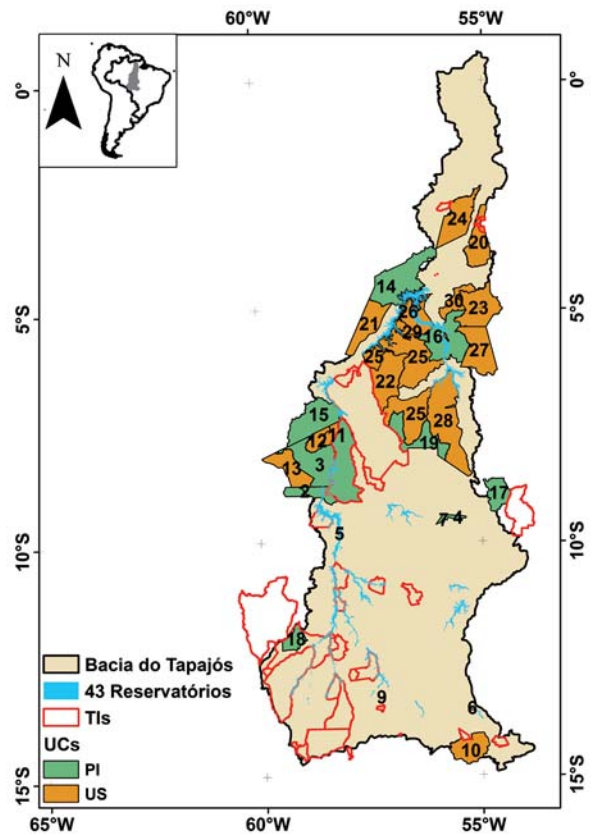
2000). Outros tipos de áreas protegidas, como terras indígenas, também são importantes para manter a floresta amazônica. Barragens expulsam as populações ribeirinhas e estimulam o desmatamento de várias maneiras.

A sobreposição de reservatórios com áreas protegidas está entre os impactos ambientais das barragens planejadas na bacia do Rio Tapajós. De fato, o governo tem realizado a desafetação de parte de diferentes UCs mesmo antes das barragens serem avaliadas e licenciadas. Parte do Parque Nacional (Parna) da Amazônia já foi desafetada, por meio de uma medida provisória (nº558/2012), posteriormente convertida em lei (nº12.678/2012), explicitamente para abrir caminho ao reservatório de São Luiz do Tapajós (e.g., IHU, 2012; WWF Brasil, 2012). O governo

também removeu parte do Parna do Juruena para abrir caminho para as barragens de São Simão Alto e Salto Augusto Baixo, no Rio Juruena (WWF Brasil, 2014). As barragens planejadas inundam 15.600 ha do Parna da Amazônia, 18.515 ha do Parna do Jamanxim, 7.352 ha da Floresta Nacional (Flona) Itaituba-I, 21.094 ha da Flona Itaituba-II, 15.819 ha da Área de Proteção Ambiental (APA) do Tapajós, ou um total de 78.380 ha de UCs.



**Figura 3.** Terras indígenas (TIs) na Bacia do Tapajós: 1 = Manokí, 2 = Ponte de Pedra, 3 = Uirapuru, 4 = Estação Parecis, 5 = Menkú, 6 = Batelão, 7 = Maró, 8 = Munduruku-Taquara, 9 = Bragança-Marituba, 10 = Apiaká do Pontal e Isolados, 11 = Praia do Índio, 12 = Praia do Mangue, 13 = Apiaká/Kayabi, 14 = Bakairi, 15 = Enawenê-Nawê, 16 = Erikpatsá, 17 = Escondido, 18 = Irantxe, 19 = Japuíra, 20 = Juíniha, 21 = Cayabi, 22 = Menkú, 23 = Munduruku, 24 = Nambikwara, 25 = Panará, 26 = Paresi, 27 = Parque do Aripuanã, 28 = Pirineus de Souza, 29 = Rio Formoso, 30 = Sai-Cinza, 31 = Santana, 32 = Tirecatina, 33 = Utiariti. UC = Unidade de Conservação; PI = Proteção Integral; US = Uso Sustentável.



**Figura 4.** Unidades de Conservação (UCs) na Bacia do Tapajós. 1 = Parque Estadual Águas do Cuiabá, 2 = Parque Estadual Igarapés do Juruena, 3 = Parque Estadual Sucunduri, 4 = Parque Estadual do Cristalino, 5 = Reserva Particular do Patrimônio Natural Peugeot-ONF-Brasil, 6 = Área de Proteção Ambiental Estadual do Salto Magessi, 7 = Reserva Particular do Patrimônio Natural Cristalino-I, 8 = Reserva Particular do Patrimônio Natural Cristalino-III, 9 = Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Loanda, 10 = Área de Proteção Ambiental Estadual das Cabeceiras do Rio Cuiabá, 11 = Reserva de Desenvolvimento Sustentável Bararati, 12 = Floresta Estadual do Apuí, 13 = Floresta Estadual Sucunduri, 14 = Parque Nacional da Amazônia, 15 = Parque Nacional do Juruena, 16 = Parque Nacional do Jamanxim, 17 = Reserva Biológica Nascentes Serra do Cachimbo, 18 = Estação Ecológica de Iquê, 19 = Parque Nacional do Rio Novo, 20 = Floresta Nacional de Tapajós, 21 = Floresta Nacional do Amanã, 22 = Floresta Nacional do Crepori, 23 = Reserva Extrativista Riozinho do Anfriso, 24 = Reserva Extrativista Tapajós-Arapuins, 25 = Área de Proteção Ambiental do Tapajós, 26 = Floresta Nacional de Itaituba-II, 27 = Floresta Nacional Altamira, 28 = Floresta Nacional do Jamanxim, 29 = Floresta Nacional de Itaituba-I, 30 = Floresta Nacional do Trairão. TI = Terra Indígena; PI = Proteção Integral; US = Uso Sustentável.

No caso da bacia do Tapajós, o conjunto de impactos das muitas barragens e da hidrovia do Tapajós, incluindo seus ramais, é muito maior que os danos que geralmente entram em discussão quando se debate qualquer obra específica, como a primeira barragem planejada, São Luiz do Tapajós (CNEC Worley Parsons Engenharia, S.A., 2014a,b). A hidrovia tem papel-chave para garantir a construção de todas as barragens necessárias para tornar a rota navegável, incluindo a barragem mais danosa: a UHE Chacorão, como veremos a seguir.

## A hidrovia do Tapajós

Barragens inundam cachoeiras que dificultam a navegação e as eclusas associadas às barragens permitem a passagem de barcas para transporte de *commodities*, principalmente a soja. O Brasil possui extensos planos para a navegação (e.g., Fearnside, 2001; Brasil, PR, 2011) e essas barragens permitiriam a abertura da hidrovia do Tapajós, planejada para levar soja de Mato Grosso para portos em Santarém, Santana e Barcarena, assim dando acesso ao Rio Amazonas e ao Oceano Atlântico (Brasil, PR, 2011; Millikan, 2011).

Uma barragem adicional, que não é mencionada no “eixo energia” do plano, seria necessária para concluir a hidrovia: a de Chacorão, no Rio Tapajós (e.g., Millikan, 2011). Essa obra também não aparece entre as barragens listadas nos PDEs 2011-2020, 2012-2021 e 2013-2022 (Brasil, MME, 2011, 2012, 2013). Por outro lado, a UHE Chacorão figura no estudo de viabilidade (CNEC Worley Parsons Engenharia, S.A., 2014a) e na avaliação ambiental integrada (AAI) das barragens do Tapajós (Grupo de Trabalho Tapajós & Ecology Brasil, 2014, p. 60). Além disso, as eclusas dessa barragem são indicadas como “prioritárias” no Plano Nacional Hidroviário (PNH) (Brasil, MT, 2010, p. 22). A UHE Chacorão permitiria que barcas atravessassem a cachoeira de Sete Quedas (que não devem ser confundidas com as Sete Quedas do Rio Paraná, inundadas pela hidrelétrica de Itaipu).

Chacorão inundaria 18.700 ha da TI Munduruku (Millikan, 2011); no caso das UHEs de São Luiz do Tapajós e Jatobá, os reservatórios alagariam terras do povo Munduruku que não foram ainda oficialmente designadas como uma TI (Lourenço, 2014; Ortiz, 2013). Note-se que o reconhecimento de TIs no Brasil encontra-se essencialmente paralisado há alguns anos, reportadamente devido a ordens superiores, que a Fundação Nacional do Índio (Funai)

não nega (e.g., CIMI, 2014). Uma pergunta tem sido se essa paralisação visa, entre outros objetivos, facilitar a inundação de áreas habitadas por povos indígenas que ainda não foram reconhecidos como TIs, como no caso dos Mundurukus ao longo do Rio Tapajós, mais especificamente daqueles que vivem na área das represas planejadas de São Luiz do Tapajós e Jatobá. A resposta dessa pergunta ficou clara em um vídeo de Maria Augusta Assirati, presidente interina da FUNAI, em lágrimas, quando tentava explicar para um grupo de Mundurukus, em setembro de 2014, que a papelada para a criação da sua reserva estava completamente pronta para a assinatura dela e que se encontrava na mesa dela há mais de um ano, mas que “outros órgãos do governo começaram a discutir a proposta” por causa dos planos hidrelétricos (Amigos da Terra-Amazônia Brasileira, 2014). Ela foi substituída como chefe da FUNAI nove dias depois, com a papelada ainda não assinada e, posteriormente, ela confirmou a interferência (Aranha, 2015).

A implantação da hidrovia do Tapajós incentivará o desmatamento futuro para cultivo de soja na porção norte de Mato Grosso, a ser servida pela hidrovia. Incentivará também o plantio de soja nas pastagens que atualmente recobrem áreas que já foram desmatadas nessa parte do estado. Tal conversão provoca desmatamento indiretamente em outros lugares, já que o gado e os pecuaristas que vendem as suas terras para “sojeiros” são deslocados de Mato Grosso para o Pará (Fearnside, 2001). O aumento do desmatamento no Pará devido ao avanço da soja em pastagens em Mato Grosso tem sido demonstrado estatisticamente (Arima et al., 2011). Esse efeito, contudo, tem sido negado pela diplomacia brasileira, que, em março de 2014, conseguiu retirar uma menção a ele do sumário para tomadores de decisão do quinto relatório de avaliação (AR-5) do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) (Garcia, 2014). O estímulo ao desmatamento pela hidrovia do Tapajós não está incluído entre os impactos considerados no licenciamento ambiental ou de créditos de carbono de projetos na bacia do Tapajós, como a UHE Teles Pires (Fearnside, 2013).

Em 25 de abril de 2014, a Bunge, uma empresa multinacional de soja atualmente responsável por 25% da produção do Brasil, abriu um porto para exportação do grão em Barcarena, na foz do Rio Amazonas. A empresa espera que as exportações do Brasil dobrem nos próximos dez anos, principalmente visando a China (Freitas, 2014). A soja para o

primeiro navio carregado no porto de Vila de Conde, em Barcarena, foi transportada em carretas de Mato Grosso até o porto da Bunge em Miritituba, no baixo Rio Tapajós, e de lá seguiu até Barcarena em barcas operadas pelas Navegações Unidas Tapajós Ltda. (Unitapajós), uma *joint venture* entre as empresas Amaggi e Bunge. No futuro, espera-se que a soja a ser exportada a partir de Barcarena faça todo o caminho desde Mato Grosso em barcas através da hidrovia do Tapajós, iniciando no ramal que sobe o Rio Teles Pires. Essa hidrovia depende da construção de uma série de barragens, cada uma com eclusas para permitir a passagem das barcas.

Em Mato Grosso, a hidrovia do Tapajós bifurcará em ramais subindo os Rios Juruena e Teles Pires. O primeiro ramal da hidrovia a ser construído tornaria o Rio Teles Pires navegável até Sinop e, posteriormente, até Sorriso. O ramal do Teles Pires requer uma série de cinco barragens, três das quais já estão em construção (Colíder, São Manoel e Sinop). A barragem de São Manoel está a menos de 1 km da TI Kayabi e já tem provocado conflitos com o povo indígena (ISA, 2013). Já a barragem Foz do Apiacás está localizada a apenas 5 km da mesma TI. Note-se que a portaria interministerial nº419/2011 considera que há interferência em qualquer TI situada até 40 km de uma UHE.

No segundo ramal, que sobe o Rio Juruena, a soja chegaria até os portos via estradas vindas do sul, incluindo uma nova estrada (MT-319), que, quando completa, conectaria Juína, em Mato Grosso, com Vilhena, em Rondônia oriental, cortando duas áreas indígenas, a TI Enawênê Nawê e o Parque Indígena do Aripuanã (Macrologística, 2011). O ramal do Rio Juruena requer seis barragens até os dois portos propostos e três dos reservatórios tocam TIs: as UHEs de Escondido e Erikpatsá, nas TIs de mesmos nomes, e a UHE Tucumã, na TI Japuira (CNEC Worley Parsons Engenharia, S.A., 2014a, Ilustração 3.5/1). Nos afluentes formadores do Rio Juruena, acima da parte a ser tornada navegável, são planejadas mais 16 UHEs (Brazil, ANEEL, 2011). Das 16 “grandes” barragens nos formadores do Juruena, quatro atingem a TI Nambikwara (Pocilga, Jacaré, Foz do Formiga Baixo e Nambiquara), e duas atingem a TI Tireatinga (Salto Utariti e Foz do Sacre) (CNEC Worley Parsons Engenharia, S.A., 2014a). Dentre as diversas PCHs planejadas, várias atingiriam áreas indígenas (CNEC Worley Parsons Engenharia, S.A., 2014a, Ilustração 3.5/1; de Almeida, 2010; Fanzeres, 2013).

## O impedimento à proteção

O tratamento jurídico do licenciamento de barragens e, sobretudo, dos impactos sobre povos indígenas ilustra com clareza as barreiras impedindo a aplicação das proteções existentes na Constituição Federal, na legislação brasileira e em convenções internacionais, como a Convenção 169 da Organização Internacional de Trabalho (OIT), que garante o direito a consulta aos povos indígenas impactados. O direito à consulta prévia livre e informada nos termos do OIT-169 foi convertido em lei brasileira por Decreto No. 5.051 de 19 de abril de 2004 (Brasil, PR, 2004).

Decisões desfavoráveis às barragens são revertidas com a suspensão de segurança (SS), que permite a continuidade das obras, independentemente de qualquer violação ambiental ou social, se a paralisação da obra implicar grave dano à “economia pública”. Uma lei promovida na ditadura militar autorizava:

suspensão de execução de liminares e sentenças em ações movidas contra o poder público e seus agentes, para evitar grave lesão à economia pública (Lei nº4.348, de 26 de junho de 1964, substituída pela Lei nº12.016, de 07 de agosto de 2009). [ênfase acrescentada]

A aplicabilidade da SS foi confirmada após a criação do Ministério Público pela Constituição de 1988, clarificando-se que:

compete ao presidente do tribunal, ao qual couber o conhecimento do respectivo recurso, suspender, em despacho fundamentado, a execução da liminar nas ações movidas contra o Poder Público ou seus agentes, a requerimento do Ministério Público ou da pessoa jurídica de direito público interessada, em caso de manifesto interesse público ou de flagrante ilegitimidade, e para evitar grave lesão à ordem, à saúde, à segurança e à economia públicas (art. 4º da Lei nº8.437, de 30 de junho de 1992). [ênfase acrescentada]

Ainda foi estabelecido que nenhum agravo poderia ter o efeito de reverter temporariamente a suspensão:

Quando, a requerimento de pessoa jurídica de direito público interessada ou do Ministério Público e para evitar grave lesão à ordem, à saúde, à segurança



e à economia públicas, o presidente do tribunal ao qual couber o conhecimento do respectivo recurso suspender, em decisão fundamentada, a execução da liminar e da sentença, dessa decisão caberá agravo, sem efeito suspensivo, no prazo de 5 (cinco) dias, que será levado a julgamento na sessão seguinte à sua interposição (art. 15 da Lei nº12.016, de 07 de agosto de 2009). [ênfase acrescentada]

Evidentemente, qualquer UHE tem relevância econômica, assim efetivamente neutralizando todas as proteções ao meio ambiente e aos povos impactados (e.g., Prudente, 2013, 2014).

No caso da UHE Teles Pires, o uso da SS foi denunciado perante a Comissão Interamericana de Direitos Humanos (CIDH) da Organização dos Estados Americanos (OEA), em 28 de março de 2014 (ISA, 2014). A UHE Teles Pires afeta três povos indígenas (Kayabi et al., 2011). Há impactos sobre a alimentação, pelo dano às atividades pesqueiras, E também há perda de locais sagrados associados às cachoeiras a serem inundadas. Houve uma série de irregularidades no licenciamento (Millikan, 2012) e sucessivas tentativas jurídicas de parar a obra foram revertidas, geralmente, em apenas dois ou três dias. A rapidez na reversão de decisões fundamentadas em extensa documentação de impactos e de violações de leis provavelmente se deve ao fato de que a aplicação de SS não leva em conta os argumentos sobre os impactos e a legalidade da obra, dependendo apenas da demonstração de sua importância econômica. A UHE Teles Pires foi suspensa em 14 de dezembro de 2010 (Kayath, 2010), em 27 de março de 2012 (Lessa, 2012; MPF/PA, 2012), em 09 de abril de 2012 (Menezes, 2012a), em 01 de agosto de 2012 (ver Fiocruz & Fase, 2013 e em 09 de outubro de 2013 (TRF-1, 2013). Em 11 de novembro de 2014, pela 12ª vez no caso das barragens do Tapajós, uma suspensão de segurança foi concedida. Isto permitiu que o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) emitisse uma licença de operação para a barragem de Teles Pires, sem o consórcio de construção ter cumprido com muitas das condições que o IBAMA havia estabelecido anteriormente (Palmquist, 2014).

No caso da UHE São Manoel, há uma cronologia espetacular de irregularidades no licenciamento da obra (Monteiro, 2013a,b). Várias tentativas de impedir a obra juridicamente foram derrubadas. Uma suspensão do leilão foi revertida em 13 de

dezembro de 2013 (Fiocruz & Fase, 2013). A história se repetiu em 28 de abril de 2014, quando um juiz em Cuiabá suspendeu a obra com base na legislação, garantindo os direitos dos povos indígenas (Presser, 2014). A ação civil pública sobre a UHE São Manoel chegou à fase de conclusos para sentença em 21 de julho de 2014 (TRF-1, 2014).

As barragens de Sinop, Colíder e Magessi tiveram a construção bloqueada em 6 de dezembro de 2011, quando um juiz em Sinop emitiu uma liminar, com base no descumprimento de legislação sobre licenciamento ambiental (da Silva Neto, 2011). Entre outras irregularidades, o licenciamento estava sendo feito apenas pela Secretaria de Meio Ambiente de Mato Grosso (Sema/MT), enquanto barragens como essas precisam de licenciamento em nível federal, pelo Ibama (MPF/PA, 2011), já que as obras impactam povos indígenas (Monteiro, 2011). Pouco mais de um mês depois, em 16 de janeiro de 2012, um desembargador em Brasília mandou arquivar o processo valendo-se da suspensão de segurança (Menezes, 2012b), permitindo que a construção continuasse. Como em qualquer país, a interpretação das leis varia individualmente entre juízes, e alguns são mais propensos do que os outros a decidir em favor de preocupações econômicas ao custo de direitos indígenas ou impactos ambientais. Esse subconjunto dos juízes é, frequentemente, procurado por advogados do governo para apresentar recursos visando derrubar decisões desfavoráveis às barragens, mesmo que os juízes em questão estejam localizados longe das barragens em causa (ver exemplo em Fearnside & Barbosa, 1996).

A existência de leis autorizando “suspensões de segurança” não é bem conhecida, tanto pela comunidade acadêmica como pelo público em geral. Discussão sobre a necessidade de mudar estas leis, portanto, está quase inexistente. A mesma falta de conhecimento se aplica aos projetos de alto impacto, como a hidrelétrica de Chacorão, que é omitida de praticamente toda a discussão pública sobre os desenvolvimentos na bacia do Tapajós apesar de ser uma parte fundamental do plano global. Omitindo discussão sobre os componentes mais controversos de planos hidrelétricos representa um padrão geral, repetindo a história recente de licenciamento das barragens de Santo Antônio e Jirau no Rio Madeira (Fearnside, 2014c) e Belo Monte no Rio Xingu (Fearnside, 2006, 2012).

Embora as discussões invariavelmente se concentrem sobre os prós e contras de cada projecto proposto, a maneira em que as decisões são tomadas é muito mais fundamental em determinar as condições ambientais e sociais que prevalecerão no futuro. A interdependência de complexos de projetos, como barragens e hidrovias, é parte dessa área pouco debatida. Outra é a estrutura jurídica subjacente, que, no caso do Brasil, representa uma “rede de segurança” para os proponentes de obras, fornecendo uma garantia final contra limitações ambientais e sociais. Aqueles no campo ambiental, que têm trabalhado arduamente para construir o sistema de licenciamento e avaliação de impacto, geralmente veem o ordenamento jurídico como um fato dado – parte da paisagem institucional que deve simplesmente ser aceita. Felizmente, as leis nacionais não são leis naturais e estão sujeitas a alterações por decisões sociais.

## CONCLUSÕES

Os planos para barragens e hidrovias na bacia do Tapajós implicam grandes impactos, individualmente e em conjunto, incluindo danos a TIs e UCs. A combinação de propostas para barragens e hidrovias cria ou potencializa impactos que poderiam, de outra forma, não se concretizar. Um exemplo de destaque é a prioridade conferida à construção da UHE Chacorão, que inundará parte da TI Munduruku, algo que talvez não ocorresse caso a barragem não fizesse parte da rota da hidrovia do Tapajós. O sistema de licenciamento ambiental tem sido incapaz de evitar a aprovação de projetos com grandes impactos e o sistema jurídico tem sido incapaz de fazer valer as proteções legais, devido à existência de leis autorizando a suspensão de segurança para permitir a continuação de qualquer obra com importância econômica.

É necessária a discussão pública das leis que atualmente garantem a conclusão de qualquer barragem ou outro grande projeto de infraestrutura independentemente de impactos ambientais e sociais e de violações dos requisitos de licenciamento. Divulgação e debate democrático também são necessários com relação a toda a gama de componentes incluídos nos planos de desenvolvimento da bacia, inclusive projetos de alto impacto como a hidrelétrica de Chacorão, que hoje estão praticamente ausentes do conhecimento público. A recomendação de política imediata decorrente da experiência do Tapajós é óbvia: revogar as leis ou partes das leis (e.g., artigo 15 da lei 12.016, de 07 de agosto de

2009) que autorizam “suspensões de segurança” e permitir que o sistema de licenciamento ambiental existente no Brasil funcione.

## AGRADECIMENTOS

As pesquisas do autor são financiadas exclusivamente por fontes acadêmicas: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processos nº305880/2007-1, nº304020/2010-9, nº573810/2008-7, nº575853/2008-5), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (Fapeam) (processo nº708565) e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) (PRJ13.03). Este texto é uma tradução atualizada de Fearnside (2015a), com partes adaptadas de Fearnside (2014a, 2015b). Uma versão deste texto fará parte de um compêndio sendo organizado por Rios Internacionais-Brasil sobre barragens na bacia do Tapajós. M.A. dos Santos Jr. preparou as figuras. Zachary Hurwitz, de International Rivers, forneceu arquivos *shape* usados nas Figuras 2-4. Agradeço a P.M.L.A. Graça, D. Alarcon e I.F. Brown pelos comentários.

## LITERATURA CITADA

- Abril, G., F. Guérin, S. Richard, R. Delmas, C. Galy-Lacaux, P. Gosse, A. Tremblay, L. Varfalvy, M.A. dos Santos & B. Matvienko. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles* 19: GB 4007, doi: 10.1029/2005GB002457.
- Amigos da Terra-Amazônia Brasileira. 2014. Funai admite pressão e condiciona demarcação à hidrelétrica. *Notícias*, 26 de novembro de 2014. Disponível em: <http://amazonia.org.br/2014/11/funai-admite-press%C3%A3o-e-condiciona-demarca%C3%A7%C3%A3o-%C3%A0-hidrel%C3%A9trica/>
- Aranha, A. 2015. “A Funai está sendo desvalorizada e sua autonomia totalmente desconsiderada”, diz ex-presidente. *Publica Agência de Reportagem e Jornalismo Investigativo* 27 de janeiro de 2015. Disponível em: <http://apublica.org/2015/01/a-funai-esta-sendo-desvalorizada-e-sua-autonomia-totalmente-desconsiderada-diz-ex-presidente/>
- Aranha, A. & J. Mota. 2014. Mundukurus lutam por sua terra e contra hidrelétrica Tapajós. *Pública, Agência de Reportagem e Jornalismo Investigativo*. Disponível em: <http://jornalgggn.com.br/blog/mpaiva/mudukurus-lutam-por-sua-terra-e-contra-hidreletrica-tapajos>
- Arima, E.Y., P. Richards, R. Walker & M.M. Caldas. 2011. Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters* 6: 024010. doi: 10.1088/1748-9326/6/2/024010

- Barthem, R.B., M.C.B.L. Ribeiro & M. Petrerere. 1991. Life strategies of some long-distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the Amazon Basin. *Biological Conservation* 55: 339–345.
- Brasil, ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). 2011. Processo nº 48500.001701/2006-11. Assunto: Análise dos Estudos de Inventário Hidrelétrico da bacia do rio Juruena, localizado na subbacia 17, nos Estados de Mato Grosso e Amazonas. Nota Técnica no, 297/2011 - SGH/ANEEL, de 05/-8/2011. ANEEL, Brasília, DF. 10 p.
- Brasil, MME (Ministério das Minas e Energia). 2011. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020*. MME, Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília, DF. 2 vols. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/PDEE/20111229\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/20111229_1.pdf)
- Brasil, MME (Ministério das Minas e Energia). 2012. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2021*. MME, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Brasília, DF. 386 p. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/PDEE/20120924\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/20120924_1.pdf)
- Brasil, MME (Ministério das Minas e Energia). 2013. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2022*. MME, Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília, DF. 409 p. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/PDEE/20140124\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/20140124_1.pdf)
- Brasil, MT (Ministério dos Transportes). 2010. Diretrizes da Política Nacional de Transporte Hidroviário. MT, Secretaria de Política Nacional de Transportes, Brasília, DF. 33 p. <http://www2.transportes.gov.br/Modal/Hidroviario/PNHidroviario.pdf>
- Brasil, PR (Presidência da República). 2000. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm)
- Brasil, PR (Presidência da República). 2004. Decreto No. 5.051 de 19 de abril de 2004. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5051.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5051.htm)
- Brasil, PR (Presidência da República). 2011. PAC-2 Relatórios. PR, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br>
- Cernea, M.M. 1988. Involuntary Resettlement in Development Projects: Policy Guidelines in World Bank-Financed Projects. (World Bank technical paper no. 80), The World Bank, Washington, DC, E.U.A. 88 p. Disponível em: <http://rru.worldbank.org/documents/toolkits/highways/pdf/91.pdf>
- Cernea, M.M. 2000. Impoverishment Risks, Safeguards, and Reconstruction: A Model for Population Displacement and Resettlement. In: M. Cernea & C. McDowell (eds.) *Risks and Reconstruction. Experiences of Resettlers and Refugees*. The World Bank, Washington, DC, E.U.A. 504 p.
- CIMI (Comissão Indigenista Missionária). 2014. Enquanto Funai admite orientação para paralisar demarcações, relatório demonstra efeitos da política governista. *Amazônia.org* 19 de julho de 2014 <http://amazonia.org.br/2014/07/enquanto-funai-admite-orientacao-para-paralisar-demarcacoes-relatorio-demonstra-efeitos-da-politica-governista/> [20/07/2014 15:36:27].
- CNEC Worley Parsons Engenharia, S.A. 2014a. *Estudo de Viabilidade do AHE São Luiz do Tapajós*. CNEC(Consórcio Nacional dos Engenheiros Consultores), São Paulo, SP. 11 Vols. + anexos.
- CNEC Worley Parsons Engenharia, S.A. 2014b. *EIA: AHE São Luiz do Tapajós; Estudo de Impacto Ambiental, Aproveitamento Hidrelétrico São Luiz do Tapajós*. CNEC (Consórcio Nacional dos Engenheiros Consultores), São Paulo, SP. 25 Vols. + anexos. [http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Sao%20Luiz%20do%20Tapajos/EIA\\_RIMA/](http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Sao%20Luiz%20do%20Tapajos/EIA_RIMA/)
- da Silva Neto, L.B. 2011. Ação Civil Pública 7786.39.2010.4.01.3603. 06 de dezembro de 2011, Juízo Federal da Vara Única de Sinop – MT.
- de Almeida, J. 2010. *Alta Tensão na Floresta: Os Enawene e o Complexo Hidrelétrico Juruena*. Monografia, Curso de Especialização (*Lato Sensu*) em Indigenismo, Universidade Positivo, Operação Amazônia Nativa – OPAN, Cuiabá, Mato Grosso. 99 p. Disponível em: [http://amazonianativa.org.br/download.php?name=arqs/biblioteca/13\\_a.pdf&nome=Juliana%20de%20Almeida\\_Alta%20Tens%20na%20Floresta%20Os%20Enawene%20Nawe%20e%20o%20Complexo%20Hidrel%20etrico%20Juruena.pdf](http://amazonianativa.org.br/download.php?name=arqs/biblioteca/13_a.pdf&nome=Juliana%20de%20Almeida_Alta%20Tens%20na%20Floresta%20Os%20Enawene%20Nawe%20e%20o%20Complexo%20Hidrel%20etrico%20Juruena.pdf)
- Fanzeres, A. 2013. Povos indígenas da bacia do rio Juruena são preteridos de consulta prévia à emissão de licença em mais uma usina no rio do Sangue. *Revista Sina* 18 de Junho de 2013. <http://www.revistasina.com.br/porta/questao-indigena/item/9637-povos-ind%C3%ADgenas-da-bacia-do-rio-juruena-s%C3%A3o-preteridos-de-consulta-pr%C3%A9via-%C3%A0-emiss%C3%A3o-de-licen%C3%A7a-em-mais-uma-usina-no-rio-do-sangue>
- Fearnside, P.M. 1999. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management* 24(4): 483-495. doi: 10.1007/s002679900248
- Fearnside, P.M. 2001. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation* 28(1): 23-38. doi: 10.1017/S0376892901000030 Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/2006/Soja-Amazonia%20500%20anos.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2006/Soja-Amazonia%20500%20anos.pdf)
- Fearnside, P.M. 2006. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's hydroelectric development of the Xingu River Basin. *Environmental Management* 38(1): 16-27. doi: 10.1007/s00267-005-00113-6.
- Fearnside, P.M. 2012. Belo Monte Dam: A spearhead for Brazil's dam building attack on Amazonia? GWF Discussion Paper 1210, Global Water Forum, Canberra, Austrália. 6 p. Disponível em: [http://www.globalwaterforum.org/wp-content/uploads/2012/04/Belo-Monte-Dam-A-spearhead-for-Brazils-dam-building-attack-on-Amazonia\\_-GWF-1210.pdf](http://www.globalwaterforum.org/wp-content/uploads/2012/04/Belo-Monte-Dam-A-spearhead-for-Brazils-dam-building-attack-on-Amazonia_-GWF-1210.pdf)
- Fearnside, P.M. 2013. Carbon credit for hydroelectric dams as a source of greenhouse-gas emissions: The example of Brazil's Teles Pires Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18(5): 691-699. doi: 10.1007/s11027-012-9382-6
- Fearnside, P.M. 2014a. *Análisis de los Principales Proyectos Hidro-Energéticos en la Región Amazónica*. Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR), Lima, Peru & Centro Latinoamericano de Ecología Social (CLAES),



- Montevideo, Uruguai. 55 p. [http://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/147\\_Proyecto\\_hidro-energeticos.pdf](http://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/147_Proyecto_hidro-energeticos.pdf). Versão em Português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/2013/Barragens%20na%20Amazônia\\_Série\\_Amazônia%20Real.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2013/Barragens%20na%20Amazônia_Série_Amazônia%20Real.pdf)
- Fearnside, P.M. 2014b. Impacts of Brazil's Madeira River dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Science & Policy* 38: 164-172. doi: 10.1016/j.envsci.2013.11.004.
- Fearnside, P.M. 2014c. Brazil's Madeira River dams: A setback for environmental policy in Amazonian development. *Water Alternatives* 7(1): 156-169. <http://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol7/v7issue1/244-a7-1-15/file>
- Fearnside, P.M. 2015a. Amazon dams and waterways: Brazil's Tapajós Basin plans. *Ambio* 44(5): 426-439. doi: 10.1007/s13280-015-0642-z.
- Fearnside, P.M. 2015b. Hidrelétricas na Amazônia brasileira: Questões ambientais e sociais. Capítulo 10 In: D. Floriani & A.E. Hevia (eds.) *América Latina Sociedade e Meio Ambiente: Teorias, Retóricas e Conflitos em Desenvolvimento*. Editora da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. (no prelo).
- Fearnside, P.M. & R.I. Barbosa. 1996. Political benefits as barriers to assessment of environmental costs in Brazil's Amazonian development planning: The example of the Jatapu Dam in Roraima. *Environmental Management* 20(5): 615-630. doi: 10.1007/BF01204135
- Fearnside, P.M. & S. Pueyo. 2012. Underestimating greenhouse-gas emissions from tropical dams. *Nature Climate Change* 2(6): 382-384. doi: 10.1038/nclimate1540
- Finer, M. & C.N. Jenkins. 2012. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. *PLoS ONE* 7(4), e35126 doi:10.1371/journal.pone.0035126 Disponível em: <http://www.plosone.org>
- Fiocruz (Fundação Oswaldo Cruz) & Fase (Federação dos Órgãos para Assistência Social e Educacional). 2013. Mapa de conflitos envolvendo injustiça ambiente e saúde no Brasil. <http://www.conflictoambiental.icict.fiocruz.br/index.php?pag=ficha&cod=426>
- Freitas, T. 2014. Exportação de grãos vai dobrar, diz Bunge; para empresa, China manterá demanda. *Folha de São Paulo*, 26 de abril de 2014, p. B-2.
- Garcia, R. 2014. Impacto do clima será mais amplo, porém mais incerto. *Folha de São Paulo*, 31 de março de 2014, p. C-5.
- Grupo de Trabalho Tapajós & Ecology Brasil (Ecology and Environment do Brasil). 2014. *Sumário Executivo: Avaliação Ambiental Integrada da Bacia do Tapajós*. 2580-00-AAI-RL-0001-01. Abril 2014. Ecology Brasil, Rio de Janeiro, RJ. 109 p. [http://www.grupodeestudostapajos.com.br/site/wp-content/uploads/2014/04/Sumario\\_AAI.pdf](http://www.grupodeestudostapajos.com.br/site/wp-content/uploads/2014/04/Sumario_AAI.pdf)
- IHU (Instituto Humanitas Unisinos) 2012. Movimentos sociais repudiam Medida Provisória que diminui áreas protegidas na Amazônia. *IHU Notícias*, 31 de maio de 2012. <http://www.ihu.unisinos.br/noticias/510033-movimentos-sociais-e-organizacoes-da-sociedade-civil-lancam-carta-de-repudio-a-medida-provisoria-que-diminui-areas-protegidas-na-amazonia>
- Illescas, G. 2014. ¿Vecinos de Hidro Santa Rita firman acuerdo con la Empresa y el Gobierno? Centro de Médios Independentes (CMI-6), 04 de agosto de 2014. <http://cmiguate.org/vecinos-de-hidro-santa-rita-firman-acuerdo-con-la-empresa-y-el-gobierno/>
- ISA (Instituto Socioambiental). 2013. Dilma homologa terra indígena Kayabi (MT/PA) em meio a atritos por causa de hidrelétricas. *Notícias Direto do ISA*, 19 de abril de 2013. [http://www.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/dilma-homologa-terra-indigena-kayabi-mtpa-em-meio-a-atritos-por-causa-de\[29-Apr-13 17:11:09\]](http://www.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/dilma-homologa-terra-indigena-kayabi-mtpa-em-meio-a-atritos-por-causa-de[29-Apr-13 17:11:09])
- ISA (Instituto Socioambiental). 2014. Estado brasileiro é denunciado na OEA por ainda usar lei da ditadura militar. *Direto do ISA*, 28 de março de 2014. <http://www.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/estado-brasileiro-e-denunciado-na-oea-por-ainda-usar-lei-da-ditadura-militar>
- Kahn, J.R., C.E. Freitas & M. Petrere. 2014. False shades of green: The case of Brazilian Amazonian hydropower. *Energies* 7: 6063-6082. doi:10.3390/en7096063
- Kemenes, A., B.R. Forsberg & J.M. Melack. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters* 34, L12809, doi: 10.1029/2007GL029479. 55.
- Kayabi, Apiaká & Munduruku. 2011. Manifesto Kayabi, Apiaká e Munduruku contra os aproveitamentos hidrelétricos no Rio Teles Pires. Aldeia Kururuzinho Terra Indígena Kayabi, Alta Floresta, Mato Grosso. 9 p. Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/files/manifesto%20kayabi-mundurucu-apiaca-dez2011.pdf>
- Kayath, H.G. 2010. Processo N 33146-55.2010.4.01.3900. Decisão. Justiça Federal de 1ª Instância, Seção Judiciária do Pará. Disponível em: <http://telmadmonteiro.blogspot.com.br/2010/12/liminar-suspende-o-processo-de.html>
- Leino, T. & M. Lodenius. 1995. Human hair mercury levels in Tucuruí area, state of Pará, Brazil. *The Science of the Total Environment* 175: 119-125.
- Lessa, F. 2012. Justiça manda parar obras de Teles Pires. *O Estado de São Paulo*, 28 de março de 2012. <http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,justica-manda-parar-obras-de-teles-pires-,854290,0.htm>
- Lourenço, L. 2014. MPF processa União e Funai por demora na demarcação de terra indígena no Pará. *Agência Brasil*. 27 de maio de 2014. Disponível em: <http://amazonia.org.br/2014/05/mpf-processa-uni%C3%A3o-e-funai-por-demora-na-demarca%C3%A7%C3%A3o-de-terra-ind%C3%ADgena-no-par%C3%A1/>
- Macrologística. 2011. Projeto Norte Competitivo. Macrologística Consultoria, São Paulo, SP. <http://www.macrologistica.com.br/images/stories/palestras/Projeto%20Norte%20Competitivo%20-%20Apresentação%20Executiva%20no%20Ministério%20do%20Planejamento%20-%20Agosto%202011.pdf>



- McCully, P. 2001. *Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams: Enlarged and Updated Edition*. Zed Books. New York, NY, E.U.A. 359 p.
- Menezes, O. 2012a. Suspensão de liminar ou antecipação de tutela N. OO18625-97.2012.4.01.0000/MT. Decisão. 09 de abril de 2012. [http://www.prpa.mpf.mp.br/news/2014/arquivos/Suspensao\\_Liminar.pdf/at\\_download/file](http://www.prpa.mpf.mp.br/news/2014/arquivos/Suspensao_Liminar.pdf/at_download/file)
- Menezes, O. 2012b. Suspensão de liminar ou antecipação de tutela N. 0075621-52.2011.4.01.0000/MT Decisão. 16 de janeiro de 2012. [http://www.prpa.mpf.mp.br/news/2014/arquivos/Suspensao%20de%20Seguranca.doc/at\\_download/file](http://www.prpa.mpf.mp.br/news/2014/arquivos/Suspensao%20de%20Seguranca.doc/at_download/file)
- Mermet, L. 2011. *Strategic Environmental Management Analysis: Addressing the Blind Spots of Collaborative Approaches*. Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (IDDRI), Paris, França. 30 p. Disponível em: <http://www.iddri.org/Publications/Strategic-Environmental-Management-Analysis-Addressing-the-Blind-Spots-of-Collaborative-Approaches>
- Millikan, B. 2011. *Dams and Hidrovias in the Tapajós Basin of Brazilian Amazonia: Dilemmas and Challenges for Netherlands-Brazil Relations*. International Rivers Technical Report. International Rivers, Berkeley, Califórnia, E.U.A. 36 p. [http://www.bothends.org/uploaded\\_files/inlinetitem/41110615\\_Int\\_Rivers\\_report\\_Tapajós.pdf](http://www.bothends.org/uploaded_files/inlinetitem/41110615_Int_Rivers_report_Tapajós.pdf)
- Millikan, B. 2012. Comments to PJRCES on the Teles Pires Hydropower Project (Brazil). Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/node/7188>
- Monteiro, T. 2011. Três hidrelétricas ameaçam indígenas no rio Teles Pires. 22 de agosto de 2011. <http://telmadmonteiro.blogspot.com.br/2011/08/tres-hidreletricas-ameacam-indigenas-no.html>
- Monteiro, T. 2013a. Hidrelétrica São Manoel: Cronologia de mais um desastre – Parte I. *Correio da Cidadania*, 15 de agosto de 2013. [http://www.correiodacidade.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8728:submanc\\_hete150813&catid=32:meio-ambiente&Itemid=68](http://www.correiodacidade.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=8728:submanc_hete150813&catid=32:meio-ambiente&Itemid=68)
- Monteiro, T. 2013b. Hidrelétrica São Manoel: Cronologia de mais um desastre – Parte II. *Correio da Cidadania*, 19 de agosto de 2013. [http://www.correiodacidade.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8746:submanc\\_hete190813&catid=75:telma-monteiro&Itemid=192](http://www.correiodacidade.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=8746:submanc_hete190813&catid=75:telma-monteiro&Itemid=192)
- Moreira, P.F. (ed.). 2012. *Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios*. 2ª ed. Rios Internacionais, Brasília, DF. 100 p. Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/node/7525>
- MPF/PA (Ministério Público Federal no Pará). 2011. MPF/PA: Justiça paralisa usinas de Colider, Sinop e Magessi, no Teles Pires. <http://mpf.jusbrasil.com.br/noticias/2957565/mpf-pa-justica-paralisa-usinas-de-collider-sinop-e-magessi-no-teles-pires>
- MPF/PA (Ministério Público Federal no Pará). 2012. MP pede suspensão do licenciamento e obras da usina de Teles Pires por falta de consulta a indígenas. 19 de março de 2012. <http://www.prpa.mpf.gov.br/news/2012/mp-pede-suspensao-do-licenciamento-e-obras-da-usina-de-teles-pires-por-falta-de-consulta-a-indigenas>
- Oliver-Smith, A (ed.). 2009. *Development and Dispossession: The Crisis of Development Forced Displacement and Resettlement*. SAR Press, London, Reino Unido. 344 p.
- Oliver-Smith, A. 2010. *Defying Displacement: Grassroots Resistance and the Critique of Development*. University of Texas Press, Austin, Texas, E.U.A. 303 p.
- Ortiz, F. 2013. Índios Munduruku vão à Brasília contra usinas no Tapajós. *OEco* 12 de dezembro de 2013. <http://www.oeco.org.br/noticias/27850-indios-munduruku-va-a-brasilia-contra-usinas-no-tapajós>
- Ostrom, E. 2011. Background on the institutional analysis and development framework. *The Policy Studies Journal* 39(1): 7-27. doi: j.1541-0072.2010.00394.x
- Palmquist, H. 2014. Usina Teles Pires: Justiça ordena parar e governo federal libera operação, com base em suspensão de segurança. *Ponte 27 de novembro de 2014*. <http://ponte.org/usina-teles-pires-justica-ordena-parar-e-governo-federal-libera-operacao-com-base-em-suspensao-de-seguranca/>
- Presser, I. 2014. Processo N° 0017643-16.2013.4.01.3600 - 1ª Vara Federal N° de registro e-CVD 00029.2014.0001360 0.2.00569/00033, 28 de abril de 2014, Tribunal Regional Federal da Primeira Região, Cuiabá, MT. 32 p.
- Prudente, A.S. 2013. O Terror Jurídico-Ditatorial da Suspensão de Segurança e a Proibição do Retrocesso no Estado Democrático de Direito. *Revista Magister de Direito Civil e Processual Civil* 10(55): 108-120. [http://www.icjp.pt/sites/default/files/papers/o\\_terror\\_juridico\\_completo.pdf](http://www.icjp.pt/sites/default/files/papers/o_terror_juridico_completo.pdf)
- Prudente, A.S. 2014. A suspensão de segurança como instrumento agressor dos tratados internacionais. *Revista Justiça e Cidadania*, No. 165. <http://www.editorajc.com.br/2014/05/suspensao-seguranca-instrumento-agressor-tratados-internacionais/>
- Ross, K. 2012. Community Leader and Defender of the Sogamoso River Disappears. International Rivers, 12 de novembro de 2012. <http://www.internationalrivers.org/blogs/259/community-leader-and-defender-of-the-sogamoso-river-disappears>
- Santos, S.M.S.B.M. & F.M. Hernandez (eds.). 2009. *Painel de Especialistas: Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte*. Painel de Especialistas sobre a Hidrelétrica de Belo Monte, Belém, Pará. 230 p. Disponível em: [http://www.xinguvivo.org.br/wp-content/uploads/2010/10/Belo\\_Monte\\_Painel\\_especialistas\\_EIA.pdf](http://www.xinguvivo.org.br/wp-content/uploads/2010/10/Belo_Monte_Painel_especialistas_EIA.pdf)
- Scudder, T. 2006. *The Future of Large Dams: Dealing with Social, Environmental, Institutional and Political Costs*. Routledge, London, Reino Unido. 408 p.
- TRF-1 (Tribunal Regional Federal da 1ª Região). 2013. TRF determina a suspensão das obras da UHE Teles Pires até a realização do Estudo do Componente Indígena. Processo n.º 058918120124013600, Data do julgamento: 09/10/13. <http://trf-1.jusbrasil.com.br/noticias/112010609/trf-1>

determina-a-suspensao-das-obras-da-uhe-teles-pires-ate-a-realizacao-do-estudo-do-componente-indigena

TRF-1 (Tribunal Regional Federal da 1ª Região). 2014. Consulta Processual / MT 0013839-40.2013.4.01.3600. <http://processual.trf1.jus.br/consultaProcessual/index.php?secao=MT>

Tundisi, J.G., J. Goldemberg, T. Matsumura-Tundisi & A.C.F. Saraivad. 2014. How many more dams in the Amazon? *Energy Policy* 74: 703–708. doi:10.1016/j.enpol.2014.07.013

Val, A.L., V.M.F. deAlmeida-Val, P.M. Fearnside, G.M. dos Santos, M.T.F. Piedade, W. Junk, S.R. Nozawa, S.T. da Silva & F.A.C. Dantas. 2010. Amazônia: Recursos hídricos e sustentabilidade. p. 95–109. In: C.E.M. Bicudo, J.G. Tundisi & M.C.B. Scheuenstuhl (eds.). *Águas do Brasil: Análises Estratégicas*. Instituto de Botânica, São Paulo, SP. 222 p.

WCD (World Commission on Dams). 2000. *Dams and Development – A New Framework for Decision Making – The Report of World Commission on Dams*. WCD & Earthscan, London, Reino Unido. 404 p.

WWF Brasil. 2012. Construção de hidrelétricas ameaça rio Tapajós. 11 de fevereiro de 2012. [http://www.wwf.org.br/informacoes/sala\\_de\\_imprensa/?30562/construo-de-hidretricas-ameaa-rio-tapajs](http://www.wwf.org.br/informacoes/sala_de_imprensa/?30562/construo-de-hidretricas-ameaa-rio-tapajs)

WWF Brasil. 2014. Hidrelétricas podem alagar parque nacional na Amazônia. *Amazônia*, 05 de junho de 2014. <http://amazonia.org.br/2014/06/hidrel%c3%a9tricas-podem-alagar-parque-nacional-na-amaz%c3%b4nia/>

Yan, K. 2013. World water day marked by death of indigenous anti-dam protester. *International Rivers*, 04 de abril de 2013. <http://www.internationalrivers.org/blogs/246/world-water-day-marked-by-death-of-indigenous-anti-dam-protester>

# Capítulo 22

---

## **Crédito de carbono para usinas hidrelétricas como fonte de emissões de gases de efeito estufa: O exemplo da hidrelétrica de Teles Pires**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936  
69067-375 Manaus, Amazonas  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2013. Carbon credit for hydroelectric dams as a source of greenhouse-gas emissions: The example of Brazil's Teles Pires Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18(5): 691-699. doi: 10.1007/s11027-012-9382-6

## RESUMO

Crédito de carbono é concedido a usinas hidrelétricas no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Protocolo de Quioto, sob as premissas de que (1) as barragens não seriam construídas sem financiamento do MDL e (2) as barragens teriam emissões mínimas ao longo da duração dos projetos, de 7 a 10 anos, em comparação com a eletricidade gerada por combustíveis fósseis. Ambas as suposições são falsas, especialmente no caso das barragens tropicais, como as previstas na Amazônia. A barragem de Teles Pires, atualmente em construção no Pará, fornece um exemplo concreto, indicando a necessidade de reforma da regulamentação do MDL, eliminando crédito para hidrelétricas.

Palavras-Chave Amazônia, represas, aquecimento global, efeito estufa, hidrelétricas, metano, mitigação

## INTRODUÇÃO

Créditos de carbono concedidos para hidrelétricas sob as normas vigentes do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Protocolo de Quioto, representa uma importante fonte de “ar quente”, ou reduções certificadas de emissões (CERs) que permitem que os países compradores emitam gases de efeito estufa, mas sem qualquer benefício real para o clima resultante do projeto de mitigação. Até 01 de julho de 2014 o Conselho Executivo (*Executive Board*) do MDL havia aprovado (registrado) 2.041 projetos de crédito para hidrelétricas em todo o mundo, totalizando 262,7 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq) (UNEP, 2014), ou 71,7 milhões de toneladas de carbono. Os projetos são ou por sete anos (com possibilidade de renovação), ou por um período único de 10 anos (como é o caso da proposta

da barragem de Teles Pires). O “*pipeline*” (“duto” de projetos), ou projetos registrados ou buscando registro junto ao MDL, é muito maior (Tabela 1). O total de 365,8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2012 (90,3 milhões de toneladas de carbono) no “*pipeline*” global é quase no nível da emissão atual do Brasil dos combustíveis fósseis, de pouco mais de 100 milhões de toneladas de carbono por ano.

As barragens têm uma larga gama de impactos ambientais e sociais (WCD, 2000). Há também fortes indícios de que praticamente nenhuma das supostas reduções de emissões é adicional (ou seja, as barragens seriam construídas de qualquer maneira, sem financiamento do MDL). Praticamente todos os projetos de barragens só solicitam o crédito do MDL depois que os investimentos na construção do projeto já estejam assegurados, quando a represa está em construção (como no caso da hidrelétrica de Teles Pires), e às vezes, mesmo após a barragem ser construída. O Plano de Expansão Energética 2013-2022, do Ministério das Minas e Energia (Brasil, MME, 2013), indica, além de Jirau (enchida em 2013), 18 barragens com > 30 MW de capacidade instalada a serem concluídas até 2022 na Amazônia Legal brasileira. Desde 2006 o Brasil define barragens “grandes” como > 30 MW (a maioria é muito maior que isso), enquanto o MDL define barragens “grandes” como > 15 MW e da Comissão Internacional das Grandes Barragens (ICOLD) define-as como >15 m em altura acima do leito do rio. O magnitude dos planos brasileiros de construção de barragens proporciona uma grande oportunidade para reivindicar mais crédito mitigação se os regulamentos atuais do MDL continuarem inalterados. O Plano Nacional sobre Mudança do Clima implica que este é, de fato, a expectativa do governo brasileiro (Brasil, CIMC, 2008), embora isso não implicasse que essas barragens não seriam construídas sem crédito do MDL.

**Tabela 1.** “Pipeline” (duto) de hidrelétricas no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo [a]

País	Total de projetos [b]	Capacidade instalada (MW) [b]	CO <sub>2</sub> -eq [c] média/ano (Milhões de t) [d]	% do total de CO <sub>2</sub> -eq [d]
China	1.366	59.225	270,2	73,9
Brasil	107	12.531	13,2	3,6
Outros não-Anexo I [e]	803	47.673	82,4	22,5
Total	2.276	119.429	342,8	100,0

[a] Dados do Centro Risoe, do Programa das Nações Unidas do Meio Ambiente (PNUMA) (UNEP, 2014). Inclui tanto o “grande” (definido pelo CDM como > 15 MW) e projetos “pequenos” (≤ 15 MW).

[b] Dados referentes a 01 de julho de 2014.

[c] 1 tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq) = 1 Redução Certificada de Emissões (CER).

[d] Dados referentes ao ano 2012.

[e] Países sem limites às suas emissões no âmbito do Protocolo de Quioto.



A primeira grande barragem a solicitar crédito do MDL na região amazônica do Brasil foi a hidrelétrica de Dardonellos, no Estado de Mato Grosso, e isso já foi seguido pela hidrelétrica de Teles Pires e pelas hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio, no Rio Madeira em Rondônia (Fearnside, 2013a). A hidrelétrica de Teles Pires, de 1.820 MW, se encontra em construção no Rio Teles Pires, afluente do Rio Tapajós, que, por sua vez, é afluente do Rio Amazonas. O reservatório, de 135 km<sup>2</sup>, se situa na fronteira entre os Estados do Pará e Mato Grosso. A licitação foi realizada em 17 de dezembro de 2010 para escolher o consórcio de empresas que vão construir a barragem e vender a energia elétrica (desde 2006, barragens do Brasil são oferecidos através de licitação sobre o preço a ser cobrado pela eletricidade, o vencedor sendo a empresa que oferecer o menor preço). Os contratos foram assinados em 07 de junho de 2011, e a construção começou oficialmente em 30 de outubro de 2011 (Brasil, PR, 2011, p. 82). O objetivo do presente trabalho é examinar a proposta de crédito da hidrelétrica de Teles Pires como um exemplo dos problemas generalizados que afetam barragens no MDL.

## O PROJETO DE CARBONO DA HIDRELÉTRICA DE TELES PIRES

O Documento de Concepção do Projeto (PDD) para a hidrelétrica de Teles Pires (Ecopart, 2011) é revelador, tanto das falhas no sistema atual do MDL como das inconsistências entre a preocupação declarada do governo brasileiro como relação às mudanças climáticas e o seu envolvimento na exploração máxima de lacunas na regulamentação do MDL. O documento começa por afirmar (Ecopart, 2011, p. 3) que “o projeto vai fazer uso dos recursos hídricos do rio Teles Pires ... a fim de gerar eletricidade livre de emissões gases de efeito estufa (GEE)”. Nenhuma literatura é citada aqui ou em qualquer lugar no documento para comprovar a alegação de que hidrelétricas amazônicas como esta são livres de emissões. Em vez disso, os cálculos mais adiante no documento dependem de uma cláusula processual do MDL relacionada com a densidade energética da barragem como a justificativa para a utilização de um valor de zero para as emissões do projeto nos cálculos. Infelizmente, o fato que as barragens na Amazônia produzem grandes quantidades de gases de efeito estufa, especialmente durante os primeiros dez anos de operação (o horizonte de tempo para o

atual projeto de MDL), tem sido demonstrado em diversos estudos na literatura científica (e.g., Galy-Lacaux *et al.*, 1997, 1999; Fearnside, 2002a, 2004, 2005a,b, 2006a, 2008, 2009; Delmas *et al.*, 2004; Abril *et al.*, 2005; Guérin *et al.*, 2006, 2008; Kemenes *et al.*, 2008, 2011; Gunkel, 2009; Pueyo & Fearnside, 2011). Enquanto ressalvas e suposições são detalhadas em todos esses estudos, a conclusão geral de que represas tropicais emitem quantidades significativas de gases de efeito estufa em seus primeiros dez anos é clara e robusta.

Apesar do documento usar zero como a emissão do projeto no cálculo dos benefícios climáticos, uma tabela foi incluída (Ecopart, 2011, p. 10, Tabela 3), indicando que a barragem iria produzir metano (CH<sub>4</sub>), ainda que não fosse mencionada qualquer quantidade. A mesma tabela também afirma que as emissões de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O são iguais a zero, cada um deles sendo apenas uma “fonte de emissão secundária.” Infelizmente, ambos estes gases são produzidos também. A criação do reservatório matará as árvores da floresta na área inundada, e estas, geralmente, permanecem projetando para fora da água, a decomposição de madeira na presença de oxigênio e produz CO<sub>2</sub>. As quantidades são bastante consideráveis ao longo do horizonte de dez anos do atual projeto de MDL, conforme mostrado pelas emissões calculadas a partir desta fonte em reservatórios amazônicos existentes (Fearnside, 1995). CO<sub>2</sub> também será emitido pela atividade de desmatamento estimulado perto da barragem e pelo desmatamento de cerrado mais a montante, a fim de produzir a soja que seria transportada na hidrovía Teles-Pires/Tapajós, de que esta barragem e suas eclusas formam uma parte (Fearnside, 2001, 2002b; Millikan, 2012). O óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), também é emitido por reservatórios tropicais, como foi mostrado na Guiana Francesa (Guerin *et al.*, 2008).

A proposta aproveita de um regulamento do MDL, que permite a emissão zero ser reivindicada se a densidade energética for superior a 10 W/m<sup>2</sup> (Ecopart, 2011, p. 27):

“Emissões do reservatório de água são definidos como zero se a densidade energética do projeto for maior do que 10 W/m<sup>2</sup>. A densidade energética do projeto é de 19,18 W/m<sup>2</sup>, assim, por definição, as emissões do reservatório de água são zero”.

Infelizmente, ter uma elevada densidade energética não resulta, de fato, em emissões zero. A elevada densidade energética significa que a área do

reservatório é pequena em relação à capacidade instalada. A pequena área significa que as emissões através da superfície do reservatório (a partir de ebulição e difusão) serão menores do que em um reservatório grande, mas não serão zero. A capacidade instalada, no entanto, reflete a quantidade de água disponível no rio, e isto tem o efeito oposto: quanto mais o fluxo da corrente, mais a emissão que resultará da água que passa pelas turbinas e vertedouros. As turbinas e vertedouros são, de fato, a principal fonte de emissão de metano na maioria das represas amazônicas (e.g., (Fearnside, 2002a, 2005a,b, 2009, Abril *et al.*, 2005). A água que passa pelas turbinas e vertedouros é tirada, normalmente, a partir de uma profundidade abaixo do termoclino que separa as camadas de água no reservatório. A camada superficial (a hipolimnion) é praticamente desprovida de oxigênio e a decomposição da matéria orgânica, por conseguinte, gera metano em vez de dióxido de carbono.

Cada tonelada de metano tem o impacto sobre o aquecimento global de 34 toneladas de CO<sub>2</sub> ao longo de um período de 100 anos, de acordo com o quinto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com a inclusão de retroalimentações entre o carbono e o clima, que não haviam sido incluídas nos valores anteriores (Myhre *et al.*, 2013, p. 714). Além desse valor para o horizonte de 100 anos, o quinto relatório incluiu cálculos para um horizonte de tempo de 20 anos, indicando um valor de 86 para o impacto de cada tonelada de metano comparado com uma tonelada de CO<sub>2</sub>. Um horizonte de 20 anos reflete melhor o curto prazo que temos para controlar o aquecimento global se é para evitar consequências muito mais graves comparado com os valores para o horizonte de 100 anos que vem sendo usados pelo Protocolo de Quioto. Portanto, o impacto do metano produzido por hidrelétricas é até quatro vezes mais que o impacto indicado por cálculos feitos usando o valor de 21 adotado pelo Protocolo de Quioto (até o final de 2012) com base no segundo relatório do IPCC (Schimel *et al.*, 1996), 3,4 vezes o impacto correspondente ao valor de 25 adotado para o período 2013-2017, com base no quarto relatório (Forster *et al.*, 2007) é mais de trinta vezes o impacto indicado por cálculos que consideram apenas a emissão de carbono, sem considerar o efeito das emissões serem em forma de metano.

A água com elevadas concentrações de metano (sobre pressão na parte inferior do reservatório) é liberado para a atmosfera à jusante da barragem, e

a maior parte do metano surge rapidamente na forma de bolhas. Note-se que o único meio válido para medir estas emissões é a diferença na concentração de metano na água acima da barragem (na profundidade das turbinas) e no rio abaixo da barragem. Não é possível captar essa emissão com câmaras flutuantes para medir o fluxo através da superfície do rio a alguma distância à jusante, como tem sido feito em vários estudos que afirmam apenas pequenas emissões de “desgazamento” nas turbinas (e.g., dos Santos *et al.*, 2008; Ometto *et al.* 2011, porém veja dados comparativos em (Kemenes *et al.*, 2011).

O Documento de Concepção do Projeto calcula a área de reservatório para o propósito de calcular a densidade energética, que representa a capacidade instalada, em Watts, dividida pela área em metros quadrados. O cálculo (Ecopart, 2011, p. 36) é descrito como:

*“A área do reservatório do projeto no nível de água máximo normal de 220 m é 135,4654 km<sup>2</sup>, dos quais 40,6 km<sup>2</sup> são parte do leito normal rio e, portanto, o aumento da área inundada é de 94,8654 km<sup>2</sup>”.*

O pressuposto é que a água que fica sobre o “leito normal do rio” não esteja emitindo metano. Infelizmente, esta água também emite metano, como mostrado por estudos que mediram fluxos em vários pontos da superfície em reservatórios amazônicos (e.g., Abril *et al.*, 2005; Rosa *et al.*, 1997; Duchemin *et al.*, 2000; Kemenes *et al.*, 2007). A regra adotado pelo MDL permitindo o leito do rio não ser considerado parece basear-se na suposição de que o rio natural estaria emitindo a mesma quantidade de metano. No entanto, as emissões de metano a partir de um rio de fluxo livre são muito mais baixos do que os de reservatórios. Rios normalmente não se estratificam, especialmente nos trechos de correnteza rápida que são apropriados para a construção de usinas hidrelétricas.

O Documento de Concepção do Projeto (PDD) calcula um benefício total de 24.973.637 t CO<sub>2</sub>eq ao longo de 10 anos. (Ecopart, 2011, p. 34, Tabela 13), com base na brecha de um valor de zero ser permitido para as emissões de reservatório, caso que a densidade energética superior a 10 W/m<sup>2</sup>. Os proponentes afirmam que “Portanto, uma vez que a densidade energética do projeto é acima de 10 W/m<sup>2</sup>, não é necessário o cálculo das emissões do projeto.” (Ecopart, 2011, p. 34). Embora tal cálculo pode ser “não necessário”, os defensores poderiam

ter optado por fazer esse cálculo com base na melhor evidência disponível se tivesse querido fazê-lo.

A alegação de substituir quase 25 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente ao longo de dez anos representa 6,8 milhões de toneladas de carbono. Este “ar quente” irá contribuir para uma mudança climática maior, permitindo que os países que compram o crédito de carbono emitam mais gases. O dinheiro pago por esses créditos também enfraquece os esforços globais para conter a mudança climática por tirar fundos dos recursos sempre insuficientes disponíveis para a mitigação. O Brasil, como um dos países previstos para sofrer mais com as mudanças climáticas projetadas, perderá com tal arranjo. As quantidades de carbono envolvidas são significativas. Como uma indicação da escala, o bem conhecido programa brasileiro para a substituição de gasolina por etanol em automóveis de passageiros na década de 1990 foi calculado em ter deslocado 9,45 milhões de toneladas de carbono por ano (Reid & Goldemberg, 1998).

Sem citar quaisquer estudos de apoio, o Documento de Concepção do Projeto (PDD) afirma (Ecopart, 2011, p. 41), que: “Regras ambientais e políticas do processo de licenciamento são muito rígidas e seguem as melhores práticas internacionais”. A implicação é que os projetos de barragens no Brasil terão impactos ambientais e sociais mínimos que poderiam constranger os países que compram os créditos do MDL. No entanto, existe uma literatura substancial sobre as deficiências no sistema de licenciamento do Brasil (e.g., Fearnside & Barbosa, 1996; Fearnside, 2006b, 2007, 2011; Fearnside & Graça, 2006; Santos & Hernandez, 2009). No caso da Hidrelétrica de Teles Pires, em particular, os povos indígenas afetados fortemente protestaram os impactos e as falhas no processo de licenciamento (Kayabi & Munduruku, 2011). A barragem tem uma longa lista de impactos e problemas no seu licenciamento (International Rivers, 2012; Millikan, 2011; Monteiro, 2011a,b). Em 27 de março de 2012, o Ministério Público Federal obteve uma liminar interrompendo a construção pendente consulta com os povos indígenas afetados pela barragem (MPF, 2012). Embora essas liminares sejam, normalmente, de curta duração, devido à existência de juízes em tribunais de recurso que estão dispostos a derrubá-los, a suspensão da construção é uma indicação tanto da gravidade dos impactos da barragem como das insuficiências no licenciamento.

O Documento de Concepção do Projeto menciona uma “preocupação crescente” do Brasil com a sustentabilidade ambiental (Ecopart, 2011, p. 41). Seria lógico supor que isto deveria incluir a criação de “ar quente”. O projeto gera créditos de carbono sem um benefício verdadeiro para o clima de duas maneiras. Primeiro, ele é baseado na ficção de que a hidrelétrica terá zero de emissões, apesar de extensa evidência indicando que as barragens amazônicas têm grandes emissões, especialmente na primeira década, que é o horizonte de tempo do projeto. Em segundo lugar, o projeto não é “adicional”, como exige o Artigo 12 do Protocolo de Quioto, que criou o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Os projetos devem ganhar crédito somente se as reduções de emissões alegadas não fossem possíveis sem o financiamento do MDL. Neste caso, a barragem já estava financiada e em construção por empresas brasileiras na plena expectativa de lucrar com as vendas de energia elétrica, sem qualquer ajuda adicional do MDL. Nenhum dos 25 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente reivindicados é adicional.

## EMISSIONES DE HIDRELÉTRICAS E O IPCC

A inclusão de hidrelétricas nas diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para inventários nacionais sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) tem evoluído ao longo do tempo, mas o metano ainda é deixado de fora das informações obrigatórias do relatório. As diretrizes revistas de 1996 incluíram a liberação de estoques de carbono por florestas que são convertidas em “áreas úmidas” (incluindo reservatórios), com base na diferença no estoque de carbono entre os dois ecossistemas, mas a presunção é de que toda a liberação esteja na forma de CO<sub>2</sub> em vez de CH<sub>4</sub> (IPCC, 1997). As diretrizes do IPCC de 2003 sobre “boas práticas” incluíram um apêndice ao seu capítulo sobre zonas úmidas como uma «base para o desenvolvimento metodológico futuro» (IPCC, 2003, Apêndice 3a3). Isto sugere que seja incluído no Nível 1 (obrigatório) a contabilidade apenas das emissões da superfície do reservatório que ocorrem por meio de difusão e ebulição (bolhas) de CO<sub>2</sub>, e uma contabilidade das emissões de vertedouros e turbinas no Nível 2 (voluntário).

A revisão das orientações para os inventários nacionais, em 2006, mantém a limitação da informação exigida para as emissões de CO<sub>2</sub>, mas também inclui



um apêndice como uma “base para o desenvolvimento metodológico futuro”, que inclui o metano a partir de hidrelétricas na categoria “terra inundada que permanece inundada”. A equipe de autores, que incluiu um representante da ELETROBRÁS, enfraqueceu a futura metodologia proposta, em comparação com o seu antecessor nas “Diretrizes de Boas Práticas” de 2003, removendo informações que indicam maiores emissões e reduzindo a comunicação exigida: Nível 1 deve incluir apenas as emissões relativamente modestas que ocorrem por meios de difusão a partir da superfície do reservatório, embora os países poderiam voluntariamente relatar as emissões de ebulição das superfícies dos reservatórios no Nível 2, as principais emissões de metano a partir das turbinas poderia ser incluídas apenas no Nível 3, raramente utilizado (Duchemin *et al.*, 2006). Na reunião plenária do IPCC realizada em Mauritius, que aprovou as diretrizes de 2006, os diplomatas brasileiros tentaram, sem sucesso, remover por completo as emissões de reservatórios da seção sobre “terra inundada” (Earth Negotiations Bulletin, 2006; McCully, 2006, p. 19).

A influência brasileira tem sido fundamental na criação e ampliação das brechas no regulamento do MDL sobre crédito de carbono para hidrelétricas. O Painel de Metodologias do MDL (CDM Methodologies Panel, 2006) propôs considerar como nulas as emissões para os projetos com densidades energéticas acima de  $10 \text{ W/m}^2$  com base em um documento técnico interno elaborado por Marco Aurélio dos Santos e Luiz Pinguelli Rosa. Pinguelli Rosa, ex-presidente da ELETROBRÁS, tem defendido o valor de  $10 \text{ W/m}^2$  como critério desde antes do Protocolo de Quioto (Rosa *et al.*, 1996), contestado por (Fearnside, 1996) e há muito tempo afirmou que as barragens têm apenas pequenas emissões (Rosa *et al.*, 2004, 2006); contestada por (Fearnside, 2004, 2006c). Em fevereiro de 2006, o Conselho Executivo do MDL adotou o limite de  $10 \text{ W/m}^2$  para presumir emissões zero, e, a pedido do diretor do Conselho (José Domingos Miguez, que também era chefe do setor do Ministério da Ciência e Tecnologia responsável pelos inventários nacionais brasileiros de gases de efeito estufa, do UNFCCC), expandiu o crédito para as barragens que não atendam a  $10 \text{ W/m}^2$  além do que havia sido sugerido pelo Painel de Metodologias: redução de 5 para 4 a densidade energética mínima elegível para crédito de acordo com as regras e diminuindo de 100 para 90 g  $\text{CO}_2\text{-eq/kWh}$

a emissão presumida para barragens com densidade energética na faixa de  $4\text{--}10 \text{ W/m}^2$ .

Em 2011, o IPCC elaborou um relatório especial sobre energias renováveis que analisa as avaliações do ciclo de vida para várias tecnologias. Para o caso típico (ou seja, o percentil 50%), a energia hidrelétrica é classificada como tendo a metade ou menos do impacto das emissões de qualquer outra fonte, incluindo a solar, eólica e energia dos oceanos (IPCC, 2011, p. 982). A base desta classificação não está clara a partir do relatório: a tabela que apresenta os resultados descreve-os como “resultados agregados de revisão da literatura”, mas a bibliografia parece não conter nenhum estudo sobre as emissões de hidrelétricas. O relatório também afirma (Ecopart, 2011, p. 84), que “Ao considerar as emissões antrópicas líquidas, como a diferença no ciclo de carbono global entre as situações com e sem o reservatório, atualmente não há consenso sobre se os reservatórios são emissores ou sumidouros *líquidos*». No entanto, este conceito de “emissões antrópicas” só seria aplicável se as emissões fossem limitadas ao  $\text{CO}_2$ , ignorando o papel dos reservatórios na conversão de carbono em metano. Uma contabilidade completa das emissões, incluindo o metano, é necessária para ter comparações válidas sobre o impacto das diferentes fontes de energia.

## CONCLUSÕES

O crédito de carbono para a hidrelétrica de Teles Pires não é adicional, porque a barragem tinha sido contratada e a construção iniciada independente do financiamento do MDL.

A presunção de que a barragem não teria emissões de gases de efeito estufa é falsa, sendo que vários estudos indicam que as emissões de represas amazônicas são substanciais ao longo dos seus primeiros dez anos (o tempo de duração do projeto).

As normas do MDL necessitam de revisão urgente para eliminar a criação de “ar quente” (Reduções Certificadas de Emissões que não são adicionais) através de crédito para barragens.

Uma contabilidade completa das emissões de barragens hidrelétricas, incluindo o metano liberado da água que passa pelas turbinas e vertedouros, precisa ser exigida em diretrizes para inventários nacionais e em comparações do IPCC da energia hidrelétrica com outras fontes de energia.



## AGRADECIMENTOS

As pesquisas do autor são financiadas exclusivamente por fontes acadêmicas: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: Proc. 305880/2007-1, 304020/2010-9, 573810/2008-7, 575853/2008-5) e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA: PRJ13.03). Este é uma tradução atualizada de (Fearnside, 2013b). Agradeço ao P.M.L.A. Graça pelos comentários.

## LITERATURA CITADA

- Abril, G., F. Guérin, S. Richard, R. Delmas, C. Galy-Lacaux, P. Gosse, A. Tremblay, L. Varfalvy, M.A. dos Santos & B. Matvienko. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles* 19: GB 4007, doi: 10.1029/2005GB002457.
- Brasil, CIMC (Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima). 2008. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC -- Brasil*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, Brasil. 129 p. [http://www.mma.gov.br/estruturas/imprensa/\\_arquivos/96\\_01122008060233.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/imprensa/_arquivos/96_01122008060233.pdf).
- Brasil, MME (Ministério das Minas e Energia). 2013. Plano Decenal de Expansão de Energia 2022. MME, Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília, DF. 409 p. [http://www.epe.gov.br/PDEE/24102013\\_2.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/24102013_2.pdf)
- Brasil, PR (Presidência da República). 2011. Eixo Energia. [http://www.brasil.gov.br/2011/02/relatorios/2011-pac-2-2011-balanco-2-feixo-energia-2-fat-download-2-fife&ei=xSRIT-yfLcLm0QGJz\\_n9DQ&usg=AFQjCNFDXgdru2ZOV01y-0m4xASkEAegJg&cad=rja](http://www.brasil.gov.br/2011/02/relatorios/2011-pac-2-2011-balanco-2-feixo-energia-2-fat-download-2-fife&ei=xSRIT-yfLcLm0QGJz_n9DQ&usg=AFQjCNFDXgdru2ZOV01y-0m4xASkEAegJg&cad=rja).
- CDM Methodologies Panel. 2006. Draft thresholds and criteria for the eligibility of hydroelectric reservoirs as CDM projects. Report of the Nineteenth Meeting of the Methodologies Panel, Annex 10. UNFCCC, Bonn, Alemanha. [http://cdm.unfccc.int/Panels/meth/meeting/mp\\_06.html#019](http://cdm.unfccc.int/Panels/meth/meeting/mp_06.html#019)
- Delmas, R., S. Richard, F. Guérin, G. Abril, C. Galy-Lacaux, C. Delon & A. Grégoire. 2004. Long term greenhouse gas emissions from the hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) and potential impacts. p. 293-312. In: A. Tremblay, L. Varfalvy, C. Roehm & M. Garneau (eds.) *Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes. Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*. Springer-Verlag, New York, NY, E.U.A. 732 p.
- dos Santos, M.A., L.P. Rosa, B. Matvienko, E.O. dos Santos, C.H.E. D'Almeida Rocha, E. Sikar, M.B. Silva & M.P.B. Ayr Júnior. 2008. Emissões de gases de efeito estufa por reservatórios de hidrelétricas. *Oecologia Brasiliensis* 12(1): 116-129.
- Duchemin, É., J.T. Huttunen, A. Tremblay, R. Delmas & C.F.S. Menezes. 2006. Appendix 3. CH<sub>4</sub> emissions from flooded land: Basis for future methodological development. p. Ap.3.1-Ap3.8 In: S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe. (eds) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme Technical Support Unit, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japão, Paginação irregular. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_p\\_Ap3\\_WetlandsCH4.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_p_Ap3_WetlandsCH4.pdf)
- Duchemin, É., M. Lucotte, R. Canuel, A.G. Queiroz, D.C. Almeida, H.C. Pereira & J. Dezincourt. 2000. Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir with those of other reservoirs worldwide. *Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie* 27: 1-5.
- Earth Negotiations Bulletin. 2006. Summary of the 25th session of the Intergovernmental Panel on Climate Change: 26-28 April 2006. *Earth Negotiations Bulletin* 12(295): 3. <http://www.iisd.ca/download/pdf/enb12295e.pdf>
- Ecopart (Ecopart Assessoria em Negócios Empresariais Ltda.). 2011. Project design document form (CDM PDD) - Version 03. [http://cdm.unfccc.int/filestorage/G/Y/E/GYE0D3RQV8K9I4S1WCO2JTFHANLU7M/Teles\\_Pires\\_PDD\\_24012012.pdf?t=NUx8bHp4NjY2fD Cy286b2TU-8uLt2EV00sA6](http://cdm.unfccc.int/filestorage/G/Y/E/GYE0D3RQV8K9I4S1WCO2JTFHANLU7M/Teles_Pires_PDD_24012012.pdf?t=NUx8bHp4NjY2fD Cy286b2TU-8uLt2EV00sA6).
- Fearnside, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22(1): 7-19. doi: 10.1017/S0376892900034020. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/mss%20and%20in%20press/HYDRO-ghg-1995-port.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/HYDRO-ghg-1995-port.pdf)
- Fearnside, P.M. 1996. Hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: Response to Rosa, Schaeffer & dos Santos. *Environmental Conservation* 23(2): 105-108. doi: 10.1017/S0376892900038467.
- Fearnside, P.M. 2001. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation* 28(1): 23-38. doi: 10.1017/S0376892901000030 Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/2006/Soja-Amazonia%20500%20anos.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2006/Soja-Amazonia%20500%20anos.pdf)
- Fearnside, P.M. 2002a. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 133(1-4): 69-96. doi: 10.1023/A:1012971715668. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/mss%20and%20in%20press/tuc-ghg2-port.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/tuc-ghg2-port.pdf)
- Fearnside, P.M. 2002b. Avanço Brasil: Environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. *Environmental Management* 30(6): 748-763. doi: 10.1007/s00267-002-2788-2. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/2001/Avanca%20Brasil%20Consequencias%20Ambientais.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2001/Avanca%20Brasil%20Consequencias%20Ambientais.pdf)

- Fearnside, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source. *Climatic Change* 66(2-1): 1-8. doi: 10.1023/B:CLIM.0000043174.02841.23. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/mss%20and%20in%20press/springboard-port-inpa.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/springboard-port-inpa.pdf)
- Fearnside, P.M. 2005a. Brazil’s Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management* 35(1): 1-19. doi: 10.1007/s00267-004-0100-3. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/mss%20and%20in%20press/SAMUEL-EM-3-port-2.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/SAMUEL-EM-3-port-2.pdf)
- Fearnside, P.M. 2005b. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil’s Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10(4): 675-691. doi: 10.1007/s11027-005-7303-7. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/mss%20and%20in%20press/Curua-Una-Port-2.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/Curua-Una-Port-2.pdf)
- Fearnside, P.M. 2006a. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Reply to Rosa *et al.* *Climatic Change* 75(1-2): 103-109. doi: 10.1007/s10584-005-9016-z. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/mss%20and%20in%20press/Resposta%20a%20Rosa%20et%20al-port.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/Resposta%20a%20Rosa%20et%20al-port.pdf)
- Fearnside, P.M. 2006b. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil’s Hydroelectric Development of the Xingu River Basin. *Environmental Management* 38(1): 16-27. doi: 10.1007/s00267-005-00113-6. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/mss%20and%20in%20press/Belo\\_Monte\\_Ponta\\_de\\_lance.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/Belo_Monte_Ponta_de_lance.pdf)
- Fearnside, P.M. 2006c. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Reply to Rosa *et al.* *Climatic Change* 75(1-2): 103-109. doi: 10.1007/s10584-005-9016-z. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/mss%20and%20in%20press/Resposta%20a%20Rosa%20et%20al-port.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/Resposta%20a%20Rosa%20et%20al-port.pdf)
- Fearnside, P.M. 2007. Brazil’s Cuiabá-Santarém (BR-163) Highway: The environmental cost of paving a soybean corridor through the Amazon. *Environmental Management* 39(5): 601-614. doi: 10.1007/s00267-006-0149-2. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/2005/BR-163%20Torres%20book-carga%20pesada.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2005/BR-163%20Torres%20book-carga%20pesada.pdf)
- Fearnside, P.M. 2008. Hidrelétricas como “fábricas de metano”: O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. *Oecologia Brasiliensis* 12(1): 100-115. <http://www.ppgeologia.biologia.ufjf.br/oecologia/index.php/oecologiabrasiliensis/article/view/218/184>
- Fearnside, P.M. 2009. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. *Novos Cadernos NAEA* 12(2): 5-56. <http://www.periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/315/501>
- Fearnside, P.M. 2011. Gases de efeito estufa no EIA-RIMA da hidrelétrica de Belo Monte. *Novos Cadernos NAEA* 14(1): 5-19. <http://www.periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/596/848>
- Fearnside, P.M. 2013a. Credit for climate mitigation by Amazonian dams: Loopholes and impacts illustrated by Brazil’s Jirau Hydroelectric Project. *Carbon Management* 4(6): 681-696. doi: 10.4155/CMT.13.57 Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/mss%20and%20in%20press/Jirau-CDM-Port.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/Jirau-CDM-Port.pdf)
- Fearnside, P.M. 2013b. Carbon credit for hydroelectric dams as a source of greenhouse-gas emissions: The example of Brazil’s Teles Pires Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18(5): 691-699. doi: 10.1007/s11027-012-9382-6.
- Fearnside, P.M. & R.I. Barbosa. 1996. Political benefits as barriers to assessment of environmental costs in Brazil’s Amazonian development planning: The example of the Jatapu Dam in Roraima. *Environmental Management* 20(5): 615-630. doi: 10.1007/BF01204135. Versão em português disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/mss%20and%20in%20press/Jatapu-port.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/Jatapu-port.pdf)
- Fearnside, P.M. & P.M.L.A. Graça. 2006. BR-319: Brazil’s Manaus-Porto Velho Highway and the potential impact of linking the arc of deforestation to central Amazonia. *Environmental Management* 38(5): 705-716. doi: 10.1007/s00267-005-0295-y. Versão em português disponível em: <http://www.periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/viewFile/241/427>
- Forster, P. & 50 outros. 2007. Changes in Atmospheric Constituents and Radiative Forcing. p. 129-234. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 996 p.
- Galy-Lacaux, C., R. Delmas, C. Jambert, J.-F. Dumestre, L. Labroue, S. Richard & P. Gosse. 1997. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: A case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles* 11(4): 471-483.
- Galy-Lacaux, C., R. Delmas, J. Kouadio, S. Richard & P. Gosse. 1999. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles* 13(2): 503-517.
- Guérin, F., G. Abril, S. Richard, B. Burban, C. Reynouard, P. Seyler & R. Delmas. 2006. Methane and carbon dioxide emissions from tropical reservoirs: Significance of downstream rivers. *Geophysical Research Letters* 33: L21407, doi: 10.1029/2006GL027929.
- Guérin, F., G. Abril, A. Tremblay & R. Delmas. 2008. Nitrous oxide emissions from tropical hydroelectric reservoirs. *Geophysical Research Letters* 35: L06404, doi: 10.1029/2007GL033057.
- Gunkel, G. 2009. Hydropower – A green energy? Tropical reservoirs and greenhouse gas emissions. *CLEAN – Soil, Air, Water* 37(9): 726-734. doi: 10.1002/clen.200900062.
- International Rivers. 2012. The global CDM hydro hall of shame. International Rivers, Berkeley, Califórnia, E.U.A.. <http://www.internationalrivers.org/resources/hydro-cdm-hall-of-shame-7465>

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1997. *Revised 1996 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y.Y. Bonduki, D.J. Griggs & B.A. Callender (eds.), IPCC, Bracknell, Reino Unido, 3 vols: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. *IPCC Good Practice Guidance for LULUCF*. Appendix 3a.3 Wetlands Remaining Wetlands: Basis for future methodological development. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japão, paginação irregular. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp\\_lulucf/gp\\_lulucf\\_contents.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp_lulucf/gp_lulucf_contents.html)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2011. *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. O. Edenhofer, R.P. Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Eickemeier, P. Matschoss, G. Hansen, S. Kadner, S. Schlomer, T. Zwickel & C. von Stechow (eds), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 1.075 p. [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_full_report.pdf)
- Kayabi, Apiaká & Munduruku. 2011. Manifesto Kayabi, Apiaká e Munduruku contra os aproveitamentos hidrelétricos no Rio Teles Pires. Aldeia Kururuzinho Terra Indígena Kayabi, Alta Floresta, Mato Grosso, Brasil. 9 p. <http://www.internationalrivers.org/files/manifesto%20kayabi-mundurucu-apiaca-dez2011.pdf>
- Kemenes, A., B.R. Forsberg & J.M. Melack. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters* 34: L12809. doi: 10.1029/2007GL029479. 55.
- Kemenes, A., B.R. Forsberg & J.M. Melack. 2008. As hidrelétricas e o aquecimento global. *Ciência Hoje* 41(145): 20-25.
- Kemenes, A., B.R. Forsberg & J.M. Melack. 2011. CO<sub>2</sub> emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). *Journal of Geophysical Research* 116, G03004, doi: 10.1029/2010JG001465.
- McCully, P. 2006. *Fizzy Science: Loosening the Hydro Industry's Grip on Greenhouse Gas Emissions Research*. International Rivers Network, Berkeley, California, E.U.A. 24 p. <http://www.irn.org/pdf/greenhouse/FizzyScience2006.pdf>
- Millikan, B. 2011. Dams and Hidrovias in the Tapajos Basin of Brazilian Amazonia: Dilemmas and Challenges for Netherlands-Brazil relations. International Rivers Technical Report. International Rivers, Berkeley, Califórnia, E.U.A. 36 p. [http://www.bothends.org/uploaded\\_files/inlinetitem/41110615\\_Int\\_Rivers\\_report\\_Tapajos.pdf](http://www.bothends.org/uploaded_files/inlinetitem/41110615_Int_Rivers_report_Tapajos.pdf)
- Millikan, B. 2012. Comments to PJRCS on the Teles Pires Hydropower Project (Brazil). <http://www.internationalrivers.org/node/7188>.
- Monteiro, T. 2011a. Três hidrelétricas ameaçam indígenas no rio Teles Pires. 22 de agosto de 2011. <http://telmadmonteiro.blogspot.com/2011/08/tres-hidretricas-ameacam-indigenas-no.html>.
- Monteiro, T. 2011b. Hidrelétricas ameaçam indígenas Munduruku na bacia do rio Teles Pires (Parte II). 26 de agosto de 2011. <http://telmadmonteiro.blogspot.com/2011/08/hidretricas-ameacam-indigenas.html>.
- MPF (Ministério Público Federal). 2012. MP pede suspensão do licenciamento e obras da usina de Teles Pires por falta de consulta a indígenas. MPF, Belém, Pará, Brasil. <http://www.prpa.mpf.gov.br/news/2012/mp-pede-suspensao-do-licenciamento-e-obras-da-usina-de-teles-pires-por-falta-de-consulta-a-indigenas>
- Myhre, G. & 37 outros. 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. p. 661-740. In: T.F. Stocker & 9 outros (eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Ometto, J.P., F.S. Pacheco, A.C.P. Cimbleis, J.L. Stech, J.A. Lorenzetti, A. Assireu, M.A. Santos, B. Matvienko, L.P. Rosa, C.S. Galli, D.S. Abe, J.G. Tundisi, N.O. Barros, R.F. Mendonça & F. Roland. 2011. Carbon dynamic and emissions in Brazilian hydropower reservoirs. p. 155-188. In: E.H. de Alcantara (ed.). *Energy Resources: Development, Distribution, and Exploitation*. Nova Science Publishers, Hauppauge, New York, E.U.A. 241 p.
- Pueyo, S. & P.M. Fearnside. 2011. Emissões de gases de efeito estufa dos reservatórios de hidrelétricas: Implicações de uma lei de potência. *Oecologia Australis* 15(2): 114-127. doi: 10.4257/oeco.2011.1502.02. <http://www.oecologiaaustralis.org/ojs/index.php/oa/article/download/oeco.2011.1502.2/514>
- Reid, W.V. & J. Goldemberg. 1998. Developing countries are combating climate change: Actions in developing countries that slow growth in carbon emissions. *Energy Policy* 26(3): 233-237.
- Rosa, L.P., M.A. dos Santos, B. Matvienko, E.O. dos Santos & E. Sikar. 2004. Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions. *Climatic Change* 66(1-2): 9-21.
- Rosa L.P., M.A. dos Santos, B. Matvienko, E. Sikar & E.O. dos Santos. 2006. Scientific errors in the Fearnside comments on greenhouse gas emissions (GHG) from hydroelectric dams and response to his political claiming'. *Climatic Change* 75(1-2): 91-102. doi: 10.1007/s10584-005-9046-6.
- Rosa, L.P., M.A. dos Santos, J.G. Tundisi & B.M. Sikar. 1997. Measurements of greenhouse gas emissions in Samuel, Tucuruí and Balbina Dams. In: L.P. Rosa & M.A. dos Santos (eds.) *Hydropower Plants and Greenhouse Gas Emissions*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brasil. p. 41-55.
- Rosa, L.P., R. Schaeffer & M.A. dos Santos. 1996. Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of 'greenhouse' gases? *Environmental Conservation* 23(2): 2-6.
- Schimel, D. & 75 outros. 1996. Radiative forcing of climate change. p. 65-131 In: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callender, N. Harris, A. Kattenberg & K. Maskell (eds.) *Climate Change*

1995: *The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 572 p.

Santos, S.M.S.B.M. & F.M. Hernandez (eds.). 2009. *Painel de Especialistas: Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte*. Painel de Especialistas sobre a Hidrelétrica de Belo Monte, Belém, Pará, Brasil. 230 p. [http://www.internationalrivers.org/files/Belo%20Monte%20pareceres%20IBAMA\\_online%20\(3\).pdf](http://www.internationalrivers.org/files/Belo%20Monte%20pareceres%20IBAMA_online%20(3).pdf).

UNEP (United Nations Environment Programme). 2014. Riso e CDM/JI pipeline analysis and database: <http://cdmpipeline.org/> Dados atualizados por UNEP em 01 de julho de 2014; acessado em 30 de julho de 2014.

WCD (World Commission on Dams). 2000. *Dams and Development: A New Framework for Decision Making*. Earthscan, London, Reino Unido. 404 p. [http://www.dams.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=49&Itemid=29](http://www.dams.org/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=29).



# Capítulo 23



## **A Hidrelétrica de Teles Pires: O Enchimento e a morte de peixes**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Adaptação de:

Fearnside, P.M. 2014-2015. A Hidrelétrica de Teles Pires. *Amazônia Real*, 22 de dezembro de 2014; 05 de janeiro de 2015; 12 de janeiro de 2015. <http://amazoniareal.com.br/a-hidreletrica-de-teles-pires-1-desmatamento-e-limpeza/> ; <http://amazoniareal.com.br/a-hidreletrica-de-teles-pires-2-rebrota-da-biomassa/> ; <http://amazoniareal.com.br/a-hidreletrica-de-teles-pires-3-morte-de-peixes/>

A Hidrelétrica de Teles Pires, localizada na divisa entre Pará e Mato Grosso na bacia do rio Tapajós, recebeu Licença de Operação do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) em 19 de novembro de 2014 (IBAMA, 2014a). Isto ocorreu uma semana depois que uma “suspensão de segurança” neutralizou, em 12 de novembro, uma sentença judicial que havia paralisado a obra devido a violação dos direitos de povos indígenas na área (Palmquist, 2014). O enchimento do reservatório e a operação da usina ainda não aconteceram, pois a linha de transmissão não está pronta. Entre as diversas polêmicas acerca da aprovação da Licença de Operação está a dúvida de se o desmatamento e “limpeza” da área do futuro reservatório foram adequados para manter a qualidade da água em níveis que evitariam graves impactos. Se grandes quantidades de folhas e outro material vegetal mole forem submersos, a decomposição deste material removeria o oxigênio da água. Isto resultaria na morte de peixes que, além da sua importância como biodiversidade, representam uma fonte fundamental de sustento econômico e alimentar para a população local, inclusive povos indígenas. Água sem oxigênio também leva à formação de metano, um potente gás de efeito estufa que mina as vantagens alegadas no já aprovado projeto de crédito de carbono para a hidrelétrica de Teles Pires (Fearnside, 2013).

O reservatório de Teles Pires inundará trechos de dois rios (Teles Pires e Paranaíta) e a foz de vários afluentes menores desses rios (Figura 1). O rio Paranaíta tem vazão menor que o rio Teles Pires, implicando em mais tempo de reposição da água e em uma qualidade de água pior. Portanto, o programa de desmatamento e limpeza dá ênfase no rio Paranaíta, além da foz de afluentes menores do rio Teles Pires. O programa de desmatamento e limpeza do reservatório é descrito em um relatório da CHTP (Companhia Hidrelétrica Teles Pires) de junho de 2014 (CHTP, 2014a). O desmatamento começou em 2013 e era projetado para terminar em outubro de 2014. À época do relatório da empresa (junho de 2014), apenas duas áreas foram relatadas como já desmatadas, totalizando 1.040 ha (Tabela 1). Estas correspondem às áreas em vermelho e em cor de rosa na Figura 1. O total dos lotes distribuídos para empresas para desmatamento era 5.083,42 ha (Tabela 1). A área total do reservatório com o nível da água máximo normal (a 220 m acima no nível do mar) é de 13.546,54 ha, dos quais 4.060,00

ha é oficialmente considerado parte do leito do rio, deixando 9.486,54 ha de terra inundada (Ecopart, 2011). Parte da área considerada como “leito do rio” poderia ter floresta de várzea, o que aumentaria a área que precisaria de “limpeza” se for retirar toda a vegetação a ser morta pelo reservatório. Por outro lado, parte da área de floresta original já foi desmatada por grandes fazendas de pecuária, sobretudo na margem direita do rio Teles Pires. Presumindo que toda a área distribuída para empresas para desmatamento foi, de fato, desmatada, o total de 5.083,42 ha corresponde a aproximadamente metade da área de vegetação inundada pela represa. Um cálculo feito pelo Instituto Centro de Vida a partir de uma imagem de satélite de setembro de 2014 indica que ainda havia 6.401 ha de floresta não desmatada na área a ser inundada (ICV, 2014).

O parecer do IBAMA de agosto de 2014 menciona que funcionários do IBAMA visitaram a área em julho de 2014 e viram o desmatamento em andamento (IBAMA, 2014b, p. 13). Isto implica que o relatório da empresa de junho de 2014 está incompleto, e que mais desmatamento foi feito do que está listado no relatório (Tabela 1). No entanto, o parecer do IBAMA menciona que grande parte da floresta desmatada tinha sido derrubada há pelo menos 6-7 meses e que essas áreas estavam regenerando como “juquira” (vegetação secundária). Isto sugere que a vegetação no momento da inundação do reservatório irá conter bastante biomassa verde. Simulações da empresa presumem que esta biomassa (que contém carbono lábil) será de 50% do valor referente à floresta original. No entanto, a quantidade pode ser maior. O carbono lábil removido é necessariamente incompleto, particularmente para as folhas caídas (que, além do seu estoque natural, também contém muitas folhas que caem das árvores durante e depois do processo de derrubada). Além disso, o carbono lábil no solo não é removido sob o programa de desmatamento e limpeza, mas constitui parte do estoque de carbono que está sujeito à decomposição quando inundado. A recuperação da biomassa de folhas na vegetação secundária jovem é mais rápida do que a recuperação de biomassa de madeira. Infelizmente, dados sobre a biomassa de folhas em vegetação secundária jovem estão indisponíveis. Um estudo realizado em Manaus mostrou que uma floresta secundária de 14 anos recuperou 45,9% de 9,8 t/ha de peso seco das folhas da floresta original na área, enquanto uma floresta secundária de 23 anos recuperou 72,4% (Silva, 2007, p. 62, 66, 71).

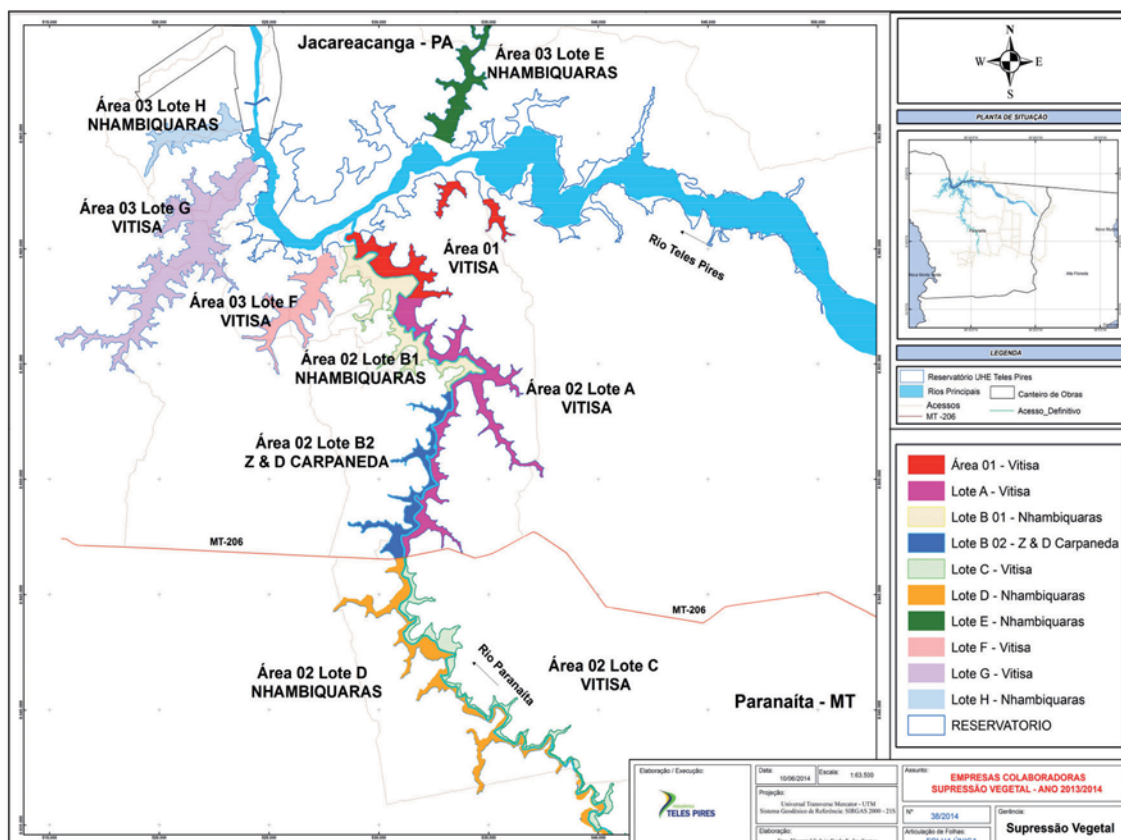


Figura 1. Distribuição das empresas executoras por área e lotes nas áreas 1, 2 e 3  
Fonte: CHTP, 2014a, p. 11.

Tabela 1. Áreas do programa desmatamento e limpeza

Área <sup>a</sup>	Extensão (ha)	Situação em junho de 2014	Fonte
Área 1	428,00	Todo desmatado entre fev. 2013 e jan. 2014	CHTP, 2014a, p. 28
Área 2, Lote A	612,00	Todo desmatado entre fev. 2013 e jan. 2014	CHTP, 2014a, p. 11
Área 2, Lote B1	624,00	Nenhum desmatamento reportado	CHTP, 2014a, p. 10
Área 2, Lote B2	348,00	Nenhum desmatamento reportado	CHTP, 2014a, p. 10
Área 2, Lote C	619,00	Nenhum desmatamento reportado	CHTP, 2014a, p. 10
Área 2, Lote D	764,00	Nenhum desmatamento reportado	CHTP, 2014a, p. 10
Área 3, Lote F	452,87	Nenhum desmatamento reportado	CHTP, 2014a, p. 11
Área 3, Lote H	208,44	Nenhum desmatamento reportado	CHTP, 2014a, p. 11
Área 3, Lote E	330,45	Nenhum desmatamento reportado	CHTP, 2014a, p. 11
Área 3, Lote G	1.123,17	Nenhum desmatamento reportado	CHTP, 2014a, p. 11
“Áreas pontuais, a definir”	329,49	Nenhum desmatamento reportado	CHTP, 2014a, p. 11
<b>Total</b>	<b>5.839,42</b>		

<sup>a</sup>Áreas identificadas na Figura 1.

O programa de desmatamento e limpeza inclui remoção de toras de madeira (> 45 cm de diâmetro à altura do peito) e remoção de madeira de menor diâmetro para lenha. Essas remoções envolvem um esforço considerável e ocupam a maior parte do relatório da empresa sobre o programa (CHTP, 2014a). No entanto, apesar de seu valor social, estas remoções têm pouco benefício para evitar a formação de água anóxica e a mortalidade de peixes. A madeira contém lignina e decompõe-se muito lentamente embaixo da água. Por exemplo, árvores inundadas pelo reservatório de Tucuruí em 1984 ainda são atraentes para as empresas para exploração. A biomassa mole, como folhas e serrapilheira, representa o componente crítico para a qualidade da água após a inundação. O programa de desmatamento e limpeza inclui o transporte da biomassa mais fina em caminhões de lixo, com o material sendo espalhado em uma camada grossa de 60 cm em locais fora do futuro reservatório. Nas duas áreas onde a remoção é relatada no relatório (Tabela 1), isto foi feito imediatamente após a remoção das toras e da lenha. Evidentemente, haverá muito mais biomassa verde presente no momento da inundação.

O parecer do IBAMA tem um tom de fatalidade com relação à mortandade de peixes. O parecer relata os resultados de simulações realizadas pelos proponentes (CHTP, 2014b, citado por IBAMA, 2014b) indicando que, após o enchimento, com exceção do período de maior vazão (janeiro, fevereiro e março), a água seria estratificada e essencialmente sem oxigênio em todas as partes do lago analisadas (IBAMA, 2014b,c). Em seguida, o parecer menciona que poderia ser considerado o uso de areadores para oxigenar a água e/ou poderia capturar e realocar os peixes. No entanto, ressalva que essas sugestões “são meras conjecturas que podem não se demonstrarem serem as mais viáveis devendo o empreendedor estruturar a melhor decisão verificada” (IBAMA, 2014b, p. 15). De fato, estas medidas seriam extremamente caras, além de ter pouca probabilidade de evitar uma mortandade substancial. Aeradores [máquinas para agitar a água e aumentar o contato com o ar], por exemplo, foram usados em um esforço, já suspenso, para diminuir a falta de oxigênio no lago de Pampulha em Belo Horizonte, mas esse lago é minúsculo quando comparado ao reservatório de Teles Pires. A captura e transporte de populações inteiras de peixes seria uma tarefa monumental e, mesmo se bem sucedida, não resolveria o problema das populações humanas que dependem dos peixes nos

locais onde estão atualmente. O parecer da FUNAI, emitido em 18 de novembro de 2014, um dia antes da emissão da licença de operação, menciona que o programa de compensação referente à ictiofauna só chegou à FUNAI em 24 de outubro, e que parte das condicionantes nas licenças prévia e de instalação “não foram plenamente atendidas”, e pede que “em caso de emissão de Licença de Operação” essas condicionantes devem ser cumpridas (FUNAI, 2014). O parecer do IBAMA recomenda que a empresa hidrelétrica escolha locais apropriados para cavar valas para enterrar grandes quantidades de peixes mortos (IBAMA, 2014b, p. 15).

O reservatório foi enchido em dezembro de 2014 e janeiro de 2015. As árvores não foram todas removidas, como mostrou uma série de fotografias aéreas tiradas de um sobrevoo do lago feito pelo site *Olhar Direto* (Alves, 2015a, b). Relatos locais indiquem mortalidade de peixes, mas não há quantificação.

## LITERATURA CITADA

- Alves, A. 2015a. Hidrelétrica Teles Pires começa encher reservatório sem terminar a supressão vegetal; veja fotos. *Olhar Direto*, 18 de janeiro de 2015. <http://www.olhardireto.com.br/noticias/imprime.asp?id=387933>
- Alves, A. 2015b. Pesquisador alerta para a mortandade de ‘toneladas’ de peixes na UHE Teles Pires. *Olhar Direto*, 19 de janeiro de 2015. [http://www.olhardireto.com.br/noticias/exibir.asp?noticia=Pesquisador\\_ale...](http://www.olhardireto.com.br/noticias/exibir.asp?noticia=Pesquisador_ale...)
- CHTP (Companhia Hidrelétrica Teles Pires). 2014a. *Projeto Básico Ambiental UHE Teles Pires. P.03 – Programa de Desmatamento e limpeza do Reservatório e das Áreas Associadas a Implantação do Projeto. Relatório Consolidado*. [junho de 2014] CHTP, Paranaíta, Mato Grosso. 56 p. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Teles%20Pires/RELAT%C3%93RIOS%20SEMESTRAS/Relat%C3%B3rio%20Consolidado/PROG%20VINC%20OBRA/P.03%20RESERVAT%C3%93RIO/CHTP%20RC01%20P.03%2006-2014.pdf>
- CHTP (Companhia Hidrelétrica Teles Pires). 2014b. *Prognóstico da Qualidade da Água do Reservatório da UHE Teles Pires – Novos Cenários de Enchimento*. TP-004/2014 [03/06/2014] CHTP, Paranaíta, Mato Grosso.
- Ecopart (Ecopart Assessoria em Negócios Empresariais Ltda.). 2011. Project design document form (CDMPDD)—Version 03. Disponível em: [http://cdm.unfccc.int/filestorage/G/Y/E/GYE0D3RQV8K9I4S1WCO2JTFHANLU7M/Teles\\_Pires\\_PDD\\_24012012.pdf?t0NUx8bHp4NjY2fDCy286b2TU-8uLt2EV00sA6](http://cdm.unfccc.int/filestorage/G/Y/E/GYE0D3RQV8K9I4S1WCO2JTFHANLU7M/Teles_Pires_PDD_24012012.pdf?t0NUx8bHp4NjY2fDCy286b2TU-8uLt2EV00sA6)
- Fearnside, P.M. 2013. Carbon credit for hydroelectric dams as a source of greenhouse-gas emissions: The example of Brazil’s Teles Pires Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for*



- Global Change* 18(5): 691-699. doi: 10.1007/s11027-012-9382-6; ver versão em Português em: <http://philip.inpa.gov.br>
- FUNAI (Fundação Nacional do Índio). Ofício No. 860 /20I4IPRES/FUNAI-MJ. Assunto: UHE Teles Pires - componente indígena. 18 de novembro de 2014. FUNAI, Brasília, DF. 2 p.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2014a. Licença de operação 1272/2014. [19 de novembro de 2014]. IBAMA, Brasília, DF. Disponível em: [http://6ccr.pgr.mpf.mp.br/documentos-e-publicacoes/clipping/28\\_11\\_2014](http://6ccr.pgr.mpf.mp.br/documentos-e-publicacoes/clipping/28_11_2014)
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2014b. PAR. 02001.003167/2014-51 COHID/IBAMA. Assunto: Análise dos Estudos de Modelagem Matemática da Qualidade de Água apresentados para o enchimento do reservatório da UHE Teles Pires. [07 de agosto de 2014] Coordenação de Energia Hidrelétrica, IBAMA, Brasília, DF. 21 p.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2014c. PAR. 02001.004485/2014-30 COHID/IBAMA. Assunto: Análise do atendimento às condicionantes da Licença de Instalação nº 818/2011 e dos itens do Ofício 830/2011, e do cumprimento do Projeto Básico Ambiental (PBA) da UHE Teles Pires, durante a fase de instalação. [07 de novembro de 2014]. Coordenação de Energia Hidrelétrica, IBAMA, Brasília, DF. 243 p.
- ICV (Instituto Centro da Vida). 2014. Remanescente de floresta na área a ser inundada pela UHE Teles Pires. ICV, Cuiabá, Mato Grosso. 1 p.
- Palmquist, H. 2014. Usina Teles Pires: Justiça ordena parar e governo federal libera operação, com base em suspensão de segurança. *Ponte* 27 de novembro de 2014. <http://ponte.org/usina-teles-pires-justica-ordena-parar-e-governo-federal-libera-operacao-com-base-em-suspensao-de-seguranca/>
- Silva, R.P. da. 2007. *Alometria, Estoque e Dinâmica da Biomassa de Florestas Primárias e Secundárias na Região de Manaus (AM)*. Tese de doutorado em ciências de florestas tropicais. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. 152 p. Disponível em: [https://www.inpa.gov.br/arquivos/Tese\\_Biomassa\\_Roseana\\_Silva.pdf](https://www.inpa.gov.br/arquivos/Tese_Biomassa_Roseana_Silva.pdf)



# Capítulo 24

---

## **A Hidrelétrica de São Luiz do Tapajós: A arte de EIAs cosméticos**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2015. Brazil's São Luiz do Tapajós Dam: The art of cosmetic environmental impact assessments.  
Water Alternatives 8(3): 373-396

## RESUMO

A barragem planejada de São Luiz do Tapajós é uma parte fundamental de um plano massivo do governo brasileiro para hidrelétricas e hidrovias na bacia do Tapajós e em outros afluentes do Rio Amazonas. O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para a represa proposta ilustra a fragilidade de proteções contra impactos socioeconômicos, que representam consequências subconsideradas desta e de outras barragens planejadas tanto na Amazônia como em outras partes do mundo. EIAs devem fornecer informações para subsidiar decisões sobre projetos de desenvolvimento, mas na prática, como no caso considerado aqui, esses estudos tendem a se tornar meras formalidades no processo de legalizando de decisões que já foram tomadas na ausência de informação e de consideração dos impactos do projeto. O EIA para São Luiz do Tapajós, como é comum, tem uma tendência a minimizar ou ignorar impactos significativos. A perda dos recursos pesqueiros, um recurso fundamental para o povo indígena Munduruku e para os ribeirinhos tradicionais, é provável, mas o EIA afirma que há “baixa expectativa de que altere significativamente as condições naturais dos ambientes aquáticos”. A destruição de locais sagrados dos Mundurukus é simplesmente ignorada. A prioridade do governo brasileiro para a represa resultou no bloqueio da criação da Terra Indígena Sawré Muybu para os Mundurukus que vivem em parte da área a ser inundada, bem como bloquear a criação de outras terras indígenas em toda a Amazônia brasileira. Com exceção de uma única comunidade reconhecida legalmente (Montanha e Mangabal), ribeirinhos não são considerados como “povos tradicionais”. Mesmo a comunidade reconhecida não é considerada para precisar do consentimento livre, prévio e informado. O caso de São Luiz do Tapajós ilustra problemas na tomada de decisões no Brasil e em muitos outros países.

## INTRODUÇÃO: BARRAGENS DO TAPAJÓS E EIAs NO BRASIL

A bacia do Rio Tapajós é a mais recente e mais ativa “fronteira hidrelétrica” do Brasil. A implicação do “velho-oeste” deste termo não é desmerecida. Além da hidrelétrica de São Luiz do Tapajós, duas outras grandes barragens estão planejadas nesse rio (as barragens de Jatobá e Chacorão), e 40 outras em seus afluentes: quatro no Rio Jamanxim, seis no Teles Pires e 30 no Juruena e seus afluentes (ver Fearnside, 2014c).

As hidrelétricas são notórias por infligir pesados impactos sociais e econômicos (ver WCD, 2000). Estes são, geralmente, muito maiores do que os provocados por outras formas de fornecimento de energia ou para o equivalente de conservação de energia. A atração por barragens vem dos seus supostos custos mais baixos. No entanto, um padrão praticamente universal de custos muito maiores do que os orçamentos originais e de atrasos das obras fazem com que essa economia seja ilusória, como foi mostrado por uma extensa revisão mundial (Ansar et al., 2014). Além disso, somente os custos monetários são considerados, e barragens seriam ainda menos atraentes se os impactos sociais e ambientais tivessem peso adequado nas decisões iniciais. Se o EIA incluísse uma avaliação profunda dos impactos socioeconômicos, seria uma contribuição importante para a tomada de decisões mais racionais no desenvolvimento de energia. Infelizmente, o padrão visto nessas avaliações é de minimizar, ignorar ou negar impactos socioeconômicos, e o EIA de São Luiz do Tapajós não é nenhuma exceção, como será mostrado neste artigo.

O processo de licenciamento no Brasil inclui uma série de etapas, uma delas é o Estudo de Impacto Ambiental (EIA). A agência ambiental federal (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA) participa desse processo por meio de uma “notificação de intenção”, enviada pelo proponente do projeto. Ao receber essa notificação o IBAMA prepara um termo de referência, especificando os requisitos para o EIA. A Fundação Nacional do Índio (FUNAI) produz um termo de referência para o componente indígena do EIA quando esse órgão determina que projeto afeta uma área indígena. Normalmente, o EIA é elaborado por uma empresa de consultoria, que contrata biólogos, antropólogos e outros profissionais como consultores para coletar os dados necessários para a construção desse documento pela empresa de consultoria. Uma versão menor e não-técnica, chamada de “RIMA” (Relatório de Impacto Ambiental), também é preparada para distribuição mais ampla e para uso na discussão pública. Uma série de audiências públicas é realizada nas áreas afetada onde o conteúdo do RIMA é apresentado e discutido. Teoricamente, se consultas com povos indígenas e tradicionais fossem realizadas, como é especificado pela Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT), seguindo o conceito de Consentimento Livre, Prévio e Informado,



estas também ocorreriam nesta etapa do processo. O IBAMA e a FUNAI, após as audiências públicas (e as consultas, se houver), solicitam as alterações necessárias no EIA e no RIMA, e, após as alterações terem sido atendidas, o IBAMA emite a Licença Prévia (LP). A licença prévia pode ser emitida com uma lista de “condicionantes”, todas as quais devem ser atendidas antes que a Licença de Instalação (LI) seja emitida. Após a licença prévia, um Plano Básico Ambiental (PBA) é preparado pela empresa de consultoria, esse documento propõe medidas de mitigação dos impactos e inclui contribuições feitas nas audiências pelas comunidades afetadas. A FUNAI e o IBAMA podem solicitar revisões do PBA; o IBAMA emite a licença de instalação, permitindo o início da construção, apenas quando as alterações solicitadas nessa revisão são atendidas e as condicionantes estabelecidas na licença prévia observadas. Durante a construção da obra o proponente implementa as medidas de mitigação especificadas no PBA. O IBAMA, avalia se estas medidas foram efetivas e, caso positivo, emite uma Licença de Operação (LO). O exemplo recente da represa de Belo Monte ilustra um padrão de construtores de barragem ignorando essas “condicionantes” sem sofrer quaisquer consequências significativas (FGV, 2014; ISA, 2014). A Licença de Operação permite o enchimento do reservatório.

Infelizmente, na prática os passos nesta sequência estabelecida por lei têm sido abreviados em diversos ocasiões por reguladores, sob pressão política, e as violações das proteções legais acabam sendo permitidas a permanecer como fatos consumados inalterados, por meio de decisões judiciais que invocam disposições de “suspensão de segurança” decretadas durante a ditadura militar (1964-1985), mas ainda presentes na legislação do País (Fearnside, 2015a). As “suspensões de segurança” já foram usadas 12 vezes para derrubar liminares contra as barragens do rio Tapajós, ou seja, ainda mais que os oito usos no caso da represa de Belo Monte (Palmquist, 2014).

Os EIAs no Brasil têm evoluído constantemente ao longo dos anos, desde que esses documentos se tornaram obrigatórios em 1986, com as exigências da agência reguladora resultando em relatórios com maiores detalhes, adicionando tópicos e padronizando a organização (Landim & Sánchez, 2012). No entanto, os problemas fundamentais que afetam a objetividade dos EIAs permanecem inalterados: os relatórios são preparados por consultorias contratadas pelos proponentes do projeto, e, antes dos

relatórios serem apresentados à autoridade de licenciamento, seu conteúdo é sujeito tanto à habilitação explícita pelos proponentes como ao efeito mais sutil da autocensura pelos autores e editores individuais, contratados pela empresa de consultoria. Produzir EIAs é uma atividade comercial onde a aprovação rápida e segura é a chave para o avanço profissional e para os contratos futuros.

Outra característica fundamental que não evoluiu é o momento do EIA dentro do cronograma do processo geral de planejamento e tomada de decisões. Na prática (ao contrário do que é estabelecido juridicamente), as decisões sobre os grandes projetos de infraestrutura são feitas por um grupo pequeno de autoridades de alto nível antes de existir qualquer estudo sobre os impactos ambientais e sociais, e antes de qualquer informação oriunda das populações locais. Os processos subsequentes de produzir o EIA, realizar as audiências públicas, etc., servem para legalizar a decisão inicial, sujeito apenas a ajustes nos detalhes de execução e mitigação, mas não sujeito a questionamentos da sabedoria do projeto global (ver exemplos em Fearnside, 2007, 2013, 2014a,b; Fearnside & Graça, 2009).

Os direitos humanos representam uma área com presença crescente em EIAs no Brasil (Hanna & Varclay, 2013; Hanna et al., 2014) e em todo o mundo (Boele & Crispin, 2013). O mais importante para que a inclusão desse tema nos EIAs tenha efeitos concretos é a interpretação do “Consentimento Livre, Prévio e Informado”, um conceito que tem sido objeto de debate entre as diferentes agências e especialistas (Kemp & Vanclay, 2013). A existência desse desacordo fornece uma desculpa conveniente para que atores como o governo brasileiro e a indústria de EIAs no Brasil ignoraram a obrigação de obter Consentimento Livre, Prévio e Informado, com base na justificativa de estar esperando que as “controvérsias” sejam resolvidas. São evidentes os paralelos históricos com as supostas controvérsias que foram usadas para evitar ação governamental sobre questões tais como a provocação de câncer pelo fumo do cigarro, a depleção do ozônio na estratosfera e o aquecimento global (Oreskes & Conway, 2010).

Todos os problemas mencionados acima são ilustrados pelo EIA da usina hidrelétrica de São Luiz do Tapajós. A falta de objetividade nos EIAs de barragens brasileiras é evidente a partir de casos anteriores, tais como Belo Monte (Santos & Hernandez, 2009) e as barragens do rio Madeira

(Fearnside, 2013, 2014a). Cada barragem tem diferentes aspectos que se destacam. No EIA de São Luiz do Tapajós, o tratamento dos impactos socioeconômicos é uma área-chave, particularmente os impactos sobre povos indígenas e moradores ribeirinhos tradicionais. Neste caso, os impactos sobre os povos indígenas incluem o deslocamento de população, o bloqueio da criação de novas áreas indígenas em todo o Brasil, a perda de peixes e outros recursos do rio e a perda de locais sagrados. As lições que podem ser aprendidas a partir do caso de São Luiz do Tapajós têm valor para melhorar os processos de decisão, tanto no Brasil quanto em outros países onde existem desafios semelhantes.

## POVOS INDÍGENAS

### A. Deslocamento de população

Dentre os impactos da hidrelétrica de São Luiz do Tapajós é o deslocamento dos indígenas mundurukus que tradicionalmente habitam as margens do Rio Tapajós. O EIA (CNEC Worley Parsons Engenharia, S.A., 2014a, doravante referido simplesmente como “EIA”) enfatiza uma lei da ditadura militar:

*“Oportuno ressaltar que a União poderá intervir em área indígena para a realização de obras públicas que interessem ao desenvolvimento nacional” (EIA, Vol. 2, p. 85, citando Lei Federal No. 6.001/1973, Art. 20, Parágrafo 1º, alínea “d”).*

Em vez disso, poderia ter enfatizado as proteções legais aos indígenas e outros grupos, tais como a disposição da *Constituição Federal Brasileira* de 1988 que se lê:

*“É vedada a remoção dos grupos indígenas de suas terras, salvo .... em caso de catástrofe ou epidemia que ponha em risco sua população, ou no interesse da soberania do País .... garantido, em qualquer hipótese, o retorno imediato logo que cesse o risco” (Constituição Federal, Artigo 231, Parágrafo 5º).*

É justamente uma “remoção” de grupos indígenas que é contemplada para permitir o enchimento do reservatório da hidrelétrica de São Luiz do Tapajós. Três aldeias mundurukus teriam que ser removidas: Karo Muiybu, Sawré Muiybu e Dace Watpu (Figuras 1 & 2). Estas aldeias estão na proposta terra indígena (TI) Sawré Muiybu. Destruir o trecho do Rio Tapajós que flui na frente dessa proposta terra indígena irá remover a fonte de vida dos Mundurukus,

que é baseada quase inteiramente no rio. Todas as aldeias estão localizadas na beira do rio.

Povos indígenas e tradicionais afetados têm o direito de “consulta”. O Brasil é signatário da Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) (ILO, 1989). “Consulta” é muito diferente de uma audiência pública, sendo que significa que as pessoas consultadas têm uma voz na decisão real, ou seja, se deve ou não construir a barragem, em vez de fazer sugestões sobre mitigação ou compensação para um projeto que já foi decidido (ver: ILO, 2005). A Convenção afirma:

*“... eles devem participar na formulação e na implementação de planos e programas para o desenvolvimento nacional e regional, que podem afetá-los diretamente” (OIT Convenção 169, Artigo 7.1).*

A OIT tem clarificado que isto não dá aos povos indígenas o poder de veto sobre projetos de desenvolvimento, mas exige uma voz real nas decisões iniciais:

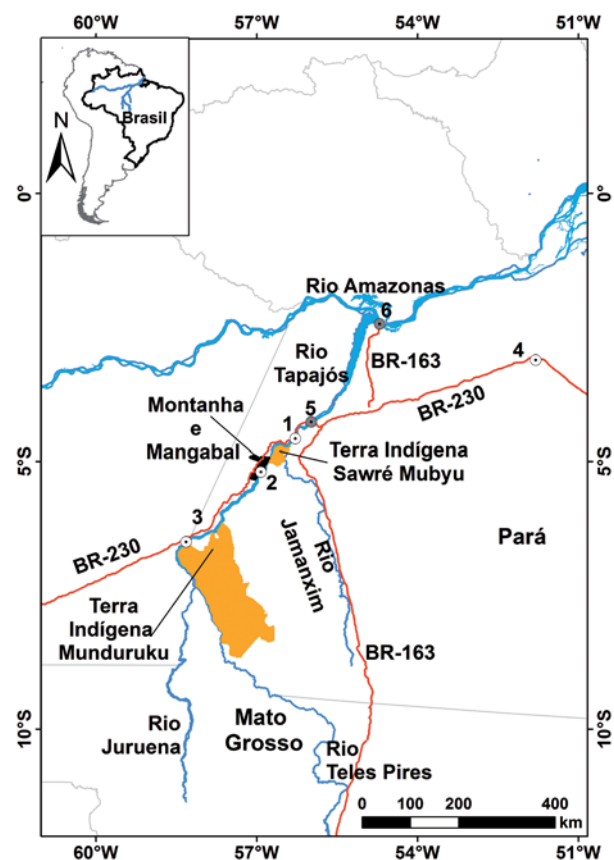


Figura 1. Mapa com locais mencionados no texto. 1) local da proposta barragem de São Luiz do Tapajós, 2) local da proposta barragem de Jatobá, 3) local da proposta barragem de Chacorão, 4) Altamira, 5) Itaituba, 6) Santarém.

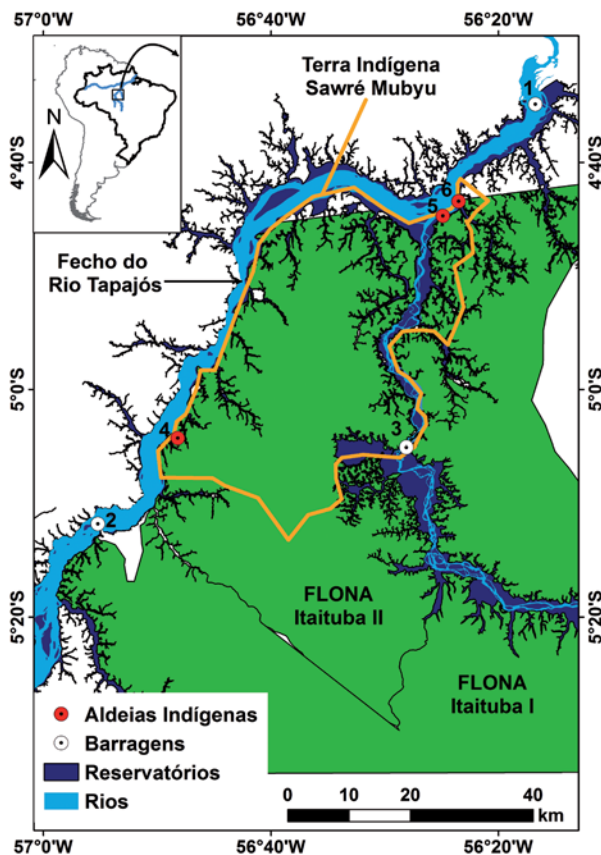


Figura 2. Mapa da proposta Terra Indígena Sawré Mubyu: 1) Barragem de São Luiz do Tapajós, 2) Barragem de Jatobá, 3) Barragem de Cachoeira do Cai, 4) Aldeia Karo Bamamaybu, 5) Aldeia Sawré Mubyu, 6) Aldeia Dace Watpu.

*“A Convenção requer que os procedimentos estejam em operação através dos quais os povos indígenas e tribais tenham uma chance realista de afetar o resultado – ela [a Convenção] não requer que o consentimento deles às medidas propostas seja necessário.” (OIT, 2005).*

No entanto, outros questionam como o “consentimento” pode significar qualquer coisa que não seja o direito de dizer “não” (e.g., Esteves et al., 2012).

O texto principal do EIA menciona a OIT-169 de passagem (Vol. 2, p. 86), mas deixa de afirmar a necessidade de consulta nestes termos. O anexo sobre o “componente indígena», que foi adicionado ao EIA vários meses depois do restante do relatório ter sido concluído, reproduz o texto de OIT-169 (EIA, Vol. 22, Anexo Geral, p. 28-31). No entanto, a discussão no texto centra-se apenas sobre a necessidade de meios culturalmente adequados para realizar a consulta, sem nenhuma indicação de que o resultado pode ser um fator decisivo em permitir que o projeto de construção da barragem prosseguisse. As

disposições da Convenção OIT-169 foram transformadas em lei brasileira através do Decreto No. 5.051 de 19 de abril de 2004 (Brasil, PR, 2004). Os Mundurukus não foram consultados sobre os projetos de barragem.

## B. A barragem como motivo para bloquear o reconhecimento da terra indígena

A Constituição brasileira de 1988 especifica que os povos indígenas têm direito à terra que eles “tradicionalmente ocupam” (*Constituição Federal*, Art. 231, Paragr. 1°). A área da proposta terra indígena Sawré Mubyu foi habitada pelos Mundurukus há milhares de anos, como mostrado por sítios arqueológicos, incluindo um dentro da aldeia de Sawré Mubyu. Cerâmica de aproximadamente 1.000 anos de idade têm desenhos que correspondem àqueles em tatuagens dos Mundurukus de hoje, de acordo com Bruna Cigaran da Rocha, uma arqueóloga especializada nessas cerâmicas, da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). O fato que as lendas mundurukus apresentam locais sagrados na proposta TI Sawré Mubyu também indica a longa data da presença dessa etnia na área.

Os Mundurukus deslocam as suas residências com frequência, e muitos já viveram em mais de um lugar. Razões para a movimentação incluem rixas com as famílias vizinhas ou outros eventos, como a morte por malária de um garoto de sete anos no caso de uma das aldeias na proposta terra indígena Sawré Mubyu. Escapar do efeito de bruxarias também tem sido uma razão para movimentos (EIA, Vol. 22, Anexo Geral, p. 30). Movimentos podem ser por distâncias curtas ou de centenas de quilômetros, mas sempre ao longo do Rio Tapajós. A população atual da proposta TI Sawré Mubyu mudou-se de outros lugares ao longo do rio, nas últimas décadas.

Sawré Mubyu não é ainda oficialmente reconhecida como uma “terra indígena” (TI). A TI proposta teria 178.173 ha de área, 7% dos quais iriam ser inundados pelo reservatório, esta parte sendo precisamente a localização das aldeias (Seixas et al., 2013, p. 189). O projeto de barragem tem dificultado a criação de TIs, incluindo a proposta TI Sawré Mubyu. A falta de uma TI reconhecida dificulta o impedimento de invasões da área por madeireiros e garimpeiros, e essas incursões têm sido cada vez mais ousadas. A classificação como terra indígena desencoraja os invasores, que percebem que as suas atividades ilegais são menos propensas



a ter um resultado positivo, e também, em caso de invasão, aumenta as chances de que chamar a polícia ou outras autoridades teria um efeito. Atualmente, os Mundurukus numa área não reconhecida, como a de Sawré Muybu, não podem chamar as autoridades para expulsar invasores.

Apesar da vulnerabilidade da área, a presença indígena tem um efeito inibitório. Isto é evidente a partir da enorme explosão de atividade de mineração de ouro e de diamantes (Gonzaga, 2012) nas partes que estavam desafetadas das Florestas Nacionais (FLONAs) Itaituba I e II pela presidente Dilma Rousseff por meio de uma medida provisória (MP nº 558 de 05 de janeiro de 2012), posteriormente convertida em lei (nº 12 678/2012). Estas áreas são também parte da proposta TI Sawré Muybu, que se sobrepõe as duas FLONAs. As FLONAs foram criadas em 1998 sem consultar os residentes indígenas.

A prioridade que o governo tem colocado em impedir que a Fundação Nacional do Índio (FUNAI), criasse a TI Sawré Muybu tem repercussões muito além desta parte do Rio Tapajós. Tem enfraquecido e desprestigiado a FUNAI e, aparentemente, contribuiu para paralisar a criação de terras indígenas em todo o Brasil. Portanto, os impactos socioeconômicos causados por São Luiz do Tapajós se estendem para lugares muito distantes dessa barragem, afetando outros grupos indígenas que não tiveram suas terras reconhecidas e demarcadas como TIs.

Em setembro de 2014, os líderes mundurukus viajaram para Brasília para se encontrar com Maria Augusta Assirati, na época a Presidente Interina da FUNAI. O vídeo da reunião feita pelos Mundurukus (MDK, 2014) mostra essa senhora em lágrimas, explicando que a papelada para a criação da terra indígena Sawré Muybu estava completa e, se encontrava sobre sua mesa, pronta para ser assinada, havia mais de um ano, mas que “outros órgãos” tinham se envolvido.

A subjugação da FUNAI revelada na reunião com os Mundurukus em setembro de 2014 não foi apenas mostrada pelas palavras da Presidente do Órgão. O fato chave foi a presença de três altos funcionários do Ministério das Minas e Energia (MME). Os Mundurukus esperavam se encontrar a sós com a Presidente na tentativa de convencê-la a assinar os papéis para a criação da reserva, como ela havia prometido há mais de um ano e estava dentro de seu poder para fazer. Os Mundurukus acreditam que os funcionários do MME se fizeram presentes nessas reuniões para garantir que não haveria

acordos sobre a terra indígena. Os funcionários do MME também estavam presentes nas reuniões com o Ministério da Saúde e o Ministério da Educação. O fato que a Presidente da FUNAI não pudesse encontrar com lideranças indígenas sem a supervisão do MME implica que, efetivamente, a agência encarregada de proteger os interesses indígenas é inexistente quando importantes interesses políticos, tais como hidrelétricas, estão envolvidos. Note that FUNAI is hierarchically subordinate to the Ministry of Justice, not the Ministry of Mines and Energy.

Apenas nove dias depois da reunião de setembro de 2014, a presidente da FUNAI (Maria Augusta Assirati) foi removida do cargo, com os papéis para criação da terra indígena ainda não assinados. Em janeiro de 2015, após quatro meses de silêncio depois da sua remoção, ela fez uma declaração emocional à imprensa, confirmando a interferência com a FUNAI pelo MME e a Casa Civil, afirmando que “A Funai está sendo desvalorizada e sua autonomia totalmente desconsiderada” (Aranha, 2015). O Ministro da Justiça estava em pé ao seu lado quando ela fez estes comentários públicos. O projeto hidrelétrico de São Luiz do Tapajós efetivamente destruiu a agência de governo responsável por proteger os povos indígenas em todo o Brasil. Portanto o impacto sócio-econômico da barragem estende muito longe para além da área em torno da proposta hidrelétrica.

Quando os Mundurukus reuniram-se com o novo presidente interino da FUNAI (Flávio Chiarelli Vicente de Azevedo) fizeram um convite para que participasse da próxima Assembleia da etnia, o que ele aceitou. No entanto, enviou um substituto, o que foi visto como uma quebra da sua primeira promessa. Os Mundurukus recusaram-se a falar com o substituto, informando que só iriam conversar com alguém que tenha o poder de tomar decisões. Os Mundurukus então decidiram não esperar o governo criar e demarcar sua TI, e em outubro de 2014 começaram um projeto de “autodemarcação”, cortando uma trilha ao redor do perímetro da área e colocando placas. A tomada de decisão dos Mundurukus é amplamente democrática, com todos os membros da comunidade (incluindo mulheres e adolescentes) participando de longas discussões, seguidas por um consenso entre os líderes de cada aldeia. Esse costume contrasta com outros grupos indígenas que possuem uma hierarquia centralizadora, tais como o Kayapó. Uma vez que os Mundurukus tomam uma decisão é menos provável de ser revertido do que para outros grupos.



É relevante que os Mundurukus enfatizam seu passado bélico, quando eles eram temidos por tribos vizinhas por cortar as cabeças dos seus inimigos e exibi-las em varas. Uma representação de uma cabeça deste tipo é destaque nas placas colocadas ao redor da TI Sawré Muybu como parte da autodemarcação. Os Mundurukus estão entre os mais assertivos dos povos indígenas do Brasil em confrontar diretamente as autoridades governamentais. Em março de 2013 começou a “Operação Tapajós” com 80 biólogos e pessoal de apoio, acompanhados pela Força Nacional (Força Nacional de Segurança) (Fonseca, 2014). Em junho de 2013 os Mundurukus capturaram três biólogos que estavam coletando dados para o EIA e que haviam entrado na sua área sem a permissão dos Mundurukus (Carvalho, 2013). Isto resultou em uma ordem da presidente Dilma Rousseff para os soldados armados da Força Nacional acompanharem todos os pesquisadores que trabalhavam na preparação do EIA, desse modo aumentando a tensão e desconfiança entre indígenas e não-indígenas moradores da área de Tapajós. Em junho de 2013, os indígenas expulsaram da TI Munduruku 25 pesquisadores da equipe do EIA, libertando-os após a chegada de um avião carregado de tropas da Força Nacional (Sposati, 2013). A fim de chamar a atenção para os planos do Tapajós, um grupo de guerreiros mundurukus viajou quase 1.000 km até Altamira, no Rio Xingu, onde eles eram o grupo mais forte para invadir o local de construção da barragem de Belo Monte, ocupando o local durante 17 dias, entre maio e junho de 2013 (e.g., *Xingu Vivo*, 2013). Em novembro de 2014, os Mundurukus ocuparam os escritórios da FUNAI em Itaituba e impediram o pessoal de sair até que uma delegação de alto nível fosse trazida de Brasília para discutir a proposta TI Sawré Muybu (Aranha & Mota, 2014a).

O documento da FUNAI propondo a TI Sawré Muybu conclui:

*“A conclusão do procedimento da TI Sawré Muybu constituiria uma garantia fundamental de sobrevivência aos povos indígenas que ali vivem e a sua manutenção enquanto culturas diferenciadas na região do rio Tapajós. Tendo em vista que a sobrevivência e a continuidade da população indígena dependem da sustentabilidade do uso e preservação dos recursos naturais ali existentes, a TI Sawré Muybu contempla os fatores apontados no estudo ambiental como imprescindíveis para que a cultura e as atividades produtivas dos indígenas possam desenvolver-se ao longo dos anos sem ameaças à sua integridade. A terra indígena, como um todo, é imprescindível à*

*preservação ambiental, visto que abrange os principais nichos de recursos utilizados pelos indígenas para prover sua sustentabilidade e possibilita o usufruto exclusivo aos índios sobre esses recursos, que são frequentemente ameaçados pela ação de não-indígenas ...” (Seixas et al., 2013, pp. 189-190).*

O contraste com o EIA é evidente. No entanto, não é a FUNAI, nem mesmo o Ministério do Meio Ambiente, que decide o rumo dos acontecimentos na prática. É o Ministério das Minas e Energia. Uma série de reportagens por Ana Aranha e Jessica Mota mostra isto claramente (Aranha & Mota, 2014b,c, 2015).

### C. Perda de pesca

O EIA presume que o rio e seus recursos, tais como peixes, permanecerão essencialmente inalterados, implicando que os Mundurukus e pescadores não-indígenas ribeirinhos não têm motivos para se preocuparem com seus meios de subsistência, pois estes não serão afetados. O EIA assegura-nos:

*“Consideram-se .... A baixa expectativa de que altere significativamente as condições naturais dos ambientes aquáticos” (EIA, Vol. 3, p. 170).*

Observe que o EIA pressupõe também que os ecossistemas terrestres não serão afetados pela barragem e que, implicitamente, não há nenhuma necessidade de medidas para prevenir perdas destes ecossistemas e os consequentes impactos socioeconômicos. O EIA afirma:

*“Meio físico: as condições diagnosticadas indicam grande estabilidade no cenário atual com redução da taxa de desmatamento ...” (EIA, Vol. 3, p. 170).*

*“Espera-se redução das taxas de abertura de áreas desflorestadas” (EIA, Vol. 3, p. 171).*

*“Não se registrou projetos de aberturas de novas rodovias na escala da bacia” (EIA, Vol. 3, p. 171).*

A reconstrução da BR-163 aparentemente está sendo ignorada por definição por não ser considerada uma rodovia “nova”. Entre os maiores impactos do desmatamento seria a degradação dos ecossistemas aquáticos. No entanto, o EIA nos assegura que nenhuma degradação é provável como resultado do desmatamento:

*“Os impactos incidentes sobre o meio físico, a alteração da comunidade aquática apresenta potencial para interagir e influenciar (intensificando, na maioria dos casos) outros impactos, tais como: alteração da comunidade aquática e alteração dos estoques pesqueiros (biótica). Conquanto, atualmente as condições atuais permitem estimar que a condição mantenha-se estável em função da baixa pressão exercida pela ocupação antrópica ...” (EIA, Vol. 3, p. 172).*

A área ao longo da rodovia BR-163 tem sido um dos focos de desmatamento na Amazônia nos últimos anos (e.g., Victor et al., 2014). Esta área está adjacente ao lado leste da proposta TI Sawré Muybu. Um estudo pelo Instituto do Homem e o Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON) projeta um desmatamento substancial associado com todas as barragens do Tapajós (Barreto et al., 2014).

#### D. Perda de locais sagrados

A perda de meios de subsistência, destruindo o recurso pesceiro que é a fonte principal do alimento para os Mundurukus, é, logicamente, uma grande preocupação para as aldeias hoje ameaçadas pela barragem. No entanto, a perda do rio também significa a perda do centro sagrado da cultura munduruku, e esta função simbólica recebe ainda mais ênfase quando líderes mundurukus contam suas preocupações. Entre os locais sagrados previstos de serem perdidos está o lugar onde Karosakaybu (um ancestral munduruku reverenciado, que era dotado de poderes sobrenaturais) criou o Rio Tapajós em

um lugar estreito (o “fecho do Rio Tapajós”) conhecido aos Mundurkus como a “travessia dos porcos”. A importância do local foi explicada da seguinte maneira pelo cacique Juarez Saw Munduruku, da aldeia de Sawré Muybu.

Karosakaybu teve seu filho levado por um bando de queixadas (*Tayassu pecari*), que realmente eram Mundurukus que haviam se transformados em suínos. Os porcos têm orelhas furadas, mostrando que tinham sido Mundurukus antes. Karosakaybu ouviu os gritos de seu filho, que estava sendo sequestrado pelos porcos. Karosakaybu correu atrás de seu filho, mas os porcos estavam fugindo com a criança. Como um meio de bloquear o caminho dos porcos, Karosakaybu fez colinas íngremes se levantarem, que podem ser vistas perto do local sagrado hoje, mas os porcos, que também tinham poderes sobrenaturais, foram capazes de passar por estas colinas. Então, Karosakaybu jogou quatro sementes de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) na terra e criou o Rio Tapajós, para servir como uma barreira, bloqueando os porcos. As sementes de tucumã explicam por que a água do Tapajós é doce hoje. Mas os porcos jogaram uma corda com um gancho gigante para o outro lado do rio e puxaram-o para criar o fecho. Os suínos nadaram através do rio no fecho, levando o filho de Karosakaybu com eles, e nunca mais voltaram.

O cacique Juarez levou os seus filhos para ver o local da Travessia dos Porcos. Uma placa em Munduruku e Português foi preparada para marcar o local (Figura 3).



Figura 3. Cacique Juarez Saw Munduruku com uma placa preparada para marcar o local sagrado “Travessia dos Porcos”.

Outro local sagrado é a “Garganta do Diabo”, nas corredeiras onde a barragem de São Luiz do Tapajós está prevista para ser construída. Este local é sagrado por causa da abundância de peixes que podem ser capturados lá durante a piracema (a migração anual em massa de peixes ascendendo os afluentes do Rio Amazonas). Os Mundurucus acreditam que o desrespeito para o local é a causa de muitos naufrágios de barco que ocorreram lá. De acordo com o cacique Juarez, “os brancos não sabem que o local é sagrado”.

A preocupação com a perda de locais sagrados na área a ser inundada pelo reservatório de São Luiz do Tapajós estende-se até Mundurucus que vivem fora desta área. Da mesma forma, os Mundurucus na área a ser inundada pela barragem estão preocupados com locais previstos para serem inundados pelas outras barragens planejadas da bacia do Tapajós. O local sagrado de Sete Quedas, que foi inundado no final de 2014 pela barragem de Teles Pires, é de especial preocupação (e.g., Palmquist, 2014). Este local é sagrado porque os espíritos de pessoas que conhecem as lendas e que cantam canções tradicionais e tocam instrumentos musicais mundurucus vão lá depois que eles morrem. Só os espíritos destes anciões respeitados vão para Sete Quedas, não os espíritos dos falecidos jovens.

No caso da pesca, o EIA essencialmente nega que haverá qualquer perda, alegando que os ecossistemas aquáticos permanecerão incólumes. No caso de perdas espirituais, o EIA simplesmente ignora o assunto.

## E. Áreas indígenas afetadas “indiretamente”

Além da proposta TI Sawré Muybu, que é “diretamente” afetada pela inundação, o EIA enumera quatro áreas indígenas que estão na “Área de Impacto Indireto” (AII):

(1). TI Praia do Índio. Esta área munduruku, localizada perto de Itaituba, está listada no EIA como tendo 31.74 ha e 39 pessoas indígenas autodeclarados; é 100% na Área de Impacto Indireto (AII) (EIA, Vol. 7, p. 118).

(2). TI Praia do Mangue é uma área munduruku de 32 ha e se encontra 100% na AII, com 152 indígenas autodeclarados (EIA, Vol. 7, p. 119). A TI é muito perto de Itaituba, e o crescimento da cidade transformou a TI em uma área periurbana. Os Mundurucus expressam preocupação sobre problemas da proximidade da cidade que já são aparentes, tais como álcool e crime.

(3). TI Munduruku, que teria parte da sua área inundada pela hidrelétrica de Chacorão (Fearnside,

2015a), tem 2,3% dos seus 2.415.382 ha na AII da barragem de São Luiz do Tapajós (EIA, Vol. 7, p. 118) [também dado como 2,03%: EIA, Vol. 7, p. 116].

(4). TI André Miran, é uma área de 798.481 ha para o povo Sataré-Mawé no estado do Amazonas; 25,3% da TI se sobrepõe com a borda ocidental da AII.

O EIA (Vol. 7, p. 116) também lista áreas “em estudo pela FUNAI.” Estas são a “Área de Km 43 da BR-230”, que é designada pela FUNAI por seu nome Muduruku “Sawré Apompu” (Seixas et al., 2013), a “Área Pimentel”, “São Luiz do Tapajós” (designado pela FUNAI e pelos Mudurucus como “Sawré Jaybu”) e “Boa Fé”, que se refere a uma parte da proposta TI Sawré Muybu.

Além de áreas indígenas na área de impacto indireto, há também um grupo “isolado”. Indígenas isolados são mostrados em “Ponto nº 9» no mapa de grupos isolados (FUNAI, 2006) que é reproduzido no EIA (Vol. 7, p. 119). O EIA aponta que este ponto está dentro da área indireta da influência da barragem de São Luiz do Tapajós (EIA, Vol. 7, p. 119). No entanto, não diz nada sobre o que deve ser feito para proteger essas pessoas.

O EIA parece apresentar informações de uma forma que minimiza a presença indígena na área. Por exemplo, “destaca” em relação a TI Praia do Índio:

*“Destaca-se o fato de que no setor censitário 076 de Itaituba, apesar de conter integralmente a TI Praia do Índio, que responde por 95% do território do referido setor censitário, apenas 38% das pessoas residentes autodeclararam-se indígenas” (EIA, Vol. 7, p. 117).*

Isto parece ser apresentado para implicar que 62% da população desta TI é realmente não indígena, mas, sendo que a TI se encontra praticamente encostada na cidade de Itaituba, os 5% do setor censitário fora da TI podem não ser desprezíveis, entre outros potenciais problemas com os dados do censo.

O EIA foi preparado e divulgado pelo IBAMA sem o componente indígena; a FUNAI opôs-se em 15 de agosto de 2014. Uma versão do EIA com o componente indígena adicionado foi então entregue à FUNAI, pelo IBAMA em 12 de setembro de 2014. Um parecer interno da FUNAI datada de 25 de setembro de 2014 (FUNAI, 2014) vazou posteriormente para a imprensa. O documento deixa clara a insuficiência do componente indígena, que, entre outras irregularidades, tinha sido elaborado sem qualquer trabalho de campo nas áreas indígenas afetadas, em desconformidade com os termos de referência para o estudo. O que é mais importante é



que, embora o componente indígena tenha apontado graves perdas de recursos que o projeto de barragem iria infligir sobre os Mundurukus, não houve alterações no restante do EIA para refletir essas implicações, especialmente a parte sobre a viabilidade do projeto. O documento vazado mostra que a administração não é homogênea.

O componente indígena foi adicionado ao EIA como um anexo, e explica que:

*“O presente estudo não seguiu completamente os processos metodológicos, como o plano apresentado anunciava. A equipe não recebeu autorização da FUNAI-DF e dos Mundurukus para entrada em terras indígenas.” (EIA, Vol. 22, Anexo Geral, p. 34).*

O anexo apresentando o Estudo de Componente Indígena (ECI) afirma que “É importante evidenciar que o trabalho de campo não se configura exclusivamente em estar no *locus*, onde o sujeito social e seus modos de vida estão concentrados, suas terras”, e explica que os autores do EIA havia falado com alguns Mundurukus (aparentemente professores de educação fundamental) enquanto a equipe permanecia em Itaituba (EIA, Vol. 22, Anexo Geral, p. 34). Então cita uma passagem da Constituição brasileira de 1988 (*Constituição Federal*, Artigo 7, Item 3) para reivindicar que a FUNAI, como um órgão do governo, fosse obrigada a permitir e facilitar a entrada da equipe nas áreas indígenas:

*“... Os governos [mesmo redundante precisa-se reforçar, que o órgão indigenista é governo] deverão zelar para que, sempre que for possível, sejam efetuados estudos [grifo nosso] junto aos povos interessados com o objetivo de se avaliar a incidência social, espiritual e cultural e sobre o meio ambiente que as atividades de desenvolvimento previstas possam ter sobre esses povos. Os resultados desses estudos deverão ser considerados como critérios fundamentais para a execução das atividades mencionadas.” (EIA, Vol. 22, Anexo Geral, p. 36).*

Em vez das palavras que os autores do EIA destacaram em negrito, poderia ter sido salientada a última frase nesse trecho.

O Estudo de Componente Indígena apresenta uma lista resumindo os impactos sobre os povos indígenas:

*“De todo modo, durante o período em que a equipe esteve em campo foi possível, através de relatos de indígenas contatados, conforme anteriormente relatado, listar alguns impactos, como:*

- *A geração de expectativas quanto ao futuro da população indígena e da região;*
- *Aumento da visibilidade indígena em níveis local, regional, nacional e Internacional;*
- *Aumento do fluxo migratório;*
- *Alteração dos elementos culturais das populações tradicionais;*
- *Alteração da organização social vigente;*
- *Possibilidade de aumento da incidência de doenças (DSTs, malária, febre amarela, leishmaniose, doenças respiratórias, doenças diarreicas, hanseníase e tuberculose) nas TIs e áreas indígenas.” (EIA, Vol. 22, Anexo Geral, p. 115).*

Com exceção dos dois primeiros, esses impactos são todos sérios e altamente prejudiciais.

O estudo de componente indígena conclui que tomar terras dos povos indígenas é um processo histórico que não é culpa do consórcio de construção da barragem (o Consórcio Tapajós), e que a única questão é como tomar cuidados adequados para mitigar e compensar os grupos indígenas que perdem com este empreendimento:

*“Por fim, outro elemento de decisão é a compreensão da gradativa redução do território indígena na área de estudo motivada por um processo histórico de ocupação, hoje resultando em reduzidos territórios e cada vez mais pressionados, cabendo todos os esforços para que estes redutos sejam mantidos assegurando então a reprodução física e sociocultural do grupo. Uma vez que, o mencionado processo histórico não pode ser atribuído ao empreendedor, mas lhe cabe compreender e ter os cuidados necessários para não ampliar este passivo, concretizando as necessárias medidas mitigadoras e compensatórias específicas ao empreendimento.” (EIA, Vol. 22, Anexo Geral, p. 116).*

Claramente, isto está muito longe do conceito de OIT-169, ou seja, dos povos indígenas afetados terem uma voz real na decisão global sobre o projeto de desenvolvimento.

Impactos sobre povos indígenas e as medidas tomadas para evitar ou atenuar esses impactos representam, ou deveriam representar, uma parte central do processo de aprovação de qualquer projeto de barragem. Antes da licitação do projeto de construção, o Plano Ambiental Básico (PAB) deve ser elaborado e aprovado, incluindo o componente



indígena. A FUNAI também deveria emitir um parecer aprovando o componente indígena do PBA antes do Ministério do Meio Ambiente autorizar o Ministério das Minas e Energia (MME) para realizar a licitação. Em vez disso, em 12 de setembro de 2014 MME publicou um aviso oficial (*Portaria MME n.º 485*) que a licitação seria realizada em 15 de dezembro de 2014. No momento do anúncio o Estudo de Componente Indígena ainda não havia sido apresentado à FUNAI, muito menos aprovado. Após esta irregularidade ser denunciada em um grande jornal do Rio de Janeiro (Fariello, 2014) a licitação foi suspensa (Fonseca, 2014). Atualmente a licitação é esperada para ocorrer em 2015, e a data esperada de conclusão da represa tem sido adiada de janeiro de 2019 para agosto de 2020 (Borges, 2014).

É importante notar que o projeto de hidrovias significa que todas as barragens ao longo do percurso teriam de ser construídas para alcançar esta prioridade do «eixo transporte» do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) (Brasil, MT, 2010). A barragem de São Luiz do Tapajós, portanto, tem o papel de transformar em realidade os planos para a barragem de Chacorão, com grande impacto sobre a terra indígena Munduruku (Fearnside, 2015a). A barragem de Chacorão está incluída no estudo de viabilidade para São Luiz do Tapajós (CNEC Worley Parsons Engenharia S.A., 2014b). O EIA de São Luiz do Tapajós menciona a hidrovia só de passagem, sem nenhuma indicação de como esta consequência da barragem afetará os Mundurukus na área de São Luiz do Tapajós e em toda a bacia do Tapajós (EIA, Vol. 3, p. 171).

Os líderes indígenas como Juarez Saw Munduruku são sempre muito claros na sua mensagem: seu povo tem vivido na beira do Tapajós por milhares de anos e têm o direito de continuar tendo a sua terra e seu rio com água limpa, o que lhes dá vida e peixe. Eles veem os construtores de barragens como apenas dando-lhes falsas promessas que são quebradas posteriormente.

## RIBEIRINHOS

O EIA parece estar preparando o terreno para tirar dos ribeirinhos os seus direitos. Ribeirinhos são “populações tradicionais” e, como tal, têm o direito de consulta sob OIT-169. No entanto, o EIA afirma:

“Porém, não se pode afirmar que são populações tradicionais no termo da Lei No. 111.284 (Lei de Gestão de Florestas Públicas) ... ou como

define o Decreto No. 6.040, Art. 3º, Inciso 1, Povos e Comunidades Tradicionais ...” (EIA, Vol. 7, p. 120).

No entanto, os autores do EIA foram forçados a admitir que uma das comunidades ribeirinhas havia sido legalmente reconhecida como uma “população tradicional”: Montanha e Mangabal (EIA, Vol. 7, p. 121). Este grupo foi reconhecido em 2006 pela Ação Civil Pública No. 2006.39.02.000512-0 [DOU n.º 30654 de 04/03/2006]. A área é descrita em um relatório por Maurício Torres e Wilsea Figueiredo (2006) [citado no EIA, Vol. 7, p. 121]. Estes autores até encontraram algumas das mesmas famílias no local que Henri Coudreau relatou haver visitado em 1895 (Coudreau, 1977 [1896]). O fato de que esta é a única comunidade ribeirinha que havia sido estudada e que resultou em um relatório citável é, aparentemente, a explicação de porque esta comunidade é a única reconhecida oficialmente como “tradicional”.

O EIA menciona que o Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) “publicou chamada para Realização de Diagnóstico de Comunidades Tradicionais Localizadas em Glebas Públicas Federais, na Amazônia Legal, no segundo semestre de 2011, não concluído até o fechamento do presente documento” (EIA, Vol. 7, p. 124). Mas, em outra parte (Vol. 2, p. 80) o EIA afirma:

*“...podem ser enquadradas comunidades ribeirinhas, compostas por população tradicional não indígena residentes [sic], em sua maioria, à beira de cursos d’água, lagos e várzeas amplamente dependentes desses corpos hídricos como sua fonte de água para uso doméstico, alimentação e transporte.*”

Deste modo, eventuais populações ribeirinhas atingidas pela implantação do AHE São Luiz do Tapajós, caso enquadrados no conceito de povos e comunidades tradicionais deverão ser reassentadas preferencialmente em áreas passíveis de manter a proteção da sua identidade cultural, estrutura organizacional e o acesso aos recursos tradicionalmente utilizados” (EIA, Vol. 2, pp. 80-81).

O termo-chave é “caso enquadrados”. É claro que, com exceção Montanha e Mangabal, onde uma decisão jurídica torna a negação impossível, o EIA está indicando que os ribeirinhos não são tradicionais e, portanto, não tem o direito de consulta. Mesmo para uma população oficialmente reconhecida como “tradicional”, nenhuma sugestão foi feita de um direito à consulta, mas apenas sugeriu que seja realizada uma forma mais sensível de reassentamento, e esta seria aplicada apenas “preferencialmente”,

ou seja, só se isso fosse conveniente, mas sem qualquer tipo de obrigação.

Com referência a OIT-169, o EIA alega que:

*“Há divergência quanto aos sujeitos de direito da consulta, existindo a defesa de uma consulta direcionada apenas as comunidades indígenas e uma mais ampla que atenda ribeirinhos e comunidades tradicionais.” (EIA, Vol. 22, Anexo Geral, p. 78).*

Evidentemente, isto está sendo interpretado no sentido de que não há nenhuma necessidade de consultar ribeirinhos, mesmo no caso de serem reconhecidos como “comunidades tradicionais”.

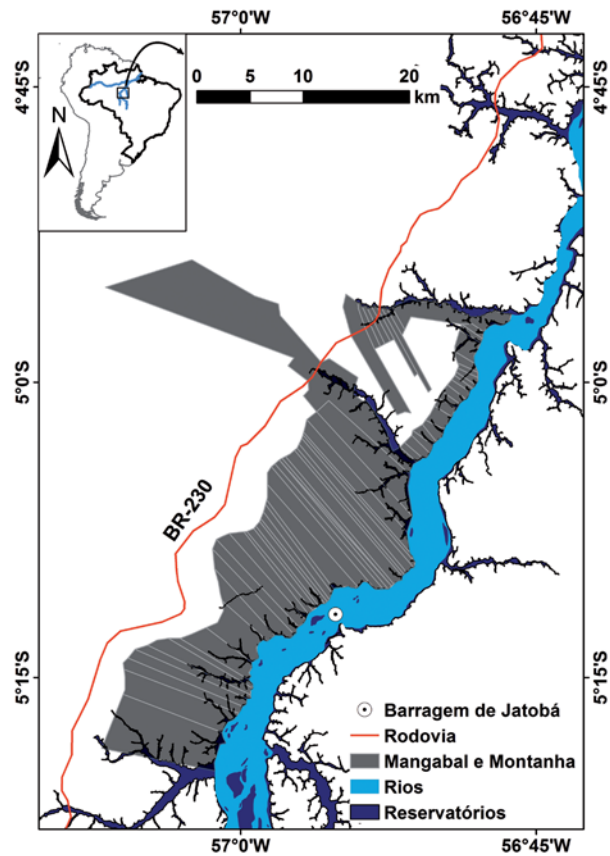
O EIA faz um grande desserviço à população ribeirinha, implicitamente endossando um dos esquemas mais notórios da Amazônia para o roubo de terra (*grilagem*). A história dos 1.138.000 hectares usurpados pela Indústria e Comércio de Madeiras L.B. Marochi, Ltda. (nome de fantasia: Indussolo) tem sido exaustivamente documentada por Maurício Torres (e.g., Torres, 2008, 2012). A Ação Civil Pública (MPF-PA, 2006) movida pelo Ministério Público Federal foi decidida a favor dos ribeirinhos em 16 de junho de 2006, indicando a invalidade das reivindicações da Indussolo.

O EIA apresenta um mapa da área conhecida como “Montanha-Mangabal” mostrando as reivindicações fundiárias da Indussolo como se fossem legítimas (Figura 4), implicitamente endossando-as (EIA, Vol. 23, Tomo II, p. 39). O texto ainda enfatiza o predomínio de grandes ‘propriedades’ na área controlada pela Indussolo como uma vantagem, minimizando o número de propriedades inteiras que seriam alagadas e, assim, evitando a necessidade de realocar os ocupantes:

*“Na porção mais a montante do rio, os imóveis são de grande porte .... constituindo a porção com melhores condições para reestruturação das atividades produtivas e permanência de seus usuários.” (EIA, Vol. 23, Tomo II, p. 38-39).*

Em paralelo com o papel de São Luiz do Tapajós em motivar o bloqueio de propostas para criar novas áreas indígenas, a barragem também está causando bloqueio de novas reservas extrativistas. O Ministério Público afirma:

*“Em 2006, com base em estudos realizados por Maurício Torres e Wilsea Figueiredo, com o objetivo de documentar a antiguidade da ocupação ribeirinha, o MPF obteve da Justiça Federal, por meio da ACP nº 2006.39.02.000512-*



**Figura 4.** Mapa da área de Montanha e Mangabal apresentada no EIA, mostrando áreas ilegalmente apropriadas (“griladas”) como propriedades legítimas (EIA, Vol. 23, Tomo II, p. 39).

*0, o deferimento liminar da interdição completa da área a qualquer pessoa não pertencente às famílias de Montanha-Mangabal. No mesmo ano, o Ibama realizou consulta pública para debater a proposta de criação de uma Reserva Extrativista (Resex), aprovada unanimemente pelos ribeirinhos. Contudo, a proposta não se concretizou, tendo sido paralisada no âmbito da Casa Civil da Presidência da República. Isso, note-se, ocorreu tão somente em razão do interesse da área ocupada para projeto hidroelétrico do Governo.” (MPF-PA, 2013).*

Observe que, na época em questão, o chefe da casa Civil era Dilma Rousseff, atualmente presidente do Brasil. Desde então, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) tem estabelecido um Projeto de Assentamento Dirigido (PAD), distante aproximadamente 50 km, e dado lotes de colono para muitas famílias que foram expulsas pela Indussolo de suas casas ribeirinhas tradicionais (M. Torres, comm. pess.).

Um número estimado em 2.500 ribeirinhos estão para serem desalojados pelas barragens de São Luiz do

Tapajós e Jatobá, e repetidas manifestações do poder do consórcio de construção de barragens conduziram uma fração deles a desistir da sua resistência inicial às represas e aceitar qualquer acordo de reassentamento que seja oferecido (Aranha & Mota, 2015).

## COLONOS

O EIA inclui uma volumosa contabilidade do estado precário de serviços públicos e privados na área hoje. A ideia de que a barragem trará melhores escolas, serviços de saúde e oportunidades de emprego foi promovida pelo programa Diálogo Tapajós, financiado pelo consórcio de barragem. Isto tem levado parte da população não indígena passar a apoiar o projeto da barragem. Trabalhos temporários, tais como serviços de barqueiros transportando os cientistas que estavam coletando dados para o EIA, também têm sido importantes incentivos. O mau estado dos serviços é um fato, mas a suposta melhoria é muitas vezes ilusória para os pobres na zona rural e especialmente para os povos indígenas (ver exemplo de Tucuruí: Fearnside, 1999).

Os colonos têm menos direitos do que os povos indígenas e “tradicionais”. Eles não precisam ser consultados sobre o projeto em si. As opções para aqueles que seriam removidos são explicadas abaixo:

*“...os atingidos possuam as seguintes opções: (i) indenização total em dinheiro, (ii) indenização parcial em dinheiro, (iii) permuta por lote, (iv) autoreassentamento, e (v) permuta de casa.” (EIA, Vol. 2, p. 78).*

O efeito destrutivo da indenização em dinheiro tem sido visto muitas vezes no passado (e.g., Cernea, 1988, 2000; Oliver-Smith, 2009, 2010; Scudder, 2006). As pessoas geralmente ficam sem dinheiro dentro de um curto espaço de tempo. A indenização em dinheiro é, muitas vezes, preferida por projetos de construção de barragem porque fornece a melhor garantia de que os desenvolvedores do projeto ficarão protegidos contra possíveis reclamações futuras pelas pessoas afetadas ou seus apoiadores.

## RESIDENTES URBANOS

Nenhuma cidade seria inundada pelo reservatório, mas diversos “povoados” e “aldeias” seriam removidos. Essencialmente, os impactos sociais usuais a grandes obras, tais como prostituição, drogas, álcool e crime não são discutidos no EIA. Esses impactos são insinuados, citando uma declaração de um dos representantes Mundurucus em uma reunião em Brasília:

*“Roseni Saw trouxe a discussão fatos envolvendo hidrelétricas que já estão em operação e citou os pontos negativos gerados por empreendimentos desse porte, temendo que o mesmo possa acontecer na região: “os projetos que foram executados não tiveram resultados positivos... Muitos tinham suas terras e hoje estão mendigando. Houve aumento de roubo e prostituição .... O IBAMA está preocupado em multar as madeiras, mas o maior crime é as hidrelétricas. O Governo tem suas propostas, mas nós também temos as nossas, que é a demarcação e homologação das nossas terras”. (EIA, Vol. 22, p. 180).*

Em 1973, este autor ficou no povoado de São Luiz do Tapajós, próximo do local hoje escolhido para a construção da barragem que leva seu nome. Isso foi na época de outro maciço projeto de desenvolvimento: a Rodovia Transamazônica (BR-230) (e.g., Fearnside, 1986). São Luiz do Tapajós era o povoado mais próximo do acampamento de Queiroz Galvão, a empresa de construção deste trecho da rodovia. Essa área era a “frente” da construção da rodovia naquele momento da história, e era evidente a força de impactos tais como aqueles mencionados por Roseni Saw.

## POLÍTICA DE DECISÕES SOBRE BARRAGENS

### Os atores

A decisão inicial de construir uma barragem no Brasil, como a hidrelétrica de São Luiz do Tapajós, é feita por funcionários de alto nível na Casa Civil, na Presidência da República (<http://www.casacivil.gov.br/>), e a sua prioridade é definida em conjunto com o Programa de Aceleração do Crescimento - PAC (<http://www.pac.gov.br>) sob o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão - MP (<http://www.planejamento.gov.br/>). As informações técnicas vêm da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (<http://www.epe.gov.br/>) que está sob abrigo das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS (<http://www.eletronorte.com/>), no Ministério de Minas e Energia - MME (<http://www.mme.gov.br/>). O consórcio formado para construir e operar a hidrelétrica de São Luiz do Tapajós (Consórcio Tapajós) é composto por CEMIG Geração e Transmissão S.A., Construções e Comércio Camargo Corrêa S.A., Copel Geração e Transmissão S.A. - COPEL-GT, Électricité de France - EDF, ELETROBRÁS, ELETRONORTE, Endesa Brasil S.A. e GDF Suez Energia América Latina Participações Ltda. A interface do Consórcio com as populações locais é através



do Grupo de Estudos Tapajós, composto das empresas do Consórcio e conduzido pela ELETROBRÁS (<http://www.grupodeestudostapajos.com.br>).

Este poderoso grupo de atores do governo e da indústria é confrontado com uma variedade de organizações não-governamentais (ONGs) e outros que questionam o projeto. Estes incluem quatro ONGs locais de base representando os Mundurukus: a Associação Indígena Da'uk (anteriormente "Associação Pusuru"), a **Associação** Pahyhyp, o Movimento Munduruku Ipereg Agu e o Conselho Indígena Munduruku do Alto Tapajós - CIMAT. Grupos indigenistas nacionais incluem a Coordenação das Organizações Indígenas da Amazônia Brasileira - COIAB (<http://www.coiab.com.br>), Fórum da Amazônia Oriental - FAOR (<http://www.faor.org.br>) e o Conselho Indigenista Missionário - CIMI (<http://www.cimi.org.br/>).

Outras ONGs brasileiras engajadas na luta contra a represa incluem o Movimento Tapajós Vivo (<http://movimentotapajosvivo.blogspot.com.br/>), o Instituto Socioambiental - ISA (<http://www.socioambiental.org/>), o Movimento dos Atingidos por Barragens - MAB (<http://www.mabnacional.org.br/>) e o **Movimento Xingu Vivo para Sempre** - MXVPS (<http://www.xinguvivo.org.br>). *ONGs internacionais incluem* International Rivers (<http://www.internationalrivers.org/>), Amazon Watch (<http://amazonwatch.org/>) e Greenpeace (<http://www.greenpeace.org/brasil/>).

Partes da imprensa têm sido ativas na investigação e na publicação de reportagens sobre eventos no Tapajós, especialmente sobre os impactos sociais dos preparativos para a barragem. Estas incluem a Agência de Reportagem e Jornalismo Investigativo - APublica (<http://apublica.org>), Telma Monteiro (<http://telmadmonteiro.blogspot.com/>), e Mongabay (<http://www.mongabay.com/>). Mongabay é um site ambiental internacional que, além das suas próprias reportagens, apoia jornalistas investigativos brasileiros que acompanham estes eventos.

A comunidade acadêmica no Brasil também contribuiu com informações que levantam questões sobre a barragem, especialmente pesquisadores da Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA (<http://www.ufopa.edu.br/>), o Núcleo de Altos Estudos Amazônicos - NAEA na Universidade Federal do Pará - UFPA (<http://www.naea.ufpa.br/>) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA (<http://www.inpa.gov.br>). Grupos de acadêmicos foram reunidos pela International Rivers e pelo Greenpeace para examinar os impactos da barragem, mas um "painel de especialistas" não foi formado nos moldes do painel

de 40 membros que acompanhou o processo de licenciamento de Belo Monte (e.g., Hernandez & Santos, 2011).

Um ator-chave nos eventos no rio Tapajós tem sido o Ministério Público Federal - MPF (<http://www.prpa.mpf.mp.br/>), particularmente a filial em Santarém. O Ministério Público Federal foi criado pela Constituição de 1988 para defender o povo contra a violação das suas proteções constitucionais e legislativas. Neste caso, várias violações das proteções dos povos indígenas levaram o Ministério Público Federal obter uma série de liminares contra a barragem. No entanto, como será explicado, estas injunções são revertidas rapidamente por meio de "suspensões de segurança".

Entraves impedindo consideração dos impactos socioeconômicos nas decisões sobre barragens

Uma série de barreiras agem para impedir a consideração dos impactos socioeconômicos na tomada de decisões sobre barragens e no processo associado de licenciamento. Uma barreira é a influência política das empresas de construção que lucram com as obras. Em janeiro de 2013, o Tribunal Superior Eleitoral - TSE liberou informações sobre doações de campanha. Os quatro maiores doadores para campanhas políticas nos últimos dez anos foram as grandes empreiteiras que constroem barragens e outros projetos de infraestrutura na Amazônia (Gama, 2013). Estas contribuições são extraordinariamente lucrativas para as empresas, gerando mais de oito vezes o valor investido em doações políticas (Scofield Jr., 2011). Além destas contribuições legais, a existência de pagamentos ilegais generalizados chegou ao domínio público recentemente. Em março de 2015, o diretor-presidente da Camargo Corrêa (segunda maior construtora do Brasil) formalmente confessou ter pago R\$ 100 milhões em "propinas" (subornos) para obter 16% dos contratos para Belo Monte (*Amazonas em Tempo*, 2015). Se as outras empresas pagaram em proporções semelhantes, o total chegaria a US\$ 300 milhões para os contratos de Belo Monte.

Os fluxos financeiros (legais e ilegais) de empresas (e.g., empreiteiros) para os políticos e os burocratas do governo ilustram o "triângulo de ferro", como esta configuração é conhecida em ciência política (e.g., Adams, 1981) (não deve ser confundido com o termo homólogo no campo da gestão de projetos). Os benefícios do ponto de vista dos atores em cada um dos três grupos que formam o triângulo conduzem a decisões onde os custos (monetários e não monetários) caem sobre outros atores fora do triângulo, ou seja, os contribuintes e/ou os moradores da área afetada. Triângulos de ferro têm sido identificados como uma característica de desenvolvimento de recursos hídricos em locais que



variam desde Califórnia (Zetland, 2009) até a região do rio Mekong, do sudeste da Ásia (Molle et al., 2009a).

Um sistema enviesado de avaliação de impacto ambiental constitui outra barreira, conforme ilustrado pela barragem de São Luiz Tapajós. O sistema atual, em que os relatórios são contratados e pagos diretamente pelos proponentes dos projetos, representa um viés estrutural inerente que garante relatórios favoráveis à aprovação dos projetos (e.g., Fearnside & Barbosa, 1996).

A maior barreira é interferência executiva com a agência de licenciamento ambiental (IBAMA). Casos documentados incluem as barragens de Santo Antônio e Jirau no rio Madeira, onde a equipe técnica do IBAMA produziu pareceres formais opondo-se à aprovação da licença prévia e da licença de instalação, mas foram anuladas por meio da substituição do chefe do departamento de licenciamento e, mais tarde, com a promoção da mesma pessoa para ser o “Presidente” de todo o IBAMA, onde aprovou a licença de instalação (Fearnside, 2014b). No caso de Belo Monte, a equipe técnica foi formalmente contra a aprovação da licença de instalação, mas o parecer contrário ao licenciamento foi anulado através da substituição do “Presidente” do IBAMA (Fearnside, 2012a). Esses eventos ilustram as contradições entre os objetivos que são alegados por instâncias diferentes dentro do governo, alguns componentes sendo mais poderosos do que outros. Esses eventos indicam também que o licenciamento é um processo contestado, o que claramente representa um padrão geral.

Uma barreira importante para a eliminação de vieses no sistema de avaliação de impacto ambiental através de mudanças na legislação é o controle de fato do Congresso Nacional pela bancada “ruralista” que representa os grandes proprietários de terras. A extensão da influência deste bloco foi dramaticamente revelada em maio de 2011, com a primeira votação na Câmara dos Deputados sobre a revisão (esvaziamento) do Código Florestal Brasileiro. A Câmara dos deputados votaram em uma proporção de sete para um contra o meio ambiente e os interesses da esmagadora maioria do eleitorado. A representação na Câmara dos Deputados é proporcional à população, e 85% da população brasileira é urbana, ou seja, sem nenhum interesse financeiro em permitir o desmatamento, por exemplo, ao longo dos cursos d’água e em encostas íngremes. Pesquisas de opinião tomadas imediatamente após a votação indicaram 80% da população sendo contra qualquer mudança no Código Florestal (Lopes, 2011). A aparente explicação para o resultado encontra-se no poder financeiro de plantadores de soja e de outros interesses de agronegócio e pecuária. A bancada “ruralista” tem

consistentemente usado sua influência para enfraquecer regulamentos ambientais de todos os tipos, significando que qualquer legislação proposta para apertar as exigências do EIA seria susceptível de receber alterações dando legislação final o efeito oposto (Fearnside & Laurance, 2012).

Uma barreira final é a legislação sobre suspensão de segurança mencionada anteriormente. Estas leis servem como uma espécie de “rede de segurança” para desenvolvedores de barragens e outros projetos, permitindo que os tribunais deixem os projetos procederem até a conclusão independente de quantas leis, garantias constitucionais ou acordos internacionais sejam violados, uma vez que o único critério necessário é que o projeto seja importante para a “economia pública”, como é o caso com todas as hidrelétricas (ver Fearnside, 2015a). Estas leis foram criadas pela ditadura militar que governou o Brasil de 1964 a 1985 (Lei nº 4.348, de 26 de junho de 1964; substituído pela Lei 12.016, de 07 de agosto de 2009), e, após a Constituição Federal de 1988 criar o Ministério Público para defender os interesses do povo, as suspensões de segurança foram clarificadas para incluir a anulação de quaisquer ações desta nova instância (Artigo 04 da Lei 8.437 de 30 de junho de 1992).

As “suspensões de segurança” do Brasil são um tipo de “securitização”, como tais práticas são conhecidas nos campos da ciência política e relações internacionais (não deve ser confundido com o termo homólogo no campo de economia). A “securitização” refere-se a classificar um determinado assunto como uma questão de segurança nacional, assim ganhando tanto a sanção oficial como o apoio popular para superar barreiras legais ou outras que iriam dificultar a resolução da suposta questão de segurança (e.g., Molle et al., 2009b). É claro, isso também pode fornecer uma ferramenta útil para contornar restrições sobre projetos de desenvolvimento que são planejadas por razões não relacionadas com a segurança, tais como barragens da Amazônia. A securitização é uma tática que se estende para além da invocação de “suspensão de segurança” na legislação brasileira: um caso recente de outro tipo de projeto de desenvolvimento na Amazônia é a rodovia BR-319 (Manaus-Porto Velho), cuja “segurança nacional” foi invocada para justificar proceder sem o Estudo de Viabilidade Econômica que é exigido de todos os grandes projetos de infraestrutura, apesar desta rodovia não ser uma prioridade para a segurança de acordo com as autoridades militares (Fearnside, 2012b).

A existência de “suspensões de segurança” não é amplamente conhecida no Brasil, mesmo entre acadêmicos e outros profissionais fora da área jurídica. Isso resulta em pouco impulso para mudar essas leis.

Somado a isso está a velha máxima no Brasil que “a lei é para ser obedecida, não para ser questionada”. Embora a violação de leis seja comum no Brasil, não é comum haver ação popular dirigida a induzir os legisladores para mudarem as leis. Ao em vez disso, a tradição no Brasil, que data da época colonial, é de contornar restrições inconvenientes em todos os níveis através de subterfúgios informais: o “*jeitinho brasileiro*” (Rosenn, 1971). A revogação de cláusulas de “suspensão de segurança” (e.g., Artigo 04 da lei 8.437 de 30 de junho de 1992 e Artigo 15 da lei 12.016 de 07 de agosto de 2009), é um pré-requisito evidente para evitar uma repetição interminável dos problemas ilustrados pela barragem de São Luiz do Tapajós.

Estas barreiras permitiram outros projetos de barragem a prosseguirem independentemente de impactos e irregularidades de licenciamento. A usina de Belo Monte, descrita como “totalmente ilegal” pelo Ministério Público Federal (Miotto, 2011), oferece um exemplo recente. No caso de São Luiz do Tapajós, o principal contrapeso para os defensores da barragem é a sensibilidade para as consequências políticas ao governo se as tensões chegam a provocar derramamento de sangue. Esta é uma possibilidade real, dada a determinação dos Mundurucus para “lutar até o fim” (Sandy, 2015).

## CONCLUSÕES

O EIA da barragem de São Luiz do Tapajós ignora vários impactos socioeconômicos graves e minimiza outros. Este tratamento se encaixa em um padrão de tais relatórios, sendo elaborados para favorecer a aprovação do projeto pelas autoridades ambientais, não importando o quão grave sejam os impactos, ao invés de servir como uma base para a tomada de decisão racional e como uma ferramenta para proteger os moradores locais. Isto precisa ser mudado para garantir que os proponentes e o processo de EIA sejam separados, por exemplo, tendo o dinheiro para preparar o EIA colocado em um fundo independente e a seleção e pagamento de empresas de consultoria e outros sendo feito sem a participação dos proponentes.

Os impactos ambientais e sociais, que são catalogados em um EIA, não tem essencialmente nenhuma influência sobre a decisão global de proceder com um projeto, como no caso de uma usina hidrelétrica, sendo que a decisão é feita antes que informações sobre impactos sejam coletadas e com base na atratividade financeira percebida. Este sistema precisa ser alterado para que a coleta de informação e o debate público ocorram antes da decisão.

A tomada de decisões e o processo de licenciamento fornecem um exemplo do “triângulo de ferro”, onde a interação de corporações, políticos e burocratas do governo resulta em projetos de infraestrutura que vão em frente, independentemente da magnitude dos seus custos monetários e não monetários.

O licenciamento da barragem de São Luiz do Tapajós também ilustra um processo contestado e mostra que o governo não é monolítico, contendo bastantes atores com diversos pontos de vista. É evidente o poder político muito maior dos atores pró-barragem

O exemplo de São Luiz do Tapajós serve como um aviso da fraqueza das proteções contra impactos sérios das dezenas de outras grandes barragens planejadas na Amazônia brasileira, bem como em outros países com sistemas similares de tomada de decisão.

Além de reforma dos processos de decisão e de licenciamento, incluindo o EIA, alterações legislativas são necessárias para remover a grande arma dos interesses de construção de barragens, o seja, a legislação que concede “suspensões de segurança” para anular quaisquer proteções legais ou constitucionais que impedem um projeto que é importante para a “economia pública”.

Atualmente, todas as necessidades para alterações de leis são restringidas pela dominação do Congresso Nacional brasileiro pelo bloco “Ruralista” que representa os grandes proprietários de terras e que se opõem às restrições ambientais de todos os tipos.

O resultado do drama que avança rapidamente no rio Tapajós, bem como em outros locais onde represas estão planejadas em toda a Amazônia brasileira, depende do embate que se realiza no chão nas áreas afetadas, particularmente a luta entre povos indígenas como os Mundurucus e os três vértices do “triângulo de ferro”.

## AGRADECIMENTOS

As pesquisas do autor são financiadas por: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processos nº305880/2007-1, nº304020/2010-9, nº573810/2008-7, nº575853/2008-5), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) (processo nº 708565) e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) (PRJ13.03). O Greenpeace custeou despesas de viagem no Tapajós e incluirá uma versão deste texto em um compêndio sobre o EIA da usina de São Luiz do Tapajós. M.A. dos Santos Junior fez os mapas. N. Hamada e P.M.L.A. Graça contribuíram comentários.

Agradeço especialmente aos Mundurukus. Esta é uma tradução de Fearnside (2015b).

## LITERATURA CITADA

- Adams, G. 1981. *The Politics of Defense Contracting: The Iron Triangle*. Transaction Publishers, New Brunswick, New Jersey, E.U.A. 450 p.
- Amazonas em Tempo. 2015. Delator deverá revelar propina em Belo Monte. *Amazonas em Tempo*, 07 de março de 2015, p. B-3. <http://issuu.com/amazonasemtempo/docs/emtempo-07-03-15> (acessado 13 de junho de 2015).
- Ansar, A., B. Flyvbjerg, A. Budzier & D. Lunn. 2014. Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. *Energy Policy* 69: 43–56. doi:10.1016/j.enpol.2013.10.069
- Aranha, A. 2015. “A Funai está sendo desvalorizada e sua autonomia totalmente desconsiderada”, diz ex-presidente. *Publica Agência de Reportagem e Jornalismo Investigativo*, 27 de janeiro de 2015. <http://apublica.org/2015/01/a-funai-esta-sendo-desvalorizada-e-sua-autonomia-totalmente-desconsiderada-diz-ex-presidente/>
- Aranha, A. & J. Mota. 2014a. Um aviso à Funai. *Publica Agência de Reportagem e Jornalismo Investigativo*, 29 de novembro de 2014. <http://apublica.org/2014/11/um-aviso-a-funai/>
- Aranha, A. & J. Mota. 2014b. Relatório da Funai determina que terra é dos Munduruku. *Publica Agência de Reportagem e Jornalismo Investigativo*, 11 de dezembro de 2014. <http://apublica.org/2014/12/relatorio-funai-determina-que-terra-e-dos-munduruku/>
- Aranha, A. & J. Mota. 2014c. A batalha pela fronteira Munduruku. *Publica Agência de Reportagem e Jornalismo Investigativo*, 11 de dezembro de 2014. <http://apublica.org/2014/12/batalha-pela-fronteira-munduruku/>
- Aranha, A. & J. Mota. 2015. Hidrelétricas do rio Tapajós devem desalojar mais de 2500 ribeirinhos. *Agência Pública*, apublica.org, 09/02/2015. <http://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2015/02/09/hidreletricas-do-rio-tapajos-devem-desalojar-mais-de-2500-ribeirinhos.htm>
- Barreto, P., A. Brandão Jr., S.B. Silva & C. Souza Jr. 2014. O risco de desmatamento associado a doze hidrelétricas na Amazônia. p. 147-173 In: de Sousa Júnior, W.C. (ed.). *Tapajós: hidrelétricas, infraestrutura e caos: elementos para a governança da sustentabilidade em uma região singular*, 1a. ed. ITA/CTA, São José dos Campos, SP. 192 p. [http://www.bibl.ita.br/download/Tapajos\\_Ebook.pdf](http://www.bibl.ita.br/download/Tapajos_Ebook.pdf)
- Borges, A. 2014. Hidrelétrica no Tapajós é adiada para 2020. *O Estado de São Paulo*, 01 de outubro de 2014. <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral/hidreletrica-no-tapajos-e-adiada-para-2020-imp-,1568849>
- Brasil, MT (Ministério dos Transportes). 2010. *Diretrizes da Política Nacional de Transporte Hidroviário*. MT, Secretaria de Política Nacional de Transportes, Brasília, DF. <http://www2.transportes.gov.br/Modal/Hidroviario/PNHidroviario.pdf>
- Brasil, PR (Presidência da República). 2004. Decreto No. 5.051 de 19 de abril de 2004. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5051.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5051.htm)
- Carvalho, C. 2013. Biólogos são sequestrados por índios mundurukus no Pará. Ação ocorreu em Itaituba, na região da Bacia de Tapajós, onde estão espalhadas 118 aldeias. *O Globo*, 21 de junho de 2013. <http://oglobo.globo.com/economia/biologos-sao-sequestrados-por-indios-mundurukus-no-para-8780653>
- Cernea, M.M. 1988. *Involuntary Resettlement in Development Projects: Policy Guidelines in World Bank-Financed Projects*. (World Bank technical paper no. 80), The World Bank, Washington, DC, E.U.A.: 88 p. Disponível em: <http://elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/0-8213-1036-4>
- Cernea, M.M. 2000. Impoverishment risks, safeguards, and reconstruction: A model for population displacement and resettlement. In: M. Cernea & C. McDowell (eds.) *Risks and Reconstruction. Experiences of Resettlers and Refugees*. The World Bank, Washington, DC, E.U.A. 504 p.
- CNEC Worley Parsons Engenharia, S.A. 2014a. *EIA: AHE São Luiz do Tapajós; Estudo de Impacto Ambiental, Aproveitamento Hidrelétrico São Luiz do Tapajós*. CNEC (Consórcio Nacional dos Engenheiros Consultores), São Paulo, SP. 25 Vols. + anexos. [http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Sao%20Luiz%20do%20Tapajos/EIA\\_RIMA/](http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Sao%20Luiz%20do%20Tapajos/EIA_RIMA/)
- CNEC Worley Parsons Engenharia, S.A. 2014b. *Estudo de Viabilidade do AHE São Luiz do Tapajós*. CNEC (Consórcio Nacional dos Engenheiros Consultores), São Paulo, SP. 11 Vols. + anexos.
- Coudreau, H. 1977 [1896]. *Viagem ao Tapajós*. Itaituba, Belo Horizonte, MG & Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 162 p.
- Fariello, D. 2014. Governo marca leilão para hidrelétrica no Rio Tapajós, mas não consulta Funai: Parecer da entidade é necessário para emissão de licença ambiental em obras que afetam terras indígenas. *O Globo*. 13/09/2014 <http://oglobo.globo.com/economia/infraestrutura/governo-marca-leilao-para-hidreletrica-no-rio-tapajos-mas-nao-consulta-funai-13925833>
- Fearnside, P.M. 1986. *Human Carrying Capacity of the Brazilian Rainforest*. Columbia University Press, New York, NY, E.U.A. 293 p.
- Fearnside, P.M. 1999. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management* 24(4): 483-495. doi: 10.1007/s002679900248
- Fearnside, P.M. 2007. Brazil's Cuiabá-Santarém (BR-163) Highway: The environmental cost of paving a soybean corridor through the Amazon. *Environmental Management* 39(5): 601-614. doi: 10.1007/s00267-006-0149-2
- Fearnside, P.M. 2012a. Belo Monte Dam: A spearhead for Brazil's dam building attack on Amazonia? GWF Discussion Paper 1210, Global Water Forum, Canberra, Austrália. 6 p. <http://www.globalwaterforum.org/wp-content/uploads/2012/04/Belo-Monte-Dam-A-spearhead-for-Brazils-dam-building>



- attack-on-Azonia\_-GWF-1210.pdf (acessado 13 de junho de 2015).
- Fearnside, P.M. 2012b. Segurança nacional na Amazônia. In: Val, A.L.; dos Santos, G.M. (Eds.), *GEEA: Grupo de Estudos Estratégicos Amazônicos*. Tomo V. Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. p. 177 & 191.
- Fearnside, P.M. 2013. Decision-making on Amazon dams: Politics trumps uncertainty in the Madeira River sediments controversy. *Water Alternatives* 6(2): 313-325. <http://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol6/v6issue2/218-a6-2-15/file>
- Fearnside, P.M. 2014a. Impacts of Brazil's Madeira River dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Science & Policy* 38: 164-172. doi: 10.1016/j.envsci.2013.11.004.
- Fearnside, P.M. 2014b. Brazil's Madeira River dams: A setback for environmental policy in Amazonian development. *Water Alternatives* 7(1): 156-169. <http://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol7/v7issue1/244-a7-1-15/file>
- Fearnside, P.M. 2014c. *Análisis de los Principales Proyectos Hidro-Energéticos en la Región Amazónica*. Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR), Centro Latinoamericano de Ecología Social (CLAES) & Panel Internacional de Ambiente y Energía en la Amazonia, Lima, Peru, 55 p. [http://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/147\\_Proyecto\\_hidro-energeticos.pdf](http://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/147_Proyecto_hidro-energeticos.pdf)
- Fearnside, P.M. 2015a. Amazon dams and waterways: Brazil's Tapajós Basin plans. *Ambio* 44: 426-439. doi: 10.1007/s13280-015-0642-z
- Fearnside, P.M. 2015b. Brazil's São Luiz do Tapajós Dam: The art of cosmetic environmental impact assessments. *Water Alternatives* 8(3): 373-396.
- Fearnside, P.M. & R.I. Barbosa. 1996. Political benefits as barriers to assessment of environmental costs in Brazil's Amazonian development planning: The example of the Jatapu Dam in Roraima. *Environmental Management* 20(5): 615-630. doi: 10.1007/BF01204135
- Fearnside, P.M. & P.M.L.A. Graça. 2009. BR-319: A rodovia Manaus-Porto Velho e o impacto potencial de conectar o arco de desmatamento à Amazônia central. *Novos Cadernos NAEA* 12(1): 19-50.
- Fearnside, P.M. & W.F. Laurance. 2012. Infraestrutura na Amazônia: As lições dos planos plurianuais. *Caderno CRH* 25(64): 87-98. doi: 10.1590/S0103-49792012000100007
- FGV (Fundação Getúlio Vargas). 2014. Metodologia e Matriz de Indicadores. Novembro/2014. <http://www.indicadoresdebelomonte.com.br/2014/12/metodologia-e-matriz-de-indicadores/>
- Fonseca, B. 2014. Entenda como se desenvolveu a disputa pelo futuro da bacia do Tapajós, um dos últimos grandes rios da Amazônia de potencial hidrelétrico inexplorado. *Publica*, 11 de dezembro de 2014. <http://apublica.org/linha-do-tempo-decadas-de-luta-pelo-tapajos/>
- FUNAI (Fundação Nacional do Índio). 2006. Mapa da Funai de indígenas isolados. FUNAI, Coordenação Geral de Índios Isolados (CGII), Brasília, DF. Disponível em: <http://www.almadorio.org.br/images/mapafunai.jpg>
- FUNAI (Fundação Nacional do Índio). 2014. Informação nº 249/COEP/CGLIC/DPDS/FUNAI-MJ. 25 de setembro de 2014. Assunto: UHE São Luiz do Tapajós. Componente indígena do processo de licenciamento ambiental. Referência: Processo Funai nº 08620.000765/2009-09; ACP nº 3883-98.2012.4.0 1.3902. FUNAI, Diretoria de Promoção ao Desenvolvimento Sustentável (DPDS), Coordenação Geral de Licenciamento Ambiental (CGLIC), Coordenação do Componente Indígena de Energia. Petróleo e Gás (COEP), Brasília, DF. 5 pp. Disponível em: <http://apublica.org/wp-content/uploads/2014/12/funai-25-setembro.pdf>
- Gama, P. 2013. Maiores doadoras somam gasto de R\$1 bi desde 2002. Construtores e bancos são principais financiadores de campanhas eleitorais. *Folha de São Paulo*, 21 de janeiro de 2013. p A-6. <http://acervo.folha.com.br/fsp/2013/01/21/2> (acessado 13 de junho de 2015).
- Gonzaga, A.V. 2012. Floresta Nacional Itaituba II. Ministério do Meio Ambiente, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Coordenação Regional -CR 3, Itaituba, Pará. 10 p. <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/servicos/Relat%C3%B3rio%20Garimpos%20e%20Hidrel%C3%A9tricas.pdf>
- Hernandez, F.M. & S.B.M. Santos. 2011. Ciência, cientistas e democracia desfigurada: O caso de Belo Monte. *Novos Cadernos NAEA* 14(1): 79-96.
- ILO (International Labor Organization). 1989. C169 - Indigenous and Tribal Peoples Convention, 1989 (No. 169). [http://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100\\_ILO\\_CODE:C169](http://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C169)
- ILO (International Labor Organization). 2005. Contribution of the ILO. International Workshop on Free, Prior and Informed Consent and Indigenous Peoples (New York, 17-19 January 2005). PFII/2005/WS.2/4. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Division for Social Policy and Development, Secretariat of the Permanent Forum on Indigenous Issues, New York, NY, E.U.A. [http://www.un.org/esa/socdev/unpfi/documents/workshop\\_FPIC\\_ILO.doc](http://www.un.org/esa/socdev/unpfi/documents/workshop_FPIC_ILO.doc)
- ISA (Instituto Socioambiental). 2014. *Nota Técnica – Estado de Cumprimento das Condicionantes Referentes à Proteção das Terras Indígenas Impactadas pela Usina Belo Monte. 13 de fevereiro de 2014*. ISA Programa Xingu, Altamira, Pará. [http://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/nota\\_tecnica\\_-\\_condicionantes\\_indigenas\\_final\\_pdf1.pdf](http://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/nota_tecnica_-_condicionantes_indigenas_final_pdf1.pdf)
- Lopes, R.J. 2011. Datafolha indica que 80% rejeitam corte de proteção a matas. *Folha de São Paulo* 13 de junho de 2011. [www1.folha.uol.com.br/ambiente/929142-datafolha-indica-que-80-rejeitam-corte-de-protacao-a-matas.shtml](http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/929142-datafolha-indica-que-80-rejeitam-corte-de-protacao-a-matas.shtml) (acessado 15 de junho de 2015).

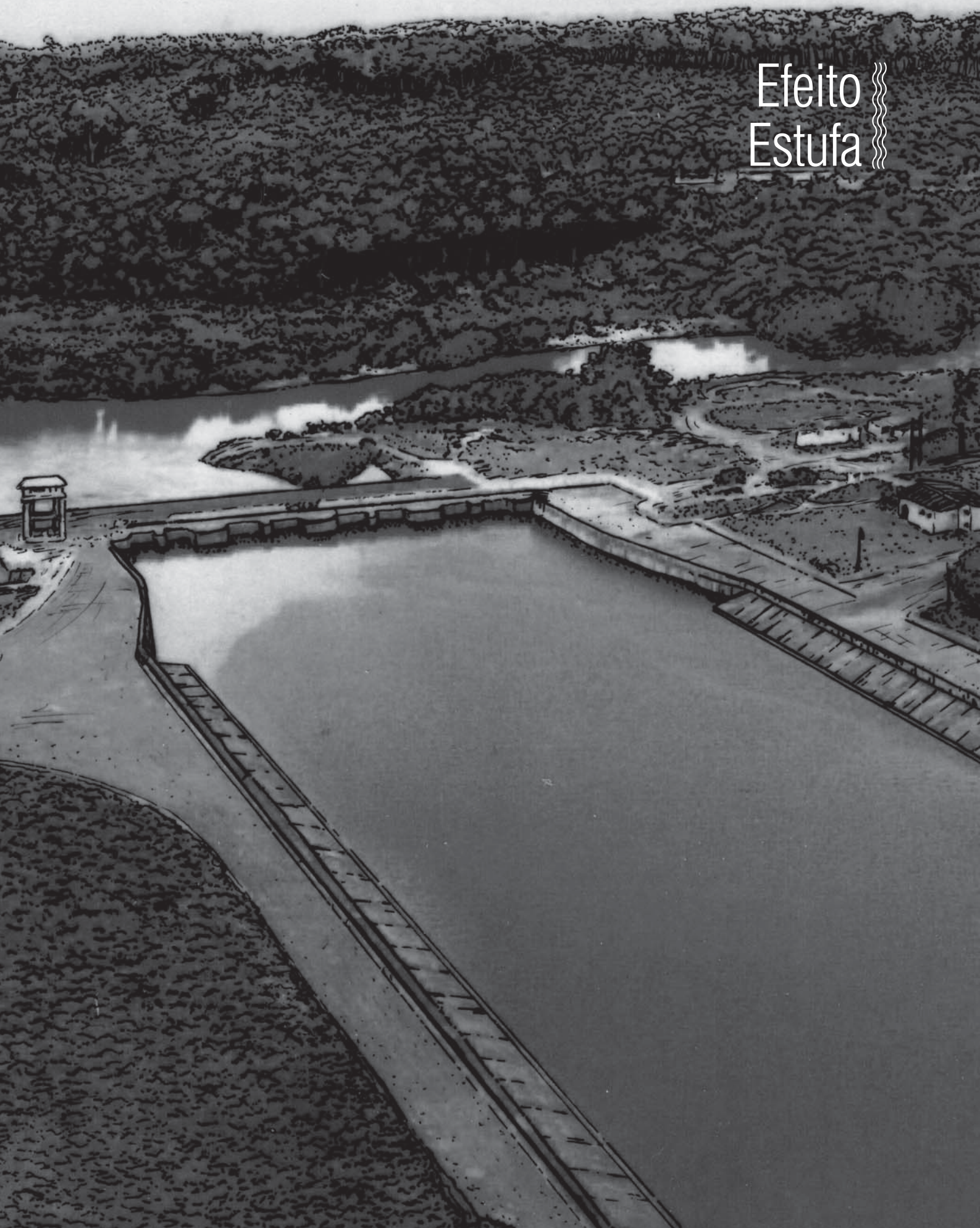


- MDK. 2014. Funai admite: interesse hidrelétrico compromete demarcação de Território Indígena. <http://vimeo.com/111974175>
- Miotto, K. 2011. Norte Energia inicia obras de Belo Monte. *O Eco*, 09 de março de 2011. [www.oeco.org.br/noticias/24867-norte-energia-inicia-obras-de-belo-monte](http://www.oeco.org.br/noticias/24867-norte-energia-inicia-obras-de-belo-monte) (acessado 15 de junho de 2015).
- Molle, F.; Lebel, L.; Foran, T. (Eds.). 2009a. *Contested Waterscapes in the Mekong Region: Hydropower, Livelihoods and Governance*, Earthscan, London, Reino Unido. 413 p.
- Molle, F.; Mollinga, P.P.; Wester, P. 2009b. Hydraulic bureaucracies and the hydraulic mission: Flows of water, flows of power. *Water Alternatives* 2(3): 328-349.
- MPF-PA (Ministério Público Federal no Pará). 2006. Ação Civil Pública n. 2006.39.02.000512-0, Vara Única da Subseção Judiciária de Santarém. Ministério Público Federal 16 de junho de 2006. MPF-PA, Santarém, Pará.
- MPF-PA (Ministério Público Federal no Pará). 2013. Recomendação/3º Ofício/PRM/STM Nº 2, de 26 de Fevereiro de 2013. MPF-PA, Santarém, Pará. [http://www.prpa.mpf.mp.br/institucional/prpa/recomendacoes/2013/Recomendacao\\_PRM\\_Santarem\\_INSS\\_Itaituba\\_seguro\\_especial\\_Montanha\\_Mangabal.pdf](http://www.prpa.mpf.mp.br/institucional/prpa/recomendacoes/2013/Recomendacao_PRM_Santarem_INSS_Itaituba_seguro_especial_Montanha_Mangabal.pdf)
- Oliver-Smith, A. (ed.). 2009. *Development and Dispossession: The Crisis of Development Forced Displacement and Resettlement*. SAR Press, London, Reino Unido. 344 p.
- Oliver-Smith, A. 2010. *Defying Displacement: Grassroots Resistance and the Critique of Development*. University of Texas Press, Austin, Texas, E.U.A. 303 p.
- Palmquist, H. 2014. Usina Teles Pires: Justiça ordena parar e governo federal libera operação, com base em suspensão de segurança. *Ponte*, 27/11/14. <http://ponte.org/usina-teles-pires-justica-ordena-parar-e-governo-federal-libera-operacao-com-base-em-suspensao-de-seguranca/>
- Publica (Publica Agência de Reportagem e Jornalismo Investigativo). 2014. Munduruku Ocupam Funai. *Publica*, 28/11/2014. <http://faor.org.br/?noticiaId=1412>
- Rosenn, K.S. 1971. The jeito: Brazil's institutional bypass of the formal legal system and its development implications. *The American Journal of Comparative Law* 19: 514-549.
- Sandy, M. 2015. 'We will fight to the end': Amazon tribe faces off against a \$9.9 billion dam. *Aljazeera America*, 26 de maio de 2015. <http://projects.aljazeera.com/2015/05/brazil-dam/> (acessado 13 de junho de 2015).
- Santos, S.B.M. & F.M. Hernandez (eds.). 2009. *Painel de Especialistas: Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte*. Painel de Especialistas sobre a Hidrelétrica de Belo Monte, Belém, Pará. 230 p. [http://www.xinguvivo.org.br/wp-content/uploads/2010/10/Belo\\_Monte\\_Painel\\_especialistas\\_EIA.pdf](http://www.xinguvivo.org.br/wp-content/uploads/2010/10/Belo_Monte_Painel_especialistas_EIA.pdf) (acessado 15 de junho de 2015).
- Scofield Jr., G. 2011. Empreiteiras recebem R\$ 8,5 por cada real doado a campanha de políticos. *O Globo* [Rio de Janeiro], 07 de maio de 2011. <http://oglobo.globo.com/economia/empreiteiras-recebem-85-por-cada-real-doado-campanha-de-politicos-2773154#ixzz1vFriSQgF> (acessado 13 de junho de 2015).
- Scudder, T. 2006. *The Future of Large Dams: Dealing with Social, Environmental, Institutional and Political Costs*. Routledge, London, Reino Unido. 408 p.
- Seixas, B.C.S.; P.R. de Almeida e Castro & I.N.R. Ferreira. 2013. *Relatório Circunstanciado de Identificação e Delimitação da Terra Indígena Sawré Muybu (Pimental)/PA*. Setembro de 2013. Fundação Nacional do Índio (FUNAI), Brasília, DF. 194 p. Disponível em: <http://apublica.org/2014/12/relatorio-funai-determina-que-terra-e-dos-munduruku/>
- Sposati, R. 2013. Mundurukus expulsam pesquisadores de suas terras. Dilma manda a Força Nacional. *Língua Ferina*, 04 de junho de 2013. <http://faor.org.br/?noticiaId=1209>
- Torres, M.G. 2008. *A Beiradeira e o Grilador: Ocupação no Oeste do Pará*. Dissertação de mestrado em geografia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP. 330 p. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-27112008-132446/pt-br.php>
- Torres, M.G. 2012. *Terra privada, vida devoluta: ordenamento fundiário e destinação de terras públicas no oeste do Pará*. Tese de doutorado em geografia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP. 878 p. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-14012013-155757/pt-br.php>
- Torres, M.G. & W. Figueiredo. 2006. Caracterização da ocupação, por população ribeirinha, da porção da margem esquerda do rio Tapajós compreendida entre os igarapés Montanha e José Rodrigues, Alto Tapajós, Itaituba, Pará. Relatório ref. Procedimento Administrativo No. 1.23002.00109/2005-90 anexo à acp n. 2006.39.02.000512-0 da Subseção Judiciária de Santarém. Ministério Público Federal/Procuradoria da República no Município de Santarém, Santarém, Pará.
- Victor, A.; C. Souza Jr. & A. Veríssimo. 2014. Forest Transparency, Brazilian Amazon, July 2014. Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazônia (IMAZON), Belém, Pará. 10 p. <http://imazon.org.br/PDFimazon/Ingles/forest-transparency/SAD-July2014.pdf>
- WCD (World Commission on Dams). 2000. Dams and Development – A New Framework for Decision Making – The Report of World Commission on Dams. WCD & Earthscan, London, Reino Unido. 404 p.
- Xingu Vivo. 2013. Belo Monte: canteiro de obras ocupado, contra as hidrelétricas na Amazônia. Fórum da Amazônia Oriental – FAOR, 02 de maio de 2013. <http://faor.org.br/?noticiaId=1075>
- Zetland, D. 2009. The end of abundance: How water bureaucrats created and destroyed the southern California oasis. *Water Alternatives* 2(3): 350-369.





# Efeito Estufa







# Capítulo 25



## **Controvérsias sobre o efeito estufa. Porque a energia hidrelétrica não é limpa.**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução abreviada de:

Fearnside, P.M. 2007. Why hydropower is not clean energy. *Scitizen*, Paris, França (site refereado por pares). [http://www.scitizen.com/screens/blogPage/viewBlog/sw\\_viewBlog.php?idTheme=14&idContribution=298](http://www.scitizen.com/screens/blogPage/viewBlog/sw_viewBlog.php?idTheme=14&idContribution=298)

Republicado de:

Fearnside, P.M. 2008. Controvérsias sobre o efeito estufa. Por que a energia hidrelétrica não é limpa. pp. 270-271 In: I.S. Gorayeb (ed.). *Amazônia*. Jornal "O Liberal"/VALE, Belém, Pará. 384 p. [também publicado no jornal *O Liberal* 30 Jan. 2008].

A energia de hidrelétrica é geralmente apresentada como “energia limpa”, pelo menos na perspectiva do aquecimento global. Evidentemente, os reservatórios de hidrelétricas são bem conhecidos por causarem outros graves impactos, tais como: deslocar populações humanas e alterar radicalmente os ecossistemas terrestres e aquáticos. Infelizmente, as emissões de gases têm efeito que representam um significativo impacto adicional de muitas barragens, especialmente nos trópicos. A indústria hidrelétrica tem reagido fortemente para desvalorizar estas conclusões, mas sucessivas confirmações dos resultados torna esta resistência cada vez mais difícil de justificar.

“It’s baloney!” [“É asneira!”]. Foi esta a resposta inicial da indústria, tal como expressa pelo porta-voz da Associação Hidrelétrica dos Estados Unidos. O que tinha suscitado a reação foi o meu cálculo para a hidrelétrica de Balbina, que mostrou essa barragem sendo pior do que os combustíveis fósseis, em termos de emissões de gases do efeito estufa (Fearnside, 1995). Um grupo canadense também havia mostrado que os reservatórios da zona temporada podem liberar gases do efeito estufa (Rudd et al., 1993). Isso foi apenas o início de um longo debate, que continua até hoje. Mensurações diretas têm confirmado que as grandes quantidades de água que atravessam as turbinas de barragens tropicais liberam metano logo abaixo das barragens de Petit-Saut, na Guiana Francesa (April et al., 2005), e Balbina, no Brasil (Kemenes et al., 2007).

Publiquei um artigo na revista *Water, Air and Soil Pollution*, onde digo que, em 1990, a UHE-Tucuruí (então com 6 anos de idade) liberava mais gases do efeito estufa do que a cidade de São Paulo (Fearnside, 2002). Mais uma vez ocorreram reações. O então presidente da Eletrobrás (agência governamental brasileira que promove barragens hidrelétricas) alegou que o estudo mostrou que aqueles que dizem que hidrelétricas promovem grandes emissões de gases do efeito estufa, (ou seja, eu) estão a serviço dos *lobbies* das termoelétricas e da energia nuclear (Rosa et al., 2004; ver resposta: Fearnside, 2004).

Em um revide seguinte (Rosa et al., 2006; ver resposta: Fearnside, 2006), disseram que as bolhas de uma garrafa de guaraná, tomada lentamente ao longo de meia hora, iriam revelar o erro de minha utilização de Coca-Cola como a ilustração da Lei de Henry – princípio químico de que os gases têm maior solubilidade sob maior pressão (ver McCully, 2006). Eu tinha usado como exemplo as bolhas de CO<sub>2</sub> liberadas quando uma garrafa de Coca-Cola é aberta, para explicar por que tanto metano (CH<sub>4</sub>) é

liberado quando a água do fundo de um reservatório sai das turbinas. Infelizmente, faz pouca diferença se todas as bolhas de gás surgem imediatamente ou se o processo continua por meia hora ou mais (como aconteceu com uma garrafa de guaraná). O fato importante é que a água no fundo de um reservatório está sob alta pressão e contém uma elevada concentração de metano dissolvido. Quando a pressão é liberada subitamente na hora da água sair das turbinas, a maior parte deste metano é liberado.

Metano se acumula na água perto da parte inferior da coluna d’água do reservatório porque é termicamente estratificada (geralmente a um ponto menos de 10 m abaixo da superfície), de tal forma que a água fria na camada profunda não se mistura com a camada mais quente na superfície. Então as águas profundas praticamente não tem oxigênio e a decomposição termina em CH<sub>4</sub>, em vez de CO<sub>2</sub>. O material orgânico submerso continua em decomposição, vindo tanto da vegetação original e do solo que estavam presentes antes do reservatório ser formado, como do carbono que entre no reservatório, da vegetação mole que cresce anualmente na faixa de terra nas margens, que é exposta à flutuação no nível do reservatório. Ao contrário de um lago natural, onde um córrego drena a água próxima da superfície, uma represa hidrelétrica é como uma banheira onde se puxa a tampa do fundo. A saída de um reservatório é através de turbinas que estão localizadas em profundidades onde a água está cheia de metano. Embora as emissões sejam maiores nos primeiros anos depois do reservatório ser enchida, o alagamento anual pode sustentar permanentemente um apreciável nível de emissões (Fearnside, 2005).

Uma vez que uma tonelada de metano é equivalente a 21 toneladas de CO<sub>2</sub>, em termos de impacto sobre o aquecimento global, de acordo com as conversões adotadas no âmbito do Protocolo de Quioto, esta libertação de gás das barragens hidrelétricas dá uma contribuição significativa para o efeito estufa. As omissões do metano emitido a partir das turbinas e dos vertedouros são a principal razão pela qual a minha estimativa de emissões de gases emitidos por barragens hidrelétricas brasileiras é mais de dez vezes superior às estimativas oficiais que o Brasil apresentou para a Convenção do Clima em seu inventário nacional (Brasil, MCT, 2004, p. 154). É pertinente mencionar que o funcionário responsável pelo inventário nacional do Brasil confessou, publicamente, que ele convidou a Eletrobrás para coordenar a parte do relatório sobre emissões de hidrelétricas, especificamente porque essa agência produziria um resultado

politicamente conveniente que poderia evitar pressões internacionais sobre o Brasil, para reduzir suas emissões (Brasil, MCT, 2002; ver Fearnside, 2004).

A controvérsia sobre gases do efeito estufa a partir de barragens hidrelétricas, assim como em muitas controvérsias científicas, pode levar as pessoas não envolvidas na questão a supor que a verdade deve situar-se entre os dois lados, provavelmente no ponto médio. O teorema do centro-limite é um bom guia para a interpretação de uma série de medições, por exemplo no caso de medições das concentrações de gás na água em um determinado local e momento, mas infelizmente, o teorema não se aplica quando as diferenças são causados por omissões de componentes importantes de um problema, neste caso, as principais fontes de emissões de metano: as turbinas e os vertedouros. Ambas posições desta controvérsia estão disponíveis na seção “Controvérsias Amazônicas”, do site <http://philip.inpa.gov.br>. Esta questão da emissão de represas hidrelétricas tem ganhado maior atenção pública na sequência da troca de opiniões na revista *Climatic Change* (Fearnside, 2004, 2006; Rosa et al., 2004, 2006).

O fato de que barragens hidrelétricas produzem significantes emissões de gases tem uma variedade de implicações práticas: uma delas é a possibilidade de capturar algum metano como uma fonte de energia (Bambace et al., 2006); outra é a necessidade de reduzir o benefício líquido atribuível às barragens no cálculo de créditos de carbono que algumas delas são elegíveis para ganhar sob o Protocolo de Quioto. O mais importante é ter uma contabilidade razoavelmente completa dos impactos (e benefícios), de projetos de desenvolvimento propostos, de maneira que escolhas racionais possam ser feitas no melhor interesse da sociedade.

## REFERÊNCIAS

- Abril, G., F. Guérin, S. Richard, R. Delmas, C. Galy-Lacaux, P. Gosse, A. Tremblay, L. Varfalvy, M.A. dos Santos & B. Matvienko. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles* 19: GB 4007, doi: 10.1029/2005GB002457
- Bambace, L.A.W., F.M. Ramos, I.B.T. Lima & R.R. Rosa. 2007. Mitigation and recovery of methane emissions from tropical hydroelectric dams. *Energy* 32: 1038-1046.
- Brasil, MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). 2002. Degravação do workshop: utilização de sistemas automáticos de monitoramento e medição de emissões de gases de efeito estufa da qualidade da água em reservatórios de hidrelétricas. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos do MCT, Brasília – DF, 06 de fevereiro de 2002. (Postado de 2002 a 2006 em <http://www.mct.gov.br/clima/brasil/doc/workad.doc>; disponível em [http://philip.inpa.gov.br/SITE/publ\\_livres/Other\\_side-outro\\_lado/hydroelectric\\_emissions/Degravacao\\_de\\_workshop-workad.pdf](http://philip.inpa.gov.br/SITE/publ_livres/Other_side-outro_lado/hydroelectric_emissions/Degravacao_de_workshop-workad.pdf)).
- Brasil, MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). 2004. *Brazil's initial national communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. MCT, Brasília, DF. 271 p. (Disponível em [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/5142.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/5142.pdf)).
- Fearnside, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation*, 22(1):7-19.
- Fearnside, P.M. 2002. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution*, 133(1-4):69-96.
- Fearnside, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source. *Climatic Change*, 66(1-2):1-8.
- Fearnside, P.M. 2005. Hidrelétricas planejadas no rio Xingu como fontes de gases do efeito estufa: Belo Monte (Kararaô) e Altamira (Babaquara). p. 204-241. In: Sevã Filho, A. O. (ed.) *Tenotã-mô: alertas sobre as conseqüências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu, Pará, Brasil*. International Rivers Network, São Paulo, SP. 344 p. (Disponível em: [http://www.irn.org/programs/\\_archive/latamerica/pdf/TenotaMo.pdf](http://www.irn.org/programs/_archive/latamerica/pdf/TenotaMo.pdf)).
- Fearnside, P.M. 2006. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: reply to Rosa et al. *Climatic Change*, 75(1-2):103-109.
- Kemenes, A., B.R. Forsberg & J.M. Melack. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters* 34: L12809. doi: 10.1029/2007GL029479. 55.
- McCully, P. 2006. Fizzy science: loosening the hydro industry's grip on greenhouse gas emissions research. International Rivers Network, Berkeley, California, EUA. 24 p. (Disponível em: [http://www.irn.org/programs/madeira/index.php?id=archive/061117proj\\_pr.html](http://www.irn.org/programs/madeira/index.php?id=archive/061117proj_pr.html)).
- Rosa L.P., M.A. dos Santos, B. Matvienko, E.O. dos Santos & E. Sikar. 2004. Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions. *Climatic Change* 66(1-2): 9-21
- Rosa L.P., M.A. dos Santos, B. Matvienko, E. Sikar & E.O. dos Santos. 2006. Scientific errors in the Fearnside comments on greenhouse gas emissions (GHG) from hydroelectric dams and response to his political claiming. *Climatic Change* 75(1-2): 91-102.
- Rudd, J.W.M., Harris, R., Kelly, C.A. & Hecky, R.E. 1993. Are hydroelectric reservoirs significant sources of greenhouse gases? *Ambio*, 22 (4): 246-248.
- (Tradução abreviada de: Fearnside, P.M. 2007. Why hydropower is not clean energy. *Scitizen*, Paris, França) [http://www.scitizen.com/screens/blogPage/viewBlog/sw\\_viewBlog.php?idTheme=14&idContribution=298](http://www.scitizen.com/screens/blogPage/viewBlog/sw_viewBlog.php?idTheme=14&idContribution=298)





# Capítulo 26

---

## **Hidrelétricas na Amazônia brasileira como fontes de gases de efeito estufa**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22(1): 7-19. doi:10.1017/S0376892900034020

## RESUMO

As hidrelétricas existentes na Amazônia brasileira emitiram aproximadamente 0,26 milhões de toneladas de metano e 38 milhões de toneladas de dióxido de carbono em 1990. As emissões de metano representam uma adição permanente aos fluxos de gases da região, em vez de um impacto de uma só vez. A área total dos reservatórios planejados na região é de cerca de 20 vezes a área existente em 1990, o que implica um potencial de liberação de metano anual de cerca de 5,2 milhões de toneladas. Cerca de 40% desta emissão estimada é de decomposição subaquática da biomassa florestal, que é o mais incerto dos componentes do cálculo. O metano também é liberado em reservatórios de águas abertas, bancos de macrófitas, e acima d'água pela decomposição de biomassa florestal.

As hidrelétricas lançam um grande pulso de dióxido de carbono a partir da decomposição acima d'água das árvores deixadas em pé nos reservatórios, especialmente durante a primeira década após o fechamento. Isso eleva o impacto do aquecimento global das barragens para níveis muito mais elevados do que iria ocorrer gerando a mesma energia a partir de combustíveis fósseis. Em 1990, o represamento a montante da Hidrelétrica de Balbina (fechada em 1987) tinha um impacto de mais de 20 vezes maior sobre o aquecimento global do que gerar a mesma

quantidade de eletricidade com combustíveis fósseis, enquanto a barragem de Tucuruí (fechada em 1984) tinha 0,4 vezes o impacto de combustíveis fósseis. Devido à grande área inundada por unidade de energia gerada em Balbina, as emissões de gases de efeito estufa deverão exceder as emissões evitadas de combustíveis fósseis por tempo indeterminado.

## INTRODUÇÃO

As hidrelétricas são comumente consideradas como não tendo sérios impactos sobre o efeito estufa, em contraste com o uso de combustíveis fósseis. No entanto, a principal razão para essa suposição frequente é a ignorância das emissões de usinas hidrelétricas. Reservatórios na Amazônia brasileira (Amazônia Legal) contribuem para as emissões de gases de efeito estufa da região, embora as contribuições dos reservatórios existentes atualmente sejam pequenas em relação a outras fontes antrópicas como o desmatamento para pastagem. Existem quatro 'grandes' barragens (> 10 megawatts (MW)) na região: Balbina, no Estado do Amazonas (enchida em 1987), Curuá-Una, no Pará (1977), Samuel, em Rondônia (1988) e de Tucuruí, no Pará (1984) (Figura 1). Além disso, há pequenos reservatórios em Boa Esperança, no Maranhão (enchido antes de 1989), Jatapu em Roraima (1994), Paredão ou Coarcy Nunes no Amapá (1975), e Pitinga, no Amazonas (1982).



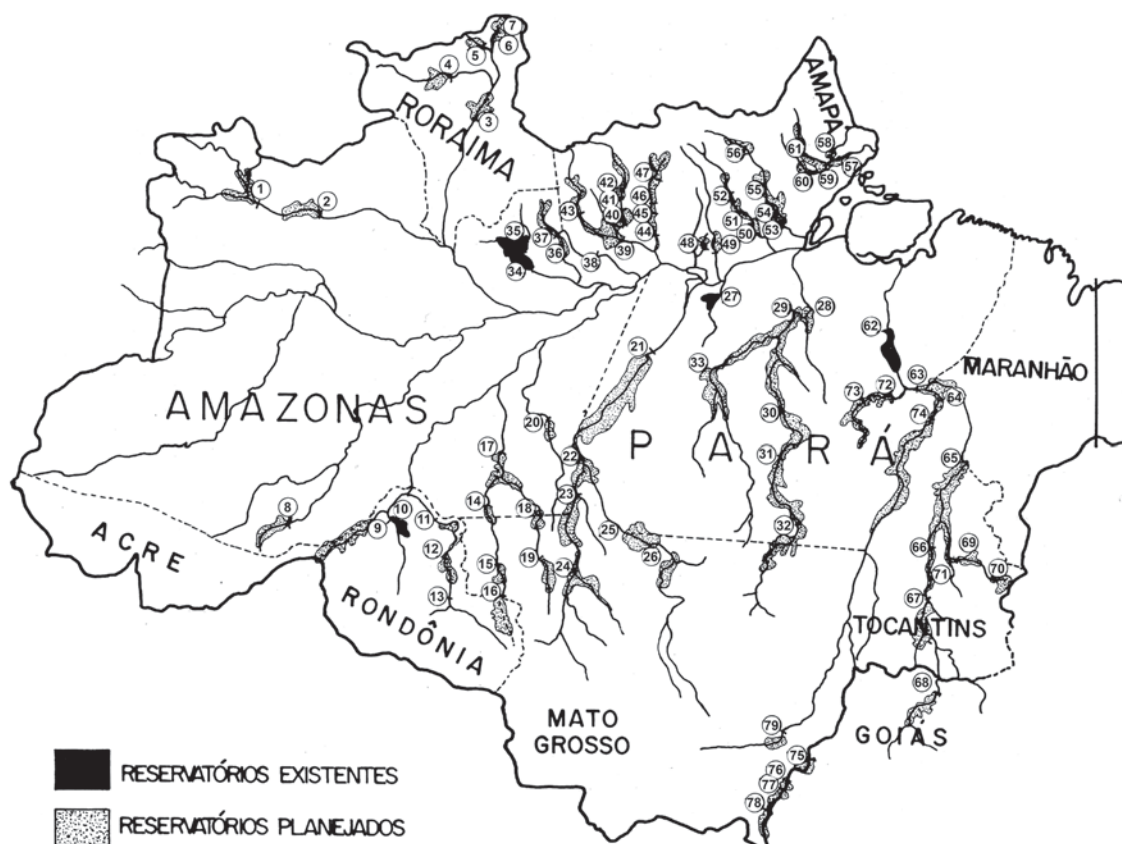
Figura 1. O Brasil da região da Amazônia Legal com os quatro grandes barragens existentes. z

A escala de desenvolvimento hidrelétrico contemplados para a Amazônia torna esta uma fonte potencialmente significativa das emissões de gases de efeito estufa no futuro. As barragens existentes e previstas são mostradas na Figura 2 e listadas na Tabela 1. As dificuldades financeiras do governo brasileiro têm repetidamente forçado a autoridade nacional de energia (ELETROBRÁS) e o monopólio do energia no norte do Brasil (ELETRONORTE) adiar os planos de construção de barragens. No entanto, a escala global dos planos, sem considerar a data prevista para a conclusão de cada barragem, mantém-se inalterada e, conseqüentemente, uma consideração importante para o futuro.

Existe pouca base para o cálculo das emissões de reservatórios. No entanto, a informação existente pode ser organizada de tal forma que permita tirar as melhores conclusões possíveis, dadas as limitações de nosso conhecimento. O presente trabalho avalia os montantes, tipos e a distribuição vertical de biomassa nas áreas inundadas por reservatórios.

Inferências aproximadas são tiradas sobre as emissões resultantes da decomposição desta biomassa, mas a incerteza é grande devido à má compreensão das taxas e caminhos de decomposição da biomassa inundada. Emissões de gases de efeito estufa de hidrelétricas são as menos bem compreendidas do que as emissões provenientes de outras formas de desmatamento na Amazônia (inundação por hidrelétricas é considerada uma forma de desmatamento; ver: Fearnside, 1993).

A contribuição final de inundação por hidrelétricas ao carbono atmosférico é muito mais fácil de calcular do que o impacto dessa inundação no balanço anual de emissões, o que requer o conhecimento das taxas de decomposição e das proporções de carbono emitidas como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). Por unidade de peso, o metano é muito mais eficaz do que o CO<sub>2</sub> em provocar o aquecimento global. A contribuição final de barragens para as emissões de carbono é a diferença entre o carbono na floresta antes do enchimento e o



**Figura 2.** Setenta e nove barragens planejadas e existentes na Amazônia brasileira. Somente barragens no sistema ELETRONORTE estão incluídas, e não aqueles planejado por governos estaduais ou empresas privadas. Redesenhado de Seva (1990), que baseou o mapa no Brasil, ELETROBRÁS (1986) e no Brasil, ELETRONORTE (1985c).

**Tabela 1.** Barragens existentes e previstas na Amazônia brasileira<sup>a</sup>

No.	Nome	Rio/Bacia	Capacidade instalada prevista (MW)
1.	São Gabriel	Uaupés/Negro	2.000
2.	Santa Isabel	Uaupés/Negro	2.000
3.	Caracarái-Mucajáí	Branco	1.000
4.	Maracá	Uraricoera	500
5.	Surumu	Cotingo	100
6.	Bacarão	Cotingo	200
7.	Santo Antônio	Cotingo	200
8.	Endimari	Ituxi	200
9.	Madeira/Caripiana	Mamoré/Madeira	3.800
10.	Samuel	Jamarí	200
11.	Tabajara-JP-3	Ji-Paraná	400
12.	Jaru-JP-16	Ji-Paraná	300
13.	Ji-Paraná-JP-28	Ji-Paraná	100
14.	Preto RV-6	Roosevelt	300
15.	Muiraquitã RV-27	Roosevelt	200
16.	Roosevelt RV-38	Roosevelt	100
17.	Vila do Carmo AN-26	Aripuanã	700
18.	Jacaretinga AN-18	Aripuanã	200
19.	Aripuanã AN-26	Aripuanã	300
20.	Umiris SR-6	Sucunduri	100
21.	Itaituba	Tapajós	13.000
22.	Barra São Manuel	Tapajós	6.000
23.	Santo Augusto	Juruena	2.000
24.	Barra do Madeira (Juruena)	Juruena	1.000
25.	Barra do Apiacás	Teles Pires	2.000
26.	Talama (Novo Horizonte)	Teles Pires	1.000
27.	Curuá-Una	Curuá-Una	100
28.	Belo Monte (Cararaó)	Xingu	8.400
29.	Babaquara	Xingu	6.300
30.	Ipixuna	Xingu	2.300
31.	Kokraimoro	Xingu	1.900
32.	Jarina	Xingu	600
33.	Irirí	Irirí	900
34.	Balbina	Uatumã	300
35.	Fumaça	Uatumã	100
36.	Onça	Jatapu	300
37.	Katuema	Jatapu	300
38.	Nhamundá/Mapuera	Nhamundá	200
39.	Cachoeira Porteira	Trombetas	1.400
40.	Tajá	Trombetas	300
41.	Maria José	Trombetas	200
42.	Treze Quedas	Trombetas	200
43.	Carona	(Trombetas)	300
44.	Carapanã	Erepecuru	600
45.	Mel	Erepecuru	500
46.	Armazém	Erepecuru	400
47.	Paciência	Erepecuru	300
48.	Curuá	Curuá	100
49.	Maecuru	Maecuru	100
50.	Paru III	Paru	200
51.	Paru II	Paru	200
52.	Paru I	Paru	100
53.	Jari IV	Jari	300



Tabela 1. Continuação

No.	Nome	Rio/Bacia	Capacidade instalada prevista (MW)
54.	Jari III	Jari	500
55.	Jari II	Jari	200
56.	Jari I	Jari	100
57.	F. Gomes	Araguari	100
58.	Paredão	Araguari	200
59.	Caldeirão	Araguari	200
60.	Arrependido	Araguari	200
61.	Santo Antônio	Araguari	100
62.	Tucuruí	Tocantins	6.600
63.	Marabá	Tocantins	3.900
64.	Santo Antônio	Tocantins	1.400
65.	Carolina	Tocantins	1.200
66.	Lajeado	Tocantins	800
67.	Ipueiras	Tocantins	500
68.	São Félix	Tocantins	1.200
69.	Sono II	Sono	200
70.	Sono I	Sono	100
71.	Balsas I	Balsas	100
72.	Itacaiúnas II	Itacaiúnas	200
73.	Itacaiúnas I	Itacaiúnas	100
74.	Santa Isabel	Araguaia	2.200
75.	Barra do Caiapó	Araguaia	200
76.	Torixoréu	Araguaia	200
77.	Barra do Peixe	Araguaia	300
78.	Couto de Magalhães	Araguaia	200
79.	Noidori	Mortes	100
Total			85.900

(a) Com base na lista derivada a partir de fontes de ELETRONORTE por Seva (1990, p. 26-27). Números das barragens correspondem à numeração na Figura 2.

carbono que permanece no reservatório depois que a floresta tenha sido decomposta e um equilíbrio for alcançado. As reservatórios em áreas de floresta tropical têm um potencial muito maior para as emissões de gases de efeito estufa do que os reservatórios em paisagens de baixa biomassa que caracterizam a maioria das usinas hidrelétricas existentes no mundo. A quantidade de energia gerada também afeta fortemente os impactos comparativos de hidrelétrica contra geração de combustíveis fósseis.

Na Amazônia, as barragens são frequentemente piores do que o petróleo a partir do ponto de vista do total final das emissões de gases de efeito estufa. O pior caso é a hidrelétrica de Balbina. Junk e Nunes de Mello (1987) calcularam que seriam necessários 114 anos de queima de combustíveis fósseis para igualar as emissões de carbono da floresta inundada em Balbina. O cálculo feito por esses autores considerou a capacidade instalada da Balbina de 250 megawatts (MW) e uma área de 1.650 km<sup>2</sup>.

A capacidade instalada de uma barragem representa o que seria gerado se todas as turbinas funcionassem durante todo o ano. Uma vez que o fluxo do rio Uatumã em Balbina é apenas suficiente para executar todas as turbinas de uma fração do ano, a produção média da barragem é de 112 MW, e as perdas na transmissão para Manaus reduz a média fornecida a 109 MW (Brasil, ELETRONORTE/Monasa/ENGE-RIO, 1976). A área do reservatório utilizado por Junk e Nunes de Mello (1987), foi baseado em estimativas preliminares que previam uma área consideravelmente menor do que as estimativas mais recentes. Considerando-se a potência média entregue a Manaus e a área 'oficial' do reservatório de 2.360 km<sup>2</sup> ao nível operacional máximo normal de 50 m de altitude acima do nível médio do mar, e tomando como base a estimativa de Junk e de Nunes de Mello, Fearnside (1989) alterou para 250 anos a estimativa de quanto petróleo teria de ser queimado para igualar as emissões finais de carbono em Balbina.

Embora útil como ilustração, o cálculo da contribuição definitiva para as emissões de carbono pouco nos diz sobre a contribuição para o balanço anual de emissões. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), assinada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), no Rio de Janeiro em junho de 1992 por 155 países mais a União Europeia, estipula que cada nação deve fazer um inventário dos estoques de carbono e os fluxos de gases do efeito estufa. Isto implica que o saldo anual de fluxos de gases de efeito estufa será o critério adotado para a atribuição de responsabilidade entre as nações para o aquecimento global. Como a biomassa florestal em reservatórios amazônicos se decompõe muito lentamente, a contribuição para o balanço anual é muito diferente do potencial final de emissão de carbono.

Além do tempo de emissão, a quantidade que é emitida como metano em vez de dióxido de carbono influencia fortemente o impacto do aquecimento global dos reservatórios. Por tonelada de carbono, o metano é muito mais potente do que o dióxido de carbono em provocar o efeito de estufa. A vida média do metano na atmosfera é muito mais curta do que a do dióxido de carbono: 10,5 anos contra 120 anos, dada uma atmosfera de composição constante como presumido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (Isaksen et al., 1992, p. 56). Diferentes métodos de cálculo da equivalência de aquecimento global dos vários gases de efeito estufa resultam em valores bastante diferentes para a importância de metano; os métodos que consideram os efeitos indiretos e aqueles que dão ênfase aos impactos no futuro próximo atribuem substancialmente mais peso ao metano.

O método preferido do IPCC de cálculo no seu relatório complementar de 1992 considera um horizonte de tempo de 100 anos sem desconto e só considera os efeitos diretos (Isaksen et al., 1992, p. 56). Isto atribui a cada tonelada de gás metano um peso 11 vezes maior do que cada tonelada de dióxido de carbono. Se os efeitos indiretos são considerados usando o mesmo horizonte de tempo, como foi feito no relatório do IPCC de 1990 (Shine et al., 1990, p. 60), o peso dado ao metano em relação ao CO<sub>2</sub> (o potencial de aquecimento global) é 21. Considerando que muito do impacto do aquecimento global do metano é através de efeitos indiretos, o estado atual do desacordo sobre um potencial de aquecimento global adequado para o

metano é susceptível de ser resolvido em favor de valores mais elevados, aumentando a importância relativa dos impactos de reservatórios de hidrelétricas na Amazônia. *[Observação acrescentada em 2013: Este parágrafo foi profético: os valores para o GWP de metano têm aumentado com cada relatório do IPCC. No quinto relatório, lançado em setembro de 2013, o valor para um horizonte de 100 anos sem efeitos indiretos é de 28, ou mais que o dobro do valor de 11 usado neste trabalho. O valor para um horizonte de 100 anos com efeitos indiretos é de 34, e é de 86 para um horizonte de tempo de 20 anos, mais relevante à política de controle de aquecimento global].*

A várzea da Amazônia (várzea de água branca) tem sido identificada como uma das principais fontes mundiais de metano atmosférico (Mooney et al., 1987). A várzea ocupa cerca de 2% dos 5 × 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> da Amazônia Legal, o mesmo percentual que seria inundada se todos os 100.000 km<sup>2</sup> de reservatórios previstos para a região fossem criados (Brasil, ELETROBRÁS, 1987, p. 150). Praticamente todas as hidrelétricas planejadas ficariam na parte florestal da região, de que representariam 2,5-2,9%. Se estes reservatórios fossem contribuir com uma emissão de metano por km<sup>2</sup> na mesma ordem que aquela produzida pela várzea, representariam em conjunto uma contribuição significativa para o efeito de estufa. Esta fonte de metano seria uma adição quase permanente para os fluxos de gases do efeito estufa, ao invés de uma entrada de uma só vez, como as emissões de CO<sub>2</sub> a partir da decomposição da floresta morta.

## ABORDAGEM DE CÁLCULO DAS EMISSÕES DE RESERVATÓRIOS

Para calcular as emissões de reservatórios de usinas hidrelétricas é preciso saber as quantidades de biomassa presente e os caminhos possíveis pelos quais ela se deteriorará. As árvores deixadas em pé no reservatório são, obviamente, um componente importante. A parte da árvore projetada para fora da água pode-se supor que se decompõe através de processos semelhantes aos que afetam as árvores em clareiras para a agricultura e pecuária, com parte da biomassa sendo ingerida por térmitas (cupins), que emitem uma pequena quantidade de metano, e a outra parte se decompõe por meio de outras formas de deterioração, no ambiente aeróbio acima da água, produzindo apenas o CO<sub>2</sub>. A biomassa acima do nível da água eventualmente cai na água, sendo

assim transferida para os ambientes anóxicos onde a decomposição é muito mais lenta, mas também mais suscetível a produzir metano. As folhas e cipós caem das árvores muito rapidamente, e os galhos e troncos caem em um ritmo muito mais lento.

Um reservatório pode ser dividido em diferentes zonas, em que as condições aeróbias e anóxicas terão distintas importâncias relativas (Fig. 3). Parte do reservatório é alternadamente exposta e inundada quando os níveis de água oscilam entre os níveis normais de operação máximo e mínimo. Todos os componentes da biomassa desta zona, incluindo serapilheira e biomassa abaixo do solo, serão expostos a condições aeróbias em algum momento durante o ano. A porção de troncos em pé na zona permanentemente inundada, que estão localizados entre os níveis mínimo e máximo normais, também será exposta a condições aeróbicas.

Para a biomassa subaquática, uma parte da biomassa perto da superfície estará num ambiente que tem algum oxigênio. A zona anóxica não corresponde diretamente ao hipólímnio, e para efeitos de decomposição, o limite está ainda mais

próximo da superfície da água. Em Balbina, por exemplo, apesar de ter uma pequena quantidade de oxigênio mensurável até 5 m de profundidade (G.V. Peña, comunicação pessoal, 1993), as pessoas interessadas na exploração comercial da madeira inundada consideram toda a madeira abaixo de 1 m não sendo afetada pela decomposição (E.V.C. Monteiro de Paula, comunicação pessoal, 1993).

A decomposição na zona de água anóxica é extremamente lenta, mesmo para as folhas, que geralmente deterioram rapidamente. A ELETRONORTE contratou o Laboratório de Hidráulica Delft, em Delft, na Holanda, para a produção de um modelo de qualidade da água em Balbina (Brasil, ELETRONORTE, 1987, p. 261). O modelo, conhecido como OXI-STRATIF, presume que todo o material em folhas, galhos finos e serapilheira será decomposto dentro de dez anos. No entanto, mais de cinco anos após o enchimento de Balbina, grande parte desse material ainda está presente (embora nenhuma informação quantitativa esteja disponível). A natureza da decomposição muito lenta na zona anóxica é ilustrada por feixes de folhas que foram colocados em 5 m de profundidade para estudos de insetos e outros organismos em Balbina: após 10 meses a aparência visual das folhas permaneceram tão verdes como o dia quando elas foram colocadas na água. Não há organismos macroscópicos colonizando as folhas, e nem mesmo o lodo que normalmente se forma sobre o material em decomposição estava presente (G.V. Peña, comunicação pessoal, 1993).

Em áreas rasas dos reservatórios, bolhas de metano são facilmente observadas. Tanto em Balbina como em Tucuruí, as bolhas podem ser vistas por toda parte, mesmo quando nenhuma pressão é exercida, como por pisar no fundo. A natureza do ambiente, que é desprovida de oxigênio, com temperaturas relativamente elevadas e com altos níveis de nutrientes, e torna ideal para processos de decomposição de produção de metano.

As emissões de decomposição de biomassa florestal serão complementadas a partir da decomposição da matéria orgânica que entra no reservatório pelos rios e córregos que o alimentam, a partir de matéria orgânica do solo e das macrófitas que crescem no reservatório. A produção de metano a partir destas fontes deve ser considerada, embora o dióxido de carbono não precise ser considerado como uma adição líquida (com exceção da oxidação de qualquer

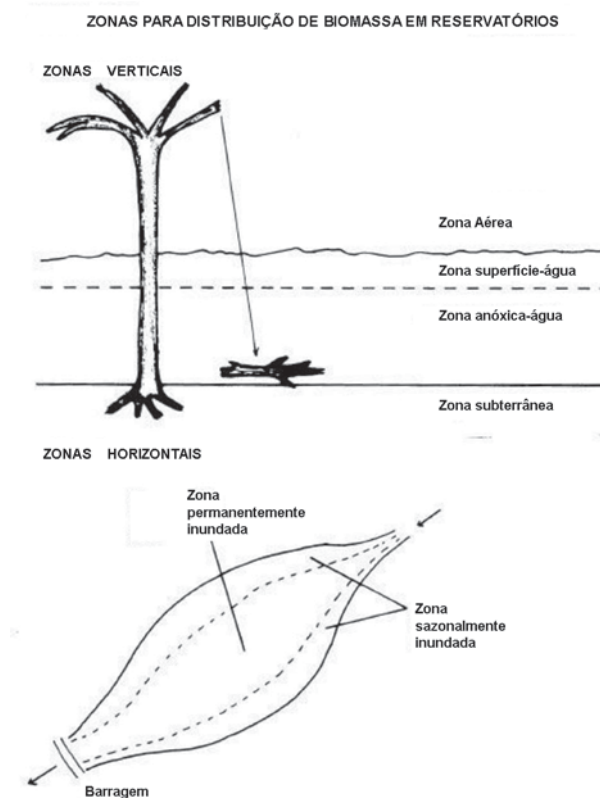


Figura 3. Zonas de distribuição de biomassa em reservatórios.

matéria orgânica do solo). Os dados sobre a produção de metano a partir destas fontes, o que pode ser vagamente descrito como a produção a partir da água em si, não estão disponíveis para qualquer reservatório da Amazônia, o substituto mais próximo disponível são lagos naturais na várzea.

A produção de metano a partir da decomposição não é rigorosamente idêntica à emissão de metano para a atmosfera, já que parte do metano dissolvido na coluna de água, é transformado em CO<sub>2</sub> por oxidação antes de entrar na atmosfera. Por causa da quantidade limitada de mistura através da termoclina, altas concentrações de metano na água no hipolimnion só entrarão na atmosfera quando a água passar através das turbinas; neste ponto espera-se que grandes quantidades de metano possam ser liberadas, devido à redução abrupta da pressão. Isto ocorre, por exemplo, na água que passa através das turbinas em reservatórios no Canadá (M. Lucotte, comunicação pessoal, 1993). No entanto, nem todo o metano será exposto à atmosfera no reservatório e as turbinas, e uma parte da emissão ocorrerá a jusante da barragem. A concentração em solução de CH<sub>4</sub> na água liberada a partir das turbinas ou sobre o vertedouro é uma medida importante que tem que ser feita, mas não todo o CH<sub>4</sub> presente nestes fluxos de água pode ser considerado como emissões de metano, pois parte do CH<sub>4</sub> pode ser oxidado para CO<sub>2</sub> no rio (Rosa, 1992).

Água rica em metano do hipolimnion é ocasionalmente lançada em reservatórios na Amazônia central e ocidental (Balbina e Samuel), quando uma friagem reduz a temperatura da superfície e provoca dissolução da termoclina (a barreira criada por estratificação térmica da coluna de água que impede a mistura vertical), o que resulta na subida de água anóxica até a superfície. Muitos peixes morrem durante esses eventos, por exemplo, em abril de 1993 em Balbina. Estes eventos são mais frequentes na parte ocidental da Amazônia, e não são um fator importante na parte oriental, onde a maior parte dos reservatórios planejados seria localizada.

## EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

### Parâmetros para cálculos de emissões

A estimativa de emissões de reservatórios primeiro requer estimativas da área de floresta inundada em cada represamento. A área do leito no interior de cada reservatório deve ser estimada e subtraída da área da superfície da água. Áreas de leito de rio são calculadas na Tabela 2 a partir de estimativas do comprimento e largura média dos rios. As áreas de superfície dos reservatórios foram medidas a partir de imagens LANDSAT-TM em escala de 1:250.000. Áreas previamente desmatadas e áreas de leito são subtraídas quando a perda de florestas é calculada (Tabela 3).

**Tabela 2.** Áreas de leito de rio em reservatórios amazônicos

Reservatório	Rio	Comprimento no reservatório (km) <sup>a</sup>	Largura média (m) <sup>b</sup>	Área de leito de rio (km <sup>2</sup> )	Fonte
Balbina	Uatumã	210	139	29	
	Pitinga	100	99	10	
Total				39	c
Curuá-Una	Curuá-Una	80	69	6	
	Muju	40	35	1	
	Mojui dos Campos	20	15	0	
Total				7	d
Samuel	Jamari	255	116	29	e
Tucuruí	Tocantins	170	1891	321	f
Total				397	

(a) Comprimentos de Balbina e Tucuruí de Juras (1988).

(b) Larguras dos rios mensuradas em intervalos de aproximadamente 5 km utilizando os mapas ou imagens indicados em "fonte" nas seguintes escalas: Balbina: 1:100.000; Samuel: 1:40.000; Tucuruí: 1:250.000. Larguras de Curuá-Una e seus afluentes são baseados em seis medições diretas por Robertson (1980).

(c) Brasil, ELETRONORTE, 1985.

(d) Robertson, 1980.

(e) Brasil, ELETRONORTE, s/d.

(f) Brasil, Projeto RADAMBRASIL, 1981.



**Tabela 3.** Inundação por hidrelétricas

Barragem	Estado	Datas de enchimento	Desmatamento pré-existente na área inundada (km <sup>2</sup> )	Área de leito de rio (km <sup>2</sup> )	Área oficial da superfície de água (km <sup>2</sup> )	Área medida por LANDSAT da superfície de água em 1989 (km <sup>2</sup> )	Área estimada de perda de floresta (km <sup>2</sup> )	Taxa de perda de floresta em 1988-1989 (km <sup>2</sup> /ano)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Balbina	Amazonas	01 de outubro de 1987 - 15 de julho de 1989	55	39	2.360	3.147	3.108	693 <sup>e</sup>
Curuá-Una	Pará	Jan de 1977 - maio de 1977	0	7	102	72	65 <sup>f</sup>	0
Samuel	Rondônia	Outubro de 1988 - julho de 1989	91	29	645	465	436	436
Tucuruí	Pará	06 de setembro de 1984 - 30 de março de 1985	400 <sup>g</sup>	321	2.430	2.247	1.926	0
Totais			546	397	5.537	5.931	5.534	1.129

- (a) Área do leito em Balbina estimada a partir ELETORNORTE (1985a), com escala mapa de 1:100.000; área leito de Curuá-Una calculada a partir de mapa e largura do rio medidas de Robertson (1980), área de leito de Samuel estimada a partir de comprimento; área do leito do rio em Tucuruí a partir de Brasil, Projeto RADAMBRASIL, 1981.
- (b) Áreas oficiais para apenas comparação. Fontes: Balbina: Brasil, ELETORNORTE, 1987; Curuá-Una: Robertson, 1980, p. 9; Samuel: RevillaCardenas, 1986; Tucuruí: Brasil, ELETORNORTE, s/d [1987], p. 24 - 25.
- (c) Três pequenas barragens fora do sistema ELETORNORTE são: Pitinga (enchida em 1982 e aumentada em 1993; 1989 área medida-LANDSAT = 62 km<sup>2</sup>), perto de Balbina no Amazonas, Boa Esperança (enchida antes de 1989; área medida-LANDSAT = 24 km<sup>2</sup>), no Maranhão, e Jatapu (preenchida em 1994, a área oficial = 45 km<sup>2</sup>), em Roraima. Toda a área inundada por essas barragens representa a perda de florestas. As duas barragens cheias antes de 1989 elevariam a área total medida por LANDSAT para 6.017 km<sup>2</sup>. A perda de floresta estimada para 5.620 km<sup>2</sup>.
- (d) LANDSAT - medida da superfície da água inclui leito do rio e desmatamento anterior. Para evitar dupla contagem, a perda de florestas estimado não inclui o desmatamento anterior; Coluna 8 = Coluna 7 - Coluna 5. (Fonte: Fearnside et al., s/d).
- (e) Balbina 1988 - taxa de 1989 é uma estimativa exagerada devido à falta de uma imagem de 1988 (230/61) que cobre cerca de 10 - 20% da área do reservatório mais próximo da barragem. Se a área sem imagem representou 10% da área medida em 1988, então a taxa de perda de Balbina em 1988-1989 foi de 348 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> (uma diminuição de 34%), se 20%, então a taxa de perda era de 162 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> (uma redução de 70%).
- (f) Área medida por Robertson (1980) a partir do mapa de Centrais Elétricas do Pará (CELPA). Paiva (1977) dá a área oficial como 86 km<sup>2</sup>.
- (g) Apenas área desmatada pela ELETORNORTE (Brasil, ELETORNORTE, s/d [1987]).

A distribuição vertical da biomassa, e a classificação em troncos, folhas e outros componentes, é importante para determinar que porção da biomassa decomporá acima d'água e que parte decomporá de forma subaquática nas zonas permanentemente alagadas e inundadas sazonalmente. O único estudo de biomassa existente que atribui a biomassa em estratos verticais é o de Klinge e Rodrigues (1973), feito na Reserva Egler, do INPA, 64 km a leste de Manaus. Os pesos secos aproximados estão indicados na Tabela 4. A floresta na Reserva Egler tem uma altura máxima de 38,1 m, que deve ser presumida como aplicável às florestas nos quatro grandes reservatórios existentes.

Estimativas de biomassa específicas para cada reservatório estão disponíveis para todas as represas, com exceção de Curuá-Una (Tabela 5). Felizmente, a floresta inundada em Curuá-Una tem uma área de apenas 65 km<sup>2</sup>, o que representa apenas 1,3% do total de 4.824 km<sup>2</sup> de floresta inundada na região em 1990 (Tabela 5). A biomassa para Curuá-Una é presumido como sendo a média estimada para todas as áreas desmatadas no período 1989-1990 (Fearnside, 1996). Com base na proporção em estratos verticais (Tabela 4), as profundidades de água em níveis mínimos e máximos de operação (Tabela

5), e as áreas de cada zona (Tabela 5), a biomassa é calculada para cada reservatório nas seguintes categorias: madeira na zona acima d'água, madeira na zona de água superficial, material em folhas e outros componentes na zona de água anóxica (todo material presumido em cair no fundo do reservatório), e madeira abaixo do solo (Tabela 5). As quantidades de madeira removidas por exploração madeireira, antes do enchimento e depois do enchimento (até 1990) são também estimadas de forma muito aproximada (Tabela 5).

Após estes cálculos, a progressão dos valores de biomassa é calculada para cada ano para cada reservatório, zona e componente da biomassa. Isso é feito usando as taxas de decomposição em cada zona e as taxas de biomassa caindo das árvores projetadas acima da água para as zonas abaixo da água; estas taxas e outros parâmetros para os cálculos de emissões estão apresentados na Tabela 6. As distribuições de biomassa resultante em 1990 estão indicadas na Tabela 7.

Sabe-se que taxas de decomposição para a biomassa debaixo d'água são extremamente lentas, mas medições atuais são completamente inexistentes. Os valores de tempo médio presumidos aqui são: 50 anos para madeira na zona de água de superfície, 200 anos para folhas na zona de água anóxica, 500 anos

**Tabela 4.** Biomassa por estrato perto de Manaus: o peso seco aproximado (a)

Estrato	Altura média (Em metros) (b)			Produção de biomassa seca aproximado (t / ha)					Percentual de biomassa acima do solo total de				
	Ponto Médio	Varição (+ / -)		Folhas	Caulos	Galhos	Total madeira viva	Total biomassa viva	Folhas	Caulos	Galhos	Total madeira viva	Total biomassa viva
A	29,6	5,9		1,1	66,1	23,1	89,3	90,3	0,28	17,15	6,00	23,15	23,43
B	21,1	4,4		3,4	127,9	58,5	186,4	189,8	0,87	33,17	15,16	48,34	49,21
C1	11,5	3,1		1,9	22,5	12,4	34,9	36,7	0,48	5,83	3,22	9,04	9,52
C2	4,8	1,2		1	4,8	1,7	6,5	7,4	0,25	1,23	0,44	1,68	1,92
D	2,4	0,7		1	0,9	0,3	1,2	2,2	0,27	0,22	0,09	0,31	0,58
E	0,6	0,5		0,3	0,4	0,0	0,4	0,7	0,07	0,10	0	0,10	0,17
Lianas				8,6	222,5	96,0	318,5	327,1	2,23	57,70	24,91	82,61	84,83
Epífitas				21,9					5,67				
Os totais de não-madeira, madeira e todos vivem aboveground biomassa				0,1					0,03				
Serrapilheira Fina (c)				30,6			318,5	349,1	7,92			82,61	90,53
Abatido madeira morta (d)				10,9					2,83				
De pé madeira morta (d)							18,02					4,67	
Os totais de não-madeira, madeira e todos aboveground biomassa							7,6					1,97	
Os totais de não-madeira, madeira e todos aboveground biomassa				41,5			344,2	385,6	10,75			89,25	100,00

(a) Dados para pesos frescos da Klinge e Rodrigues (1973), convertidos para pesos secos utilizando um fator de correção constante de 0,475 derivado para esses dados pelos mesmos autores (Klinge et al., 1975).

(b) Altura máximas árvores na parcela e foi de 38,1 m. A parcela está localizada 64 km a leste de Manaus, na Reserva Egler do INPA.

(c) Média de cinco medições em locais de barragens hidrelétricas em Samuel, Belo Monte e Bubaquara (Revilla Cardenas, 1987, 1988; Martinelli et al., 1988).

(d) Klinge, 1973: 179.

**Tabela 5.** Biomassa presente e a divisão por zonas em reservatórios amazônicos

Barragem	Ano de enchimento	Área de água de superfície no nível operacional (ha)	Floresta inundada no nível operacional (Ha)	Floresta inundada no nível mínimo (Ha)	Biomassa total aproximada (t/ha)	Biomassa acima do solo (t/ha)	Fonte para biomassa	Profundidade média	Fonte para profundidade
Balbina	1987	314700	310840	206829	441	336	(A, p. 172-173)	6,2	(A, p. 14)
Curuá-Una	1977	7200	6480	5500	428	327	Fearnside, s/d-a	6,2	(B)
Samuel	1988	46,5	43551	30,901	557	425	(C, p. 4)	5,3	(B)
Tucuruí	1984	224700	192553	106787	517	394	(D, p. 90)	9,7	(E)
Totais		593100	553424	350017					
Biomassa inicial por zona (t de matéria seca / ha)									
Barragem	Madeira acima da água	Madeira na água de superfície	Madeira na água anóxica	Folhas e outros materiais na água anóxica	Madeira abaixo do solo	Total			
Balbina	264,69	4,55	31,44	35,70	104,74	441,12			
Curuá-Una	257,11	4,42	30,54	34,68	101,74	428,50			
Samuel	339,59	5,74	34,56	45,11	132,34	557,34			
Tucuruí	291,40	5,33	55,47	41,82	122,69	516,71			
Remoções de biomassa por exploração madeireira da área do reservatório (t/ha)									
Barragem	Fração da biomassa acima do solo removida antes do enchimento		Fração da madeira original na zona anóxica removida depois do enchimento		Anos da atividade de exploração madeireira pós-enchimento		Área desmatada antes do enchimento (ha)		Fonte para profundidade de rebaixamento
	Antes do enchimento	Depois do enchimento	Removida	Removida	Começo	Fim	Zona sazonalmente inundada	Zona permanentemente inundada	
Balbina	0	0	0,5	0	1993	2000	0	5000	4
Curuá-Una	0	0	0	0					4,5
Samuel		0,2	0	0					7
Tucuruí		0,01	0,5	0	1988	2.000	2000	8000	14
							10		14
									Presunção
									(F, p.5)
									(G, p.5)

(A) Brasil, ELETRONORTE, 1987. Floresta inundada no nível mínimo é ajustado pela razão entre a área oficial no nível operacional e a área medida por LANDSAT.

(B) Paiva, 1977, p. 17 (valor para a profundidade média a nível operacional máximo).

(C) Revilla Cardenas e do Amaral, 1986; área de floresta inundada ao nível mínimo de água tomado como proporcional ao volume de água nestes dois níveis do Brasil, ELETRONORTE, s/d [1992] b, p. 5.

(D) Revilla Cardenas et al., 1982.

(E) Usa 58,0 m acima do nível médio do mar, como nível mínimo de operação normal (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1983]. Um nível mínimo de operação de 51,6 m (Brasil, ELETRONORTE, s/d-b; p.2-1; Brasil, ELETRONORTE, s/d [1992] a) implica profundidade rebaixamento de apenas 3,3 m. Área de floresta inundada ao nível mínimo de água tomado como proporcional ao volume de água nestes dois níveis do Brasil, ELETRONORTE, s/d [C 1983], p. 6).

(F) o Brasil, ELETRONORTE, a [1992] a.

(G) o Brasil, ELETRONORTE, a [1992] b.

**Tabela 6.** Parâmetros para cálculos de emissões pela Hidrelétrica

Parâmetro	Valor	Unidades	Fonte
Fração acima do solo	0,773		Fearnside, 1994
Profundidade média da zona de água de superfície	1	metro	Presunção, baseado em deterioração de madeira comercial
Taxa de decomposição de folhas na zona sazonalmente inundada	-0,5	Fração / ano	Suposição
Taxa de decomposição acima da água (0-4 anos)	-0,1691	Fração / ano	Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996)
Taxa de decomposição acima da água (5-7 anos)	-0,1841	Fração / ano	Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996)
Taxa de decomposição acima da água (8-10 anos)	-0,0848	Fração / ano	Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996)
Acima de água taxa de decaimento (> 10 anos)	-0,0987	Fração / ano	Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996)
Fração de decomposição acima da água através de cupins	0,0844	Fração	Presumido mesmo como floresta derrubada (Martius et al., 1996). Calculado a partir da medição por Martius et al. (1993)
Taxa de decomposição de madeira na zona de água de superfície	-0,0139	Fração / ano	Suposição: vida média = 50 anos
Taxa de decomposição de folhas na zona de água anóxica	-0,0035	Fração / ano	Suposição: vida média = 200 anos
Taxa de decomposição de madeira na zona de água anóxica	-0,0014	Fração / ano	Suposição: vida média = 500 anos
Taxa de decomposição de madeira abaixo do solo na zona permanentemente inundada	-0,0014	Fração / ano	Suposição: vida média = 500 anos
Taxa de decomposição abaixo do solo na zona sazonalmente inundada	-0,0139	Fração / ano	Suposição: vida média = 50 anos
Fração de C lançado como metano em decomposição via termitas	0,002		Calculado a partir da medição por Martius et al. (1993) para <i>Nasutitermes macrocephalus</i> (uma espécie de várzea).
Fração de C lançado como metano em decomposição por termitas (cenário de altos gases traço)	0,0079		Calculado a partir da medição por Martius et al. (1993) para <i>Nasutitermes macrocephalus</i> (uma espécie de várzea).
Fração de C lançado como metano em decomposição na zona de água de superfície	0		Suposição
Fração de C lançado como metano em decomposição na zona de água anóxica	1		Suposição
Fração de C lançado como metano em decomposição abaixo do solo	1		Suposição
Fração de água coberta por macrófitas	0,1		Suposição
A liberação de metano de bancos de macrófitas	500,00	$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dia}$	Tabela 8
A liberação de metano a partir de águas abertas	50,00	$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dia}$	Tabela 8
Teor de carbono da madeira	0		Fearnside et al., 1993
Teor de carbono das folhas e liteira fina	0,45		Suposição
Teor de carbono de lianas e epífitas	0,45		Suposição
Taxa de queda de madeira da zona acima da água	0,1155	Fração / ano	Suposição: vida média = 6 anos
Fração de metano oxidada na água	0		Suposição
Decomposição aeróbica de folhas no primeiro ano	0,025	Fração da biomassa foliar original perdida anualmente	Calculado a partir do Brasil, ELETRONORTE, 1987, p. 261 (Parâmetro modelo OXY-STRATIF para Balbina). Valor dividido por 10 (como presunção sobre o exagero em OXY-STRATIF).
Decomposição aeróbica de folhas após o primeiro ano	0,0085	Fração da biomassa foliar original perdida anualmente	Calculado a partir do Brasil, ELETRONORTE, 1987, p. 261 (Parâmetro modelo OXY-STRATIF para Balbina). Valor dividido por 10 (como presunção sobre o exagero em OXY-STRATIF).
<b>Biomassa de componentes em florestas originais não exploradas para madeira</b>			
Biomassa total média de floresta	428	t / ha	
Profundidade média da água no nível mínimo	10	metros	Suposição
Presentes biomassa inicial: folhas	7,3	t / ha	Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.
Biomassa inicialmente presente: serrapilheira fina	8,75	t / ha	Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.
Biomassa inicialmente presente: lianas e epífitas	18,64	t / ha	Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.
Biomassa inicialmente presente: madeira acima da água	240,33	t / ha	Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.
Biomassa inicialmente presente: madeira na zona de superfície	4,42	t / ha	Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.
Biomassa inicialmente presente: madeira na zona anóxica	47,32	t / ha	Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.
Biomassa inicialmente presente: abaixo do solo	101,74	t / ha	Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.



**Tabela 7.** Quantidades aproximadas de biomassa presente em 1990 (Milhões de t de biomassa)

Zona permanentemente afogada (ao nível mínimo operacional de água)						
	Madeira acima da água	Madeira na água de superfície	Madeira na água anóxica	Folhas e outros materiais não madeira na água anóxica	Madeira abaixo do solo	Total
Balbina	28,85	0,89	20,5	7,09	27,19	84,52
Curuá-Una	0,04	0,02	0,84	0,15	0,51	1,56
Samuel	6,17	0,11	2,17	1,07	3,04	12,57
Tucurui	6,00	0,41	13,01	3,52	10,46	33,41
TOTAIS	41,06	1,44	36,52	11,84	41,2	132,05
Zona sazonalmente inundada (no nível de água máximo normal de operação)						
	Madeira acima da água	Folhas e outros materiais não madeira	Madeira abaixo da água	Madeira abaixo do solo	Total	
Balbina	19,61	2,02	2,41	10,11	34,14	
Curuá-Una	0,04	0	0,01	0,08	0,13	
Samuel	2,77	0,42	0,46	1,57	5,22	
Tucurui	7,47	0,78	6,35	9,54	24,14	
TOTAIS	29,88	3,22	9,23	21,3	63,64	

para madeira na zona de água anóxica, 500 anos para a biomassa abaixo do solo na zona inundada permanentemente, e 50 anos para a biomassa abaixo do solo na zona sazonalmente inundada (Tabela 6).

O metano também é produzido a partir de processos biológicos em curso que são independentes do estoque de biomassa florestal original. Estes incluem a decomposição da matéria orgânica que entra no reservatório pelo rio, e a partir da decomposição de macrófitas que crescem sobre uma parte da superfície do reservatório. Essas taxas são consideradas iguais às que

foram encontradas para águas abertas e para camadas flutuantes de macrófitas em estudos de lagos naturais de várzea (Tabela 8). Apenas o metano é considerado a partir destas fontes, sendo que o dióxido de carbono que também é gerado é reciclado quando as macrófitas e outras plantas crescem. Características químicas da água no reservatório de Balbina, por exemplo (localizado em um rio de água preta) diferem em uma série de maneiras de lagos de várzea de água branca, deixando claro a importância de medidas diretas da produção de metano em reservatórios.

**Tabela 8.** Emissões de metano de ecossistemas da várzea amazônica

HABITAT	Fluxo de metano (mg CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /dia)							Valor presumido para reservatórios amazônicos (4)
	Água baixa: CAMREX cruzeiro 11 (1)	Água alta: CAMREX cruzeiro 9 (1)	Oito lagos perto de Manaus (1)	Lago da Marchantaria (Perto de Manaus) (2)			Água subindo: NASA/ABLE (3)	
Lagos, água aberta	40 (± 12)	88 (± 30)	58 (± 16)	50-100	5-50	5-25	74 (± 14)	53,9
Lagos, camas de macrófitas	131 (± 47)	390 (± 109)	251 (± 58)	seca	0-50	0-100	201 (± 35)	174,7
Lagos, floresta inundada	7.1 (± 3.4)	74 (± 19)	55 (± 13)	seca	0-200	0-200	126 (± 20)	

Fontes:

(1) Devol et al., 1990.

(2) Wassmann & Thein, 1989.

(3) Bartlett et al., 1990.

(4) Para efeito de comparação, Aselmann e Crutzen (199, p. 446) estimaram a média para lagos do mundo a ser 43 mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/dia.

## Simulação de emissões ao longo do tempo

Os fluxos de gases de efeito estufa por processo, em 1990, são apresentados na Tabela 9. As informações sobre as emissões de todas as fontes em um determinado momento, como 1990, são necessárias para servir como uma linha de base para avaliar as alterações nas emissões de gases do efeito estufa. A

evolução das emissões ao longo do tempo é importante para avaliar os potenciais impactos dos projetos planejados. O trajeto temporal (*timing*) das emissões também é muito importante em qualquer sistema de avaliação de emissões que dá peso diferenciado aos impactos de curto prazo e de longo prazo, por exemplo por aplicação de uma taxa de desconto.

**Tabela 9.** Fluxos de gases de efeito estufa por processo a partir de hidrelétricas em 1990 (a)

Zona permanentemente inundada		Decomposição abaixo da água										Decomposição abaixo do solo	
		Decomposição acima da água		Madeira na zona de água de superfície		Madeira em zona de água anóxica		Folhas e outros materiais não madeira		Folhas e outros materiais não madeira		Decomposição abaixo do solo	
		Área da zona permanentemente inundada (ha)	Termitas	Outro	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)
Balbina	206829	0,00	0,28	8,61	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,10	0,03	0,00
Curuá-Una	5500	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Samuel	30,901	0,00	0,06	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Tucuruí	106787	0,00	0,06	1,98	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00
TOTALS	350017	0,00	0,41	12,43	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,02	0,20	0,04	0,00
Zona sazonalmente inundados		Decomposição abaixo da água										Decomposição abaixo do solo	
Área da zona sazonalmente inundada (ha)	Termitas		Madeira		Folhas e outros materiais não madeira		Folhas e outros materiais não madeira		Folhas e outros materiais não madeira		Decomposição abaixo do solo		
	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	
Balbina	104011	0,0004	0,46	14,22	0,002	0,000	0,005	0,05	0,00007	0,00	0,00	0,00	
Curuá-Una	980	0,0000	-0,03	0,03	0,000	0,000	0,000	0	0,00000	0,00	0,00	0,00	
Samuel	12,65	0,0001	0,07	2,16	0,000	0,000	0,001	0,02	0,00001	0,00	0,00	0,00	
Tucuruí	85766	0,0002	0,23	7,06	0,006	0,000	0,002	0,05	0,00006	0,00	0,00	0,00	
TOTALS	203407	0,0006	0,77	23,47	0,009	0,000	0,007	0,13	0,00014	0,00	0,00	0,00	
Reservatório de Inteira		Total da decomposição abaixo da água										Total de emissão	
Área de reservatório no nível operacional (ha)	Água aberta		Bancos de macrófitas		Total da decomposição acima da água		Total da decomposição abaixo da água		Total de emissão		Carbono CO <sub>2</sub> -equivalente (100 anos; desconto zero; efeitos diretos)		
	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)	CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás)	
Balbina	314700	0,06	0,02	0,00	23,58	0,07	0,18	0,14	23,75	6,91	0,02	0,02	
Curuá-Una	7200	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	1,21	2,85	
Samuel	46,5	0,01	0,00	0,00	4,13	0,01	0,07	0,02	4,20	10,99	0,04	0,04	
Tucuruí	224700	0,04	0,01	0,00	9,34	0,04	0,11	0,09	9,45	10,99	0,11	0,11	
TOTALS	593100	0,11	0,04	0,00	37,07	0,12	0,36	0,26	37,44	26,91	0,26	0,26	

(a) Estes resultados usam o fator de emissão do "cenário de baixos gases-traço" para as termitas (Tabela 6). Usar o valor "alto" aumenta a emissão total apenas marginalmente de 0,259 para 0,26 milhões de toneladas de gás metano.

As emissões de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  de Balbina foram simuladas durante 50 anos depois do fechamento (Figura 4). As emissões de metano são razoavelmente constantes ao longo de todo o período, mas as emissões de dióxido de carbono estão concentradas em um grande pulso na primeira década após o fechamento. A partir de 1994, cerca de metade do total de emissão de  $\text{CO}_2$  de Balbina tinha ocorrido, de acordo com as simulações aqui relatadas. [Observação acrescentada em 2014: hoje se sabe que o metano também tem um grande pulso na primeira década, as emissões desse gás não são mais consideradas “razoavelmente constantes”].

O impacto do aquecimento global das emissões pode ser convertido em carbono  $\text{CO}_2$ -equivalente utilizando potenciais de aquecimento global, aprovados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para efeitos diretos somente, em um horizonte de tempo de 100 anos sem desconto pelo valor do tempo (Isaksen et al., 1992). Esta é uma subestimação do verdadeiro impacto dos reservatórios, sendo que pelo menos metade do aquecimento global provocado pelo metano é através de efeitos indiretos ao invés de efeitos diretos. O carbono  $\text{CO}_2$ -equivalente das emissões foi simulado durante 50 anos para os quatro grandes reservatórios existentes na Amazônia brasileira (Figura 5).

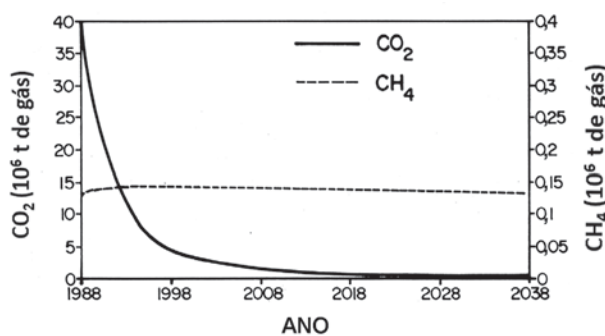


Figura 4. Balbina:  $\text{CO}_2$  e emissões de  $\text{CH}_4$  (milhões de t de gás).

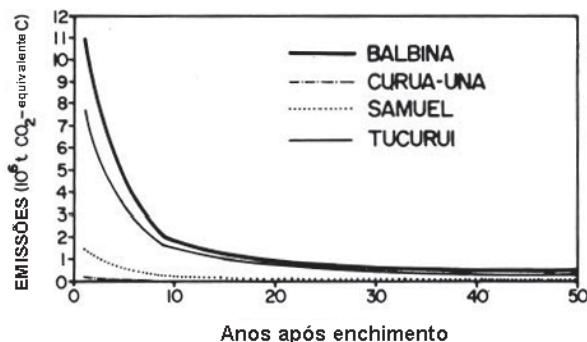


Figura 5. As emissões de gases de efeito estufa Hidrelétricas ( $\text{CO}_2$  equivalente de carbono).

## A comparação com as emissões de combustíveis fósseis

Comparações de emissões dos projetos hidrelétricos com as emissões evitadas para gerar a mesma quantidade de energia a partir de combustíveis fósseis são importantes por causa da frequência com que projetos hidrelétricos têm sido promovidos como oferta de uma alternativa “limpa” em substituição da geração termelétrica. Os exemplos de Balbina e Tucuruí são apresentados na Tabela 10. A mistura de diesel e óleo combustível queimado nas usinas termelétricas em Manaus (cidade servida por Balbina) é presumida para vigorar também para as emissões evitadas de Tucuruí. Fatores de emissão para estes combustíveis aplicáveis às usinas termelétricas no Canadá são presumidos como sendo aplicáveis no Brasil (provavelmente uma suposição otimista). A energia de Balbina compensa aproximadamente 1,3 milhões de toneladas de gás  $\text{CO}_2$ -equivalente (Tabela 10, Parte F), que é muito menos do que a emissão de 6,9 milhões t pela decomposição de biomassa no reservatório (Tabela 11). Uma comparação das emissões de Balbina e Tucuruí em 1990 com as emissões de outras fontes pode ser observada na Tabela 11.

Estes reservatórios amazônicos comparam mal com os dois reservatórios no Canadá que foram identificados como fontes de gases de efeito estufa (Rudd et al., 1993). O impacto comparativo de Balbina e Tucuruí é ainda pior do que as estimativas de emissões indicam. Isto é porque o estudo canadense usou um potencial de aquecimento global (GWP) para o cálculo do  $\text{CO}_2$  equivalente do metano mais de cinco vezes maior do valor do GWP do IPCC, utilizado no presente trabalho. Ao converter as emissões de  $\text{CO}_2$  equivalentes de carbono, usando o mesmo GWP utilizado no presente cálculo, Rosa e Schaeffer (1994) demonstraram que os reservatórios canadenses estudados por Rudd et al. (1993) têm menos impacto no aquecimento global do que gerar a mesma quantidade de energia a partir de combustíveis fósseis. [Observação acrescentada em 2014: no quinto relatório de avaliação do IPCC, de 2013, o GWP do  $\text{CH}_4$  para 20 anos com efeitos indiretos chega a 86, ou quase oito vezes maior que o valor de 11 para 100 anos sem efeitos indiretos, do relatório de 1992, que foi usado no presente trabalho e por Rosa e Schaeffer (1994)].

Na Figura 6, as emissões de Balbina são simuladas ao longo de 50 anos, em comparação com as emissões que seriam produzidas através do fornecimento da mesma energia para Manaus a partir

**Tabela 10.** Cálculo das emissões de combustíveis fósseis deslocados por Balbina e Tucuruí

A. CARACTERÍSTICAS DAS BARRAGENS						
	Unidades	Balbina (1993)	Tucuruí (1991)	Fontes		
				Balbina	Tucuruí	
Capacidade instalada*	MW	250	4000			
Capacidade instalada*	TWh / ano	2,19	35,06			
Geração média	MW	110,3	2057	(a)		
Geração média	TWh / ano	0,97	18,03		(b)	
Por cento de capacidade	(%)	44,1	51,4			
B. USO DE ENERGIA E COMBUSTÍVEL EM MANAUS						
	Unidades	Valores	Fontes			
Consumo de energia em 1986	TWh	0,94				
Substituição projetada para 1993	Diesel	10 <sup>6</sup> litros	316			
	Diesel	GWh	791			
	Óleo combustível	10 <sup>3</sup> t	113			
	Óleo combustível	GWh	333			
	Total	TWh	1,12	(c)		
C. FATORES DE EMISSÃO PARA OS COMBUSTÍVEIS						
Combustível	Fator de emissão (t de gás/10 <sup>6</sup> litros) (d)					
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O			
Diesel	2.730	0,12 (0,06-0,25)	0,16 (0,13-0,4)			
Óleo leve	2.830	0,02 (0,01-0,21)	0,16 (0,13-0,4)			
Óleo pesado	3.090	0,13	0,16			
D. SUBSTITUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL PELA HIDRELÉTRICA DE BALBINA (projeção oficial para 1993)						
Combustível	Milhões de litros	Densidade (t/m <sup>3</sup> ) (e)	Milhões de toneladas	Emissões evitadas (t de gás)		
				CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Diesel	316	0,87	275	862.680	38	51
Óleo combustível (f)	122	0,93	113	375.452	15	20
<b>TOTAL</b>			<b>388</b>	<b>1.238.132</b>	<b>53</b>	<b>71</b>
E. POTENCIAIS DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWPs) DOS GASES						
Potencial de aquecimento global (GWP) (g)	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O	
	1		11		270	
F. EQUIVALENTES GÁS CO <sub>2</sub> DOS COMBUSTÍVEIS DESLOCADOS PELA BALBINA						
Combustível	Equivalentes de gás de CO <sub>2</sub> (t)					
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	total		
Diesel	862.680	417	13.865	876.962		
Óleo combustível	375.452	167	5.331	380.950		
<b>TOTAL</b>	<b>1.238.132</b>	<b>584</b>	<b>19.196</b>	<b>1.257.911</b>		

(a) Brasil, ELETRONORTE, 1985b; Nota: Brasil, ELETRONORTE/Monasa/ENGE-RIO, 1976 dá a média geração como sendo 109 MW (= 0,96 TWh/ano)

(b) Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1992], p. 3.

(c) Brasil, ELETRONORTE, 1985b, Quadro 3.7.

(d) Jaques, 1992.

(e) Jaques, 1992, p. 48.

(f) Presumido como sendo de óleo combustível pesado.

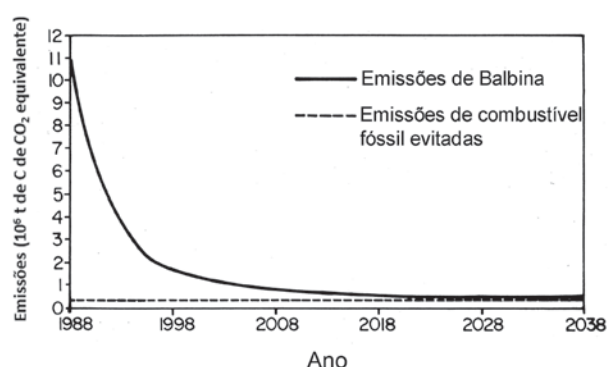
(g) forçamento radiativo relativo, por t de gás, em relação de 1 t de CO<sub>2</sub>, ao longo de um horizonte de tempo de 100 anos sem desconto temporal (Iskasen et al., 1992, p. 56).  
 [Nota acrescentada em 2013: O GWP de CH<sub>4</sub> aumentou muito desde o valor do relatório intermediário do IPCC de 1992 usado aqui (11), passando, no quinto relatório (de 2013) para 28 para um GWP nos mesmos termos (100 anos e sem retroalimentações entre o carbono e o clima). Incluindo essas retroalimentações, o GWP sobe para 34 para o mesmo horizonte de 100 anos, ou para 86 para um horizonte de 20 anos que é mais relevante à política volta a evitar mudança climática "perigosa". Os valores para N<sub>2</sub>O mudam pouco, sendo 265, 298 e 268, respectivamente, para essas formas de cálculo. O GWP de CO<sub>2</sub> permanece, por definição, no valor de 1.]



**Tabela 11.** Comparação as emissões de Balbina e Tucuruí em 1990 com as emissões de outras fontes de energia

Fonte de emissão	Emissão anual da hidrelétrica (Carbono de CO <sub>2</sub> -equivalente) (t)	Razão entre emissões de geração hidrelétrica/ combustíveis fósseis	Emissão por unidade de energia gerada		Notas
			Milhões de t de CO <sub>2</sub> -equivalente/TWh	Milhões de t de carbono de CO <sub>2</sub> -equivalente/TWh	
Balbina	6908399	20,1	26,2	7,14	
Tucuruí	2852731	0,4	0,58	0,16	(a)
Combustíveis fósseis usados em Manaus			1,3	0,35	
Gás natural			0,4	0,11	(b, c)
Carvão			1	0,27	(b)
Hidrelétrica de Churchill/Nelson (Canadá)			0,04-0,06	0,01	(b)
Hidrelétrica de Grand Rapids (Canadá)			0,30-0,5	0,11	(b, c)

(a) As comparações de Rudd et al. 1993 (NB.: Estes autores usam um valor de 60 para o potencial de aquecimento global do metano, muito maior que o valor do IPCC, de 11 usado para Balbina e Tucuruí). [Nota acrescentada em 2013: Ver nota sobre GWPs maiores no quinto relatório do IPCC na Tabela 10, nota g.]  
 (b) Parte do princípio de mistura do combustível fóssil substituído por Tucuruí é o mesmo que que usado em Manaus.  
 (c) Utiliza ponto médio.


**Figura 6.** Balbina: as emissões de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub> equivalente de carbono).

de combustíveis fósseis. A enorme desvantagem de geração hidrelétrica nos anos iniciais é evidente. No caso de Balbina (que tem uma área muito grande, por unidade de energia gerada), mesmo depois de 50 anos (e, provavelmente, por um período indefinido), as emissões continuarão a exceder as dos combustíveis fósseis. Estes resultados colocam em dúvida a imagem de hidrelétricas amazônicas como contribuidoras na redução do aquecimento global.

## CONCLUSÕES

Reservatórios de hidrelétricas na Amazônia brasileira emitiram 0,26 milhões de toneladas de gás de CH<sub>4</sub> e 38 milhões de toneladas de gás de CO<sub>2</sub> em 1990, estes valores sendo estimativas sujeitas a níveis grandes de incerteza. De CH<sub>4</sub>, cerca de 0,11 milhões de toneladas foram emitidas a partir de

águas abertas, 0,04 a partir de macrófitas, <0,01 de decomposição da biomassa florestal acima da superfície da água, e 0,11 de decomposição subaquática da biomassa florestal. As taxas de decomposição subaquáticas são as menos confiáveis dessas estimativas. Não há emissões líquidas de dióxido de carbono de águas abertas ou de macrófitas. A decomposição acima da água contribuiu com aproximadamente 99% dos cerca de 38 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidos. Usando potenciais de aquecimento global do relatório do IPCC de 1992, estas emissões são equivalentes a aproximadamente 11 milhões de toneladas de carbono em CO<sub>2</sub>-equivalente.

A área total dos reservatórios planejados na Amazônia brasileira é de aproximadamente 20 vezes a área em 1990, implicando numa taxa de emissão anual potencial de cerca de 5,2 milhões de toneladas de metano. Enquanto a emissão de metano representa um acréscimo essencialmente permanente aos fluxos de gases, o dióxido de carbono é liberado em um enorme pulso durante a primeira década após o represamento. Estas emissões de CO<sub>2</sub> excedem em muito as emissões evitadas da queima de combustíveis fósseis.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço Summer V. Wilson, Bruce R. Forsberg, Gladys V. Peña e Paulo M.L.A Graça pelos comentários sobre o manuscrito. Esta é uma tradução de Fearnside (1995).

## LITERATURA CITADA

- Aselmann, I. & Crutzen, P. J. (1990). A global inventory of wetland distribution and seasonality, net productivity, and estimated methane emissions. pp. 441-449 In: *Soils and the Greenhouse Effect* (Ed. A. F. Bouwman). Wiley, New York, E.U.A. 575 p.
- Bartlett, K. B., Crill, P. M., Bonassi, J. A., Richey, J. E. & Harriss, R. C. (1990). Methane flux from the Amazon River floodplain: Emissions during rising water. *Journal of Geophysical Research*, 95(D10): 16.773-16.778.
- Brasil, ELETROBRÁS. (1986). Plano de Recuperação Setorial. Ministério das Minas e Energia, Centrais Elétricas do Brasil (ELETROBRÁS), Brasília, DF.
- Brasil, ELETROBRÁS. (1987). Plano 2010: Relatório Geral. Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010. (dezembro de 1987). Ministério das Minas e Energia, Centrais Elétricas do Brasil (ELETROBRÁS), Brasília, DF. 269 p.
- Brasil, ELETROBRÁS. (1985a). Aproveitamento Hidrelétrico de Balbina: Reservatório N.A. 50 m. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETROBRÁS), Vila Balbina, Amazonas. Escala de mapa: 1:100.000.
- Brasil, ELETROBRÁS. (1985b). UHE Balbina e Atendimento do Mercado Energético de Manaus. Junho/85. Relatório 26.657. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETROBRÁS), Brasília, DF.
- Brasil, ELETROBRÁS. (1985c). Políticas e Estratégias para Implementação de Vilas Residenciais. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETROBRÁS), Brasília, DF. Mapa.
- Brasil, ELETROBRÁS. (1987). Estudos Ambientais do Reservatório de Balbina. Relatório "Diagnóstico" BAL-50-1001-RE. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETROBRÁS), Brasília, DF. 308 p.
- Brasil, ELETROBRÁS. (s/d-a). Reservatório da UHE Samuel: Levantamento Planimétrico. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETROBRÁS), Brasília, DF. Escala de mapa: 1:40.000.
- Brasil, ELETROBRÁS. (s/d-b). UHE Tucuruí: Plano de Utilização do Reservatório, Caracterização e Diagnóstico do Reservatório e de sua Área de Influência. TUC-10-263-46-RE Volume 1 - Texto. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETROBRÁS), Brasília, DF. Paginação Irregular.
- Brasil, ELETROBRÁS. (s/d [C. 1983]). Usina Hidrelétrica Tucuruí 8.000 MW. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETROBRÁS), Brasília, DF. 27 p.
- Brasil, ELETROBRÁS. (s/d [1987]). Livro Branco sobre o Meio Ambiente da Usina Hidrelétrica de Tucuruí. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETROBRÁS), Brasília, DF. 288 p.
- Brasil, ELETROBRÁS. (s/d [1992]a). Ambiente Desenvolvimento Tucuruí. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETROBRÁS), Brasília, DF. 32 p.
- Brasil, ELETROBRÁS. (s/d [1992]b). Ambiente Desenvolvimento Samuel. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETROBRÁS), Brasília, DF. 24 p.
- Brasil, ELETROBRÁS/MONASA/ENGERIO. (1976). Estudos Amazônia, Relatório Final Volume IV: Aproveitamento Hidrelétrico do Rio Uatumã em Cachoeira Balbina, Estudos de Viabilidade. Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETROBRÁS)/MONASA Consultoria e Projetos Ltda./ENGERIO Engenharia e Consultoria, S.A., Brasília, DF. Paginação irregular.
- Brasil, Projeto RADAMBRASIL. (1981). Mosaico semi-controlado de Radar. Escala de mapa: 1:250.000. Folhas SA-22-ZC, SB-22-XA, SB-22-XB & SB-22-SD. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Rio de Janeiro, RJ.
- Devol, A. H., Richey, J. H., Forsberg, B. R. & Martinelli, L. A. (1990). Seasonal dynamics in methane emissions from the Amazon River floodplain to the troposphere. *Journal of Geophysical Research*, 95 (D10): 16.417-16.426.
- Fearnside, P. M. (1989). Brazil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environmental Management*, 13 (4): 401-423.
- Fearnside, P.M. (1993). Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. *Ambio*, 22(8): 537-545.
- Fearnside, P.M. (1994). Biomassa das florestas Amazônicas brasileiras. p. 95-124 In: R.L. Bandeira, M. Reis, M.N. Borgonovi & S. Cedrola (eds.) *Emissão x Seqüestro de CO<sub>2</sub>: Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil*. Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio de Janeiro, RJ. 221 p.
- Fearnside, P.M. (1995). Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22(1): 7-19. doi:10.1017/S0376892900034020
- Fearnside, P.M. (1996). Amazonia and global warming: Annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. p. 606-617 In: J. Levine (ed.) *Biomass Burning and Global Change. Volume 2: Biomass Burning in South America, Southeast Asia and Temperate and Boreal Ecosystems and the Oil Fires of Kuwait*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, E.U.A. 902 p.
- Fearnside, P. M., Leal Filho, N. & Fernandes, P. M. (1993). Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research*, 98 (D9): 16.733-16.743.
- Goreau, T. J. & Mello, W. Z. (1987). Effects of deforestation on sources and sinks of atmospheric carbon dioxide, nitrous oxide, and methane from central Amazonian soils and biota during the dry season: A preliminary study. p. 5166 In: *Proceedings of the Workshop on Biogeochemistry of Tropical Rain Forests: Problems for Research*. (Ed. D. Athié, T.E. Lovejoy & P. de M. Oyens). Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo, SP. 85 p.
- Isaksen, I. S. A., Ramaswamy, V., Rodhe, H. & Wigley, T. M. L. (1992). Radiative forcing of climate. p. 47-67 In: *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the*

- IPCC Scientific Assessment*. (Ed. J. T. Houghton, B. A. Callander & S. K. Varney). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 200 p.
- Jaques, A. P. (1992). Canada's Greenhouse Gas Emissions: Estimates for 1990. Report EPS 5/AP/4. Environment Canada, Ottawa, Canadá. 78 p.
- Junk, W.J. & Nunes de Mello, J.A. (1987). Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. p. 367385 In: *Homem e Natureza na Amazônia*. (Ed. G. Kohlhepp & A. Schrader). Tübinger Geographische Studien 95 (Tübinger Beiträge zur Geographischen LateinamerikaForschung 3). Geographisches Institut, Universität Tübingen, Tübingen, Alemanha. 507 p.
- Juras, A. A. (1988). Programa de Estudos da Ictiofauna na Área de Atuação das Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE). ELETRONORTE, Brasília, DF. 48 p. + anexos.
- Klinge, H. (1973). Biomasa y materia orgánica del suelo en el ecosistema de la pluviselva centro-amazónico. *Acta Científica Venezolana*, 24(5): 174-181.
- Klinge, H. & Rodrigues, W. A. (1973). Biomass estimation in a central Amazonian rain forest. *Acta Científica Venezolana*, 24(5): 225-237.
- Klinge, H., Rodrigues, W. A., Brunig, E. & Fittkau, E. J. (1975). Biomass and structure in a Central Amazonian rain forest. pp. 115122 In: *Tropical Ecological Systems: Trends in Terrestrial and Aquatic Research*. (Ed. F. Golley & E. Medina). Springer-Verlag, New York, E.U.A. 398 p.
- Martinelli, L. A., Victoria, R. L., Moreira, M. Z., Arruda Jr., G., Brown, I. F., Ferreira, C. A. C., Coelho, L. F., Lima, R. P. & Thomas, W. W. (1988). Implantação de parcelas para monitoramento de dinâmica florestal na área de proteção ambiental, UHE Samuel, Rondônia: Relatório preliminar. Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo, SP. (Relatório não publicado) 72 p.
- Martius, C., P.M. Fearnside, A.G. Bandeira & R. Wassmann. (1996). Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere* 33(3): 517-536. doi:10.1016/0045-6535(96)00201-9
- Martius, C., Wassmann, R., Thein, U., Bandeira, A.G., Rennenberg, H., Junk, W. & Seiler, W. (1993). Methane emission from wood-feeding termites in Amazonia. *Chemosphere* 26 (1-4): 623-632.
- Mooney, H. A., Vitousek, P. M. & Matson, P. A. (1987). Exchange of materials between terrestrial ecosystems and the atmosphere. *Science*, 238: 926932.
- Paiva, M. P. (1977). The Environmental Impact of ManMade Lakes in the Amazonian Region of Brazil. Centrais Elétricas Brasileiras, S.A. (ELETROBRÁS), Diretoria de Coordenação, Rio de Janeiro, RJ. 69 p.
- Revilla Cardenas, J. D. (1986). Estudos de ecologia e controle ambiental na região do reservatório da UHE de Samuel. Convênio: ELN/MCT/CNPQ/INPA de 01.07.82. Relatório Setorial, Segmento: Estimativa da Fitomassa. Período julho-dezembro 1986. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM. 194 p.
- Revilla Cardenas, J.D. (1987). Relatório: Levantamento e Análise da Fitomassa da UHE de Kararaô, Rio Xingú. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM. 181 p.
- Revilla Cardenas, J.D. (1988). Relatório: Levantamento e Análise da Fitomassa da UHE de Babaquara, Rio Xingú. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM. 277 p.
- Revilla Cardenas, J. D. & do Amaral, I. L. (1986). Estudos de Ecologia e Controle Ambiental na Região do Reservatório da UHE de Samuel: Convênio ELN/CNPQ/INPA, de 01.07.82. Relatório Setorial, Segmento Minhocucus, Período janeiro/junho 1986. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM. 5 p.
- Revilla Cardenas, J. D., Kahn, F. L. & Guillamet, J. L. (1982). Estimativa da fitomassa do reservatório da UHE de Tucuruí. p. 1-11 In: Projeto Tucuruí, Relatório Semestral, Período janeiro/junho 1982, Vol. 2: Limnologia, Macrófitas, Fitomassa, Degradação da Fitomassa, Doenças Endêmicas, Solos. Brazil, Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE) & Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). INPA, Manaus, AM. 32 p.
- Robertson, B.A. (1980). *Composição, Abundância e Distribuição de Cladocera (Crustacea) na Região de Água Livre da Represa de CuruáUna, Pará*. Dissertação de mestrado, Fundação Universidade do Amazonas (FUA) & Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). INPA, Manaus, AM. 105 p.
- Rosa, L.P. (1992). Apresentação sem título no Workshop INPE/OECD "Inventories of Net Anthropogenic Emissions of Greenhouse Gases", São José dos Campos, SP, 9-10 de março de 1992.
- Rosa, L.P. & Schaeffer, R. (1994). Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs. *Ambio* 23(2): 164-165.
- Rudd, J. W. M., Harris, R., Kelly, C. A. & Hecky, R. E. (1993). Are hydroelectric reservoirs significant sources of greenhouse gases? *Ambio*, 22(4): 246-248.
- Seva, O. (1990). Works on the Great Bend of the Xingu--A Historic Trauma? p. 19-35 In: *Hydroelectric Dams on Brazil's Xingu River and Indigenous Peoples*. (Ed. L. A. de O. Santos & L. M. M. de Andrade). Cultural Survival Report 30. Cultural Survival, Cambridge, Massachusetts, E.U.A. 192 p.
- Shine, K. P., Derwent, R. G., Wuebbles, D. J. & Morcrette, J.-J. (1990). Radiative forcing of climate. p. 41-68 In: *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. (Ed. J. T. Houghton, G. J. Jenkins & J. J. Ephraums). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido: 365 p.
- Wassmann, R. & Thein, U. G. (1996). Spatial and seasonal variation of methane emission from an Amazon floodplain lake. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 25: 179-185.





# Capítulo 27

---

## **Emissões de Gases de Efeito Estufa de Reservatórios Hidrelétricos na Amazônia: O Exemplo de Tucuruí e Comparação com as Alternativas de Combustível Fóssil**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation* 24(1): 64-75. doi:10.1017/S0376892997000118

## RESUMO

Hidrelétricas em áreas de florestas tropicais emitem dióxido de carbono e metano. Como essas emissões e seus impactos devem ser calculadas, e como as comparações devem ser feitas com as contribuições de aquecimento global a partir de combustíveis fósseis, podem levar a grandes diferenças em conclusões sobre as vantagens relativas dessas opções. O exemplo de Tucuruí é examinado para esclarecer essas diferenças. O presente trabalho estende uma análise anterior de um único ano para compreender 100 anos, e explora as diferenças entre estes impactos e as emissões de combustíveis fósseis comparáveis.

Os fatores considerados aqui no cálculo das emissões de Tucuruí incluem o estoque inicial e a distribuição de carbono, as taxas de decomposição e os caminhos que levam ao dióxido de carbono e metano, e as perdas de energia nas linhas de transmissão. Fatores não considerados incluem a degradação da floresta em ilhas e margens do reservatório, fontes de óxido nitroso em zonas de deplecionamento e linhas de transmissão, vias de emissão de metano adicionais de árvores em pé, a água que passa pelas turbinas, etc. As emissões da fase de construção, também não estão incluídas, nem estão as emissões do desmatamento por pessoas deslocadas pelo reservatório ou atraídas pelo projeto. A contabilidade completa da paisagem alternativa também está faltando. A padronização do nível de confiabilidade do fornecimento de energia elétrica é necessária para comparar opções de hidrelétricas e termelétricas.

Tipos de cálculos de emissões comumente utilizados incluem a contribuição definitiva para as emissões, o balanço anual de emissões em um determinado ano, e as emissões ao longo de um horizonte de longo prazo (por exemplo, 100 anos). O *timing* (trajeto temporal) das emissões difere entre a geração hidrelétrica e termelétrica, a hidrelétrica produzindo um grande pulso de emissões de dióxido de carbono nos primeiros anos após o enchimento do reservatório, enquanto uma usina termelétrica produz um fluxo constante de gases em proporção à energia gerada. Os impactos das emissões estão relacionados com a carga atmosférica (estoques) de gases, em vez de ser relacionados com as emissões (fluxos) de gases. Portanto, o impacto permanece por um longo tempo. De acordo com os cálculos do presente trabalho, a molécula de dióxido de carbono contribuída por Tucuruí estava presente, em média, na carga atmosférica 15 anos antes do que a molécula proveniente de geração de combustíveis fósseis em carga comparável.

Isso significa que, considerando um horizonte de tempo de 100 anos, uma tonelada de CO<sub>2</sub> emitida por Tucuruí tem 15% mais impacto do aquecimento global do que uma tonelada emitida por combustível fóssil, assumindo que não há desconto. Se o desconto por tempo for aplicado, então o impacto relativo da opção hidrelétrica é aumentado.

A preferência temporal, seja mediante uma taxa de desconto ou por um procedimento alternativo, é um fator chave que afeta a atratividade de energia hidrelétrica. No caso de baixas taxas anuais de desconto (digamos 1-2%), a atratividade de Tucuruí, embora menos do que sem descontar, ainda é 3-4 vezes melhor do que a geração a partir de combustíveis fósseis. Se a taxa de desconto chega a 15%, a situação é inversa, e a geração por combustível fóssil se torna mais atraente do ponto de vista do aquecimento global. A hidrelétrica de Tucuruí, com uma densidade de potência (capacidade instalada / área de reservatório) de 1,63 W m<sup>-2</sup> é melhor do que a média de 0,81 W m<sup>-2</sup> para os 5.500 km<sup>2</sup> de reservatórios existentes na Amazônia brasileira e também é melhor que a média de 1 W m<sup>-2</sup> estimada pelo autoridades elétricas brasileiras como a média para todo o desenvolvimento hidrelétrico planejado na região.

Palavras-Chave: gases de efeito estufa; barragens hidrelétricas; aquecimento global; reservatórios; emissões de carbono da floresta

## INTRODUÇÃO

As hidrelétricas em áreas de florestas tropicais emitem gases de efeito estufa, tais como, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). A maneira em que essas emissões e seus impactos deve ser calculada, e como as comparações devem ser feitas com contribuições ao aquecimento global por outras fontes de energia, como os combustíveis fósseis, é uma questão de discordância.

A proporção de carbono na biomassa em decomposição que é emitida como CH<sub>4</sub>, em vez de CO<sub>2</sub> influencia fortemente o impacto no aquecimento global de reservatórios. Por cada tonelada de carbono, CH<sub>4</sub> é muito mais potente do que o CO<sub>2</sub> em provocar o efeito estufa. O tempo de vida médio de CH<sub>4</sub> na atmosfera é muito mais curto do que o de CO<sub>2</sub>, ou seja, 14,5 anos contra 125 anos, dada uma atmosfera de composição constante como presumido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (Albritton et al., 1995, p. 222).

O presente artigo analisa o exemplo de Tucuruí, a fim de esclarecer as diferenças entre as várias abordagens para este problema. A análise baseia-se em um estudo anterior (Fearnside, 1995) que calculou a emissão desta e de outras usinas hidrelétricas amazônicas para um único ano, ou seja, 1990, o que é o ano base para inventários de emissões atualmente em curso no âmbito da Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima (UNFCCC). O presente trabalho é limitado ao caso de Tucuruí, mas gostaria de salientar que a intenção não é de retratar essa barragem como exemplo de barragens amazônicas típicas, existentes ou planejadas. A hidrelétrica de Tucuruí é melhor, do ponto de vista de gases de efeito estufa, do que qualquer uma das outras quatro grandes barragens existentes na Amazônia brasileira ou da média para as barragens planejadas, mas não representa um caso extremo. Considerando os valores oficiais para as áreas dos reservatórios, Tucuruí tem 1,63 watts (W) de capacidade instalada por m<sup>2</sup> de superfície do reservatório, enquanto a ELETROBRÁS (autoridade elétrica nacional do Brasil) considera a densidade média de energia para todo o potencial hidrelétrico da Amazônia sendo de apenas 1 W m<sup>-2</sup> (Rosa et al., 1996a, p. 6). O valor equivalente para os 5.537 km<sup>2</sup> de superfície de água nas quatro grandes barragens

existentes (cuja capacidade instalada total é de 4.490 MW) é de 0,81 W m<sup>-2</sup>, ou apenas metade da densidade de potência de Tucuruí. [Observação acrescentada em 2013: Isto refere a Tucuruí-I, com 4.000 MW instalados e reservatório de 2.247 km<sup>2</sup>. O projeto Tucuruí-II, implantado entre 1998 e 2002, aumentou a capacidade para 8.000 MW e a área do reservatório para 2.800 km<sup>2</sup>; em 2010 a capacidade instalada chegou a 8.370 MW e a área do reservatório a 2.850 km<sup>2</sup>.]

As comportas da barragem de Tucuruí, de 2.247 km<sup>2</sup>, foram fechadas em 1984, no rio Tocantins, e tornou-se o primeiro grande projeto hidrelétrico na Amazônia brasileira (Fig. 1). Apenas a Curuá-Una, fechada em 1977, com 72 km<sup>2</sup>, a havia precedido na região. Posteriormente barragens foram fechadas em 1987 em Balbina (3.147 km<sup>2</sup>) e em 1988, Samuel (465 km<sup>2</sup>) (áreas a partir de imagens LANDSAT-TM, veja Fearnside, 1995). Reservatórios planejados listados no Plano 2010, independentemente da data prevista para a construção, constituem uma área total de 100.000 km<sup>2</sup> (ELETROBRÁS, 1987, p. 150), que é aproximadamente 20 vezes o total atual [em 1997] de 5.931 km<sup>2</sup> na Amazônia Legal brasileira. As áreas acima dos reservatórios existentes são aquelas medidas a partir de imagens LANDSAT, e diferem ligeiramente dos valores “oficiais” (Fearnside, 1995, p. 11).



Figura 1. Amazônia Legal.

## Tipos de cálculos de emissões

### A contribuição definitiva para as emissões.

Uma maneira de abordar gases de efeito estufa (GEE) emitidos por hidrelétricas seria calcular a contribuição final que seria obtida com a decomposição de toda a biomassa da floresta inundada pelo reservatório. Isto é muito mais fácil de calcular do que o cálculo do impacto da inundação sobre o balanço anual de emissões líquidas, porque não precisamos saber a velocidade com que a decomposição ocorre. Rosa e Schaeffer (1995) fizeram um cálculo para Tucuruí usando um método equivalente a esta abordagem, presumindo que a biomassa tem uma meia-vida de apenas sete anos e considerando as emissões em um horizonte de tempo de 100 anos sem descontar. Os pressupostos desses autores podem ser usados nos cálculos, sendo que a liberação acumulada de mais de 100 anos seriam 2,3-5.300.000 t de CH<sub>4</sub> ou 56,4-128.900.000 t de CO<sub>2</sub> gás equivalente usando potenciais de aquecimento global (GWPs) do IPCC de 1994 com integração de 100 anos. No entanto, a análise de Rosa e Schaeffer (1995), presumia (sem explicação de qualquer justificação) que 10-30% da biomassa se decompõe anaerobicamente (ou seja, liberando CH<sub>4</sub>), e considera apenas o impacto do CH<sub>4</sub>, ignorando assim a 70-90% do carbono que estes autores presumiram como liberado na forma de CO<sub>2</sub>. Uma comparação válida exigiria a representação de todos os gases emitidos por ambas as opções (ver Fearnside, 1996b e Rosa et al., 1996b).

O cálculo da contribuição final de reservatórios para as emissões, embora que seja útil como uma ilustração, nos informa pouco sobre a contribuição para o balanço anual de emissões. A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), assinada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), no Rio de Janeiro em junho de 1992 por 155 países mais a União Europeia, estipula que cada nação deve fazer um inventário dos estoques de carbono e dos fluxos de gases de efeito estufa. Isto implica que o balanço anual dos fluxos de GEE será o critério adotado para a atribuição de responsabilidade entre as nações para o aquecimento global. Como a biomassa florestal em reservatórios amazônicos se decompõe muito lentamente, a contribuição para o balanço anual é muito diferente do potencial final de emissão de carbono.

Junk e de Mello (1987, p. 381) fizeram dois cálculos das emissões de Tucuruí, em comparação com a geração com combustíveis fósseis. Em um cálculo otimista, eles concluíram que a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada da floresta inundada em Tucuruí foi igual à emissão que a seria liberada se fosse gerada a mesma quantidade de energia a partir de combustíveis fósseis durante apenas 1,5 ano. Este cálculo pressupõe que a biomassa média seria de 300 t ha<sup>-1</sup>, que nenhuma floresta seria derrubada fora da área do reservatório, e que a barragem iria gerar, desde o início, 8.000 MW de energia (ou seja, a configuração de Tucuruí-II e um fator de carga [impossível] de 100%).

O cálculo pessimista de Junk e de Mello (1987, p. 381) indicou que a dívida da emissão seria zerada depois de 37 anos. O último cálculo foi feito presumindo que a biomassa seria de 600 t ha<sup>-1</sup>, que uma área do lado de fora do reservatório seria derrubada igual a cinco vezes a área do reservatório, e que 4.000 MW seriam gerados desde o início. Ambos os cálculos otimistas e pessimistas presumam que apenas metade da área do reservatório seria florestada, que todo o carbono da biomassa florestal é emitido como CO<sub>2</sub>, e que a alternativa termelétrica usaria como combustível o diesel, com teor de energia de 10.900 kcal kg<sup>-1</sup> e um eficiência de conversão de 20% para energia elétrica.

### Balanço anual de emissões em um ano específico.

De acordo com a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima (UNFCCC), os países atualmente [em 1997] estaria realizando inventários de emissões nacionais para avaliar os fluxos no ano de 1990, e este exercício será repetido em intervalos regulares ao longo dos anos vindouros. A capacidade para avaliar os fluxos em um ano específico, como 1990, é, portanto, importante. As quantidades aproximadas de biomassa presentes em cada zona em Tucuruí, e as emissões foram calculadas para 1990 (ano base para inventários nacionais - Fearnside 1995, Tabela 7). A emissão de metano de Tucuruí em 1990 totalizou 90.000 t de gás de CH<sub>4</sub>. As emissões de gás de CH<sub>4</sub> em todo o reservatório foram 215 t a partir de térmitas (cupins), de 39.800 t a partir da água aberta, 14.300 t a partir de massas de macrófitas, e 40.200 t a partir da decomposição subaquática. A parcela da decomposição subaquática foi composta por contribuições da zona inundada permanentemente de 0 t a partir da madeira na zona de água de superfície, 11.900 t de madeira na zona



de água anóxica, 2.000 t de folhas e outros tipos de biomassa não-lenhosa na zona de água anóxica e 10.200 t de biomassa vegetal (raízes) abaixo do solo. As contribuições da zona sazonalmente inundadas foram de 13.300 t de decomposição subaquática de madeira, 1.800 t a partir de folhas e outros tipos de biomassa não-lenhosa (sem considerar árvores mortas), e 64 t a partir de decomposição de biomassa abaixo do solo (raízes).

### **Emissões ao longo de 100 anos**

#### **Cronograma das emissões.**

A energia hidrelétrica tem algumas diferenças fundamentais em relação aos combustíveis fósseis que fazem com que as comparações dos impactos dessas duas opções produzam resultados muito diferentes dependendo do tratamento dado ao tempo no método de cálculo. A geração a partir de combustíveis fósseis produz emissões em proporção direta à energia produzida, de modo que o fornecimento de um fluxo constante de benefícios na forma de eletricidade irá produzir um fluxo constante de emissões. As hidrelétricas em áreas de floresta tropical, por outro lado, produzem um grande pulso de emissões nos primeiros anos após o fechamento, e, em seguida, as emissões diminuíram para um nível muito inferior, com a maior parte da biomassa florestal, especialmente a biomassa acima da água, ou já ser decomposta ou transferida para o fundo do reservatório. Os benefícios tipicamente seguem um padrão que é o inverso do padrão para os impactos. O benefício começa em um nível baixo, com apenas algumas turbinas instaladas, e aumentam gradualmente ao longo de vários anos na medida em que as demais turbinas são instaladas.

## **MÉTODOS**

### **Fatores incluídos no cálculo das emissões de Tucuruí**

#### **Estoque e distribuição inicial de carbono**

As áreas de diferentes tipos florestais e a biomassa de cada tipo foram estimadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), como parte dos estudos ambientais contratados pela ELETRONORTE (Revilla Cardenas et al., 1982, p. 90). A média ponderada por área da biomassa acima do solo é de 394 t ha<sup>-1</sup> (peso seco em estufa), enquanto a biomassa total aproximada é de 517 t

ha<sup>-1</sup>. A alocação da biomassa em zonas verticais baseou-se nas profundidades da água no nível normal e no nível mínimo de operação (ver Apêndice).

As remoções de biomassa por exploração madeireira antes da inundação foram pequenas (Fearnside, 1990). Da biomassa acima do solo, 1% foi presumida ter sido removida (Fearnside, 1995). Tucuruí foi caracterizada pela atividade madeireira subaquática iniciada em 1988 usando uma serra elétrica subaquática especialmente desenvolvida. No entanto, as negociações para usar a biomassa a partir desta fonte em larga escala para fornecer carvão para as usinas de ferro-gusa na área do Programa Grande Carajás terminaram sem acordo. No entanto, o presente cálculo presume que entre 1988 e 2000, a metade da biomassa foi removida.

#### **Taxas e caminhos de decomposição.**

O reservatório está dividido em duas zonas horizontais: a zona inundada de forma permanente e a zona inundada sazonalmente (Fearnside, 1995, Fig. 3). A biomassa é alocada entre quatro zonas verticais: aérea, água de superfície, água anóxica, e sub-solo (segundo Fearnside, 1995, Tabela 5), utilizando a distribuição vertical de biomassa na floresta estudada perto de Manaus por Klinge e Rodrigues (1973; ver Fearnside, 1995, Tabela 4). Com base nas proporções de biomassa no estrato vertical, as profundidades de água nos níveis operacionais mínimo e máximo, e as áreas de cada zona, a biomassa é calculada em cinco categorias, a saber, madeira acima da água, madeira na água de superfície, madeira na água anóxica, folhas e outros materiais não-madeiras na água anóxica, que são todos presumidos serem depositados no fundo do reservatório, e madeira abaixo do solo. A progressão dos valores de biomassa é calculada para cada ano, zona e componente de biomassa. Isso é feito usando as taxas de decomposição em cada zona e as taxas de queda de biomassa da zona vertical acima da água para as zonas abaixo da água. Os parâmetros usados para o cálculo das emissões de Tucuruí são os mesmos que os usados na análise anterior (Fearnside, 1995, Tabela 6). Ressalto que uma série de parâmetros em relação às taxas de decomposição subaquáticas são baseadas em suposições, mas que as taxas de decomposição acima da água, que geram a maior parte das emissões se baseiam em medições. Estas medições são as disponíveis para a decomposição em derrubadas da Amazônia (Buschbacher, 1984; C. Uhl & J. Saldariagga, manuscrito inédito, ver Fearnside, 1996a).

A biomassa inicialmente presente na área é estimada em 291,4 t ha<sup>-1</sup> de madeira acima da água, 5,33 t ha<sup>-1</sup> de madeira na zona de água de superfície (até 1 m de profundidade no nível de água mínimo), 55,47 t ha<sup>-1</sup> de madeira e outros componentes não-madeireiros na zona de água anóxica, e 122,69 t ha<sup>-1</sup> de madeira abaixo do solo. A estimativa de biomassa é baseado em medições feitas na área do reservatório de Tucuruí antes da inundação (Revilla Cardenas et al., 1982) e a alocação em zonas verticais é baseado em um estudo perto de Manaus (Klinge & Rodrigues, 1973). As zonas de água acima e abaixo do solo cobrem toda a parte arborizada do reservatório (1.926 km<sup>2</sup>), enquanto que a água de superfície e zonas de água anóxica (usando valores médios de profundidade) cobrem a parte florestal da zona permanentemente inundada (858 km<sup>2</sup>).

A produção de metano a partir de térmitas envolvidas na decomposição da madeira que se projeta para fora da água, é também calculada, seguindo Martius et al. (1996). Esta emissão é limitada pelo pequeno tamanho da população de térmitas que é capaz de se estabelecer antes da biomassa ser removida por meio de outros processos.

O metano também é produzido a partir da “água” em hidrelétricas, o que significa que se origina do carbono dissolvido, matéria orgânica do solo e da decomposição de macrófitas e outros organismos. Sendo que medições para essas emissões são escassas, um valor derivado a partir de estudos em lagos na várzea amazônica foi usado para este parâmetro (ver Fearnside, 1995, Tabela 8). Este é 53,9 mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para o mar aberto, e 174,7 mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para bancos de macrófitas. Tucuruí é presumido como sendo 90% da superfície de água descoberta e 10% de bancos de macrófitas. Medições baseadas em LANDSAT feitas por Novo e Tundisi (1994, p. 149) indicaram que o reservatório de Tucuruí constituía de 67% água aberta, 22% árvores mortas emergentes e macrófitas, e 11% área sazonalmente inundadas. A estimativa de emissão de CH<sub>4</sub> para o reservatório foi obtida pela multiplicação dessas áreas por valores de emissões por unidade de área a partir de medições feitas por Bartlett et al. (1990) em habitats semelhantes em lagos de várzea (Novo & Tundisi, 1994). As taxas de fluxo de CH<sub>4</sub> usadas no presente estudo são ligeiramente menores, com base nos resultados de Bartlett et al. (1990), sendo incluídas em uma média com outras medidas disponíveis sobre lagos de várzea (Fearnside, 1995, p. 15).

## As perdas em transmissão

As perdas de energia em transmissão devem ser incluídas em qualquer cálculo para ter uma comparação justa entre energia hidrelétrica e energia gerada a partir de combustíveis fósseis. As usinas termelétricas geram eletricidade no local onde ela será usada, e as perdas de suas redes de distribuição local podem ser presumidas como iguais aos de distribuição local da energia hidrelétrica. O transporte de longa distância, desde o local da usina hidrelétrica até o ponto de consumo, aplica-se apenas à energia hidráulica, e deve ser considerada. Neste cálculo, uma perda de 2,5% é utilizada, sendo este o valor baixo presumido no estudo de viabilidade da hidrelétrica de Balbina (ELETRONORTE/Monasa/ENGE-RIO, 1976). Tucuruí tem 743 km de linha de transmissão com 500 quilovolts (kV) e 75 km de linha com 230 kV, sem contar os aproximadamente 500 km de linha no segmento de Imperatriz para São Luís com 500 kV (ELETRONORTE, s/d [C. 1983]). O total é, portanto, mais de quatro vezes o comprimento de 190 km da linha de 230 kV de Balbina, mas transmite volumes muito maiores de energia. As perdas em transmissão não foram incluídas nos cálculos relativos a 1990 em Fearnside (1995).

## RESULTADOS

### Emissões

As emissões provenientes da fase Tucuruí-I são mostrados na Figura 2 para um período de 100 anos. Um grande pulso de emissões de CO<sub>2</sub> nos primeiros anos após o enchimento do reservatório é evidente. O metano, sob suposições atuais, é emitido a uma taxa quase constante ao longo do horizonte de tempo. *[Observação acrescentada em 2013: este não é mais o caso, sendo que hoje sabemos que há um grande pulso de emissão de metano nos primeiros anos.]* Na Figura 3, o efeito de Tucuruí e seu equivalente de combustível fóssil são comparados em termos de impacto no aquecimento global pelas suas emissões anuais, expressas em termos de CO<sub>2</sub> equivalentes ajustados ao ano de emissão. Valores de CO<sub>2</sub> equivalente são, portanto, valores instantâneos sem ajuste para os efeitos das emissões não simultâneas, ao longo de um horizonte de tempo de, por exemplo, 100 anos. Estes valores equivalentes de CO<sub>2</sub> são calculados multiplicando-se as quantidades de cada gás pelo seu potencial de aquecimento global (GWP) do relatório intermediário do IPCC de 1994 com

integração de 100 anos (Albritton et al., 1995, p. 222). Considerando este tipo de base instantânea, ou seja, perdendo a quantidade acumulada de emissões desde o início da série histórica, a Tucuruí começa pagar sua 'dívida' de emissão a partir do sexto ano. Nas Figuras 2 e 3, o tempo "0" significa o momento em que a usina entra em operação, e não o momento em que a barragem foi fechada. As emissões provenientes da fase de enchimento (ou seja, antes da usina começar a geração comercial de energia), mais as emissões da construção, seriam representadas por números negativos para o tempo.

As cargas atmosféricas de GEE de Tucuruí são mostradas na Figura 4 para um horizonte de tempo de 100 anos. Os perfis comparáveis para as emissões da geração da mesma quantidade de energia a partir de combustíveis fósseis é mostrado na Figura 4-B. O efeito do grande pulso de emissões iniciais no processo de geração hidráulica é de manter um nível mais elevado de CO<sub>2</sub> na atmosfera durante um período após a barragem começa a igualar os combustíveis fósseis numa base instantânea (Fig. 3).

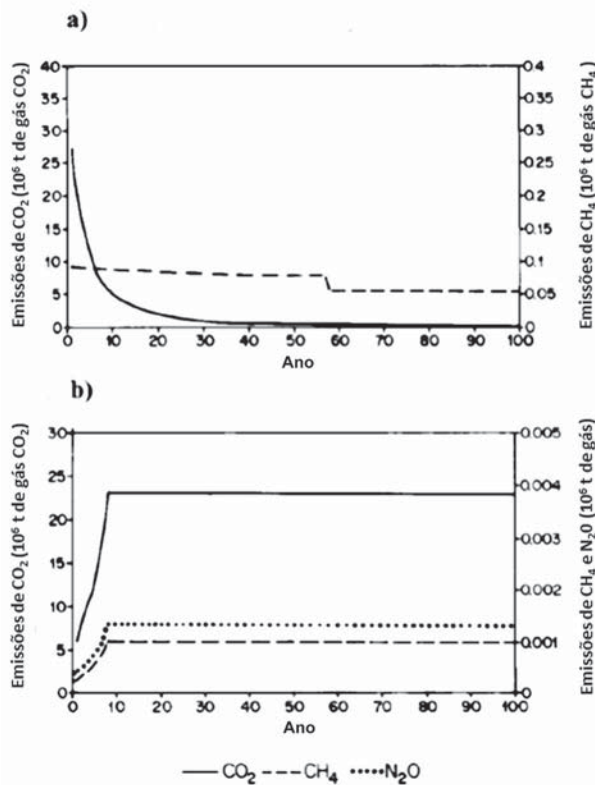


Figura 2. emissões de Tucuruí: (a) a partir do projeto hidrelétrico, (B) a partir de combustíveis fósseis deslocados por Tucuruí.

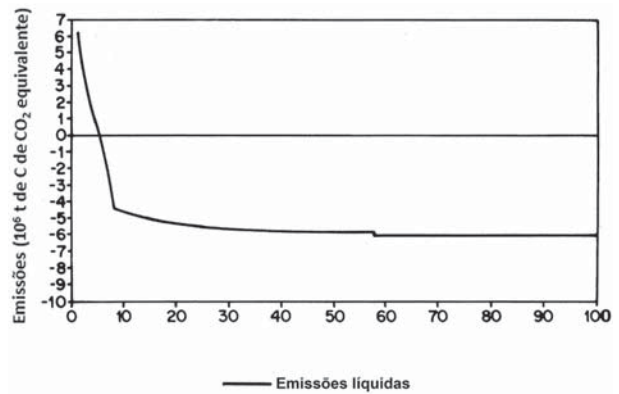


Figura 3. Tucuruí: as emissões líquidas de gases de efeito estufa.

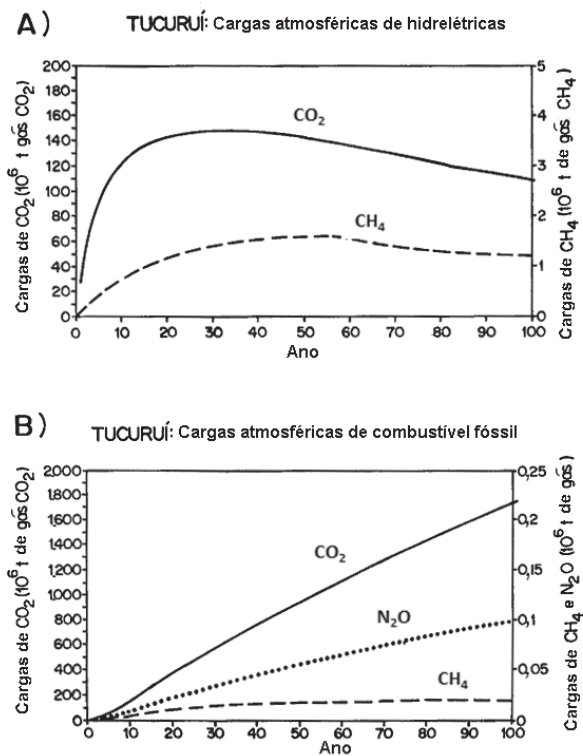
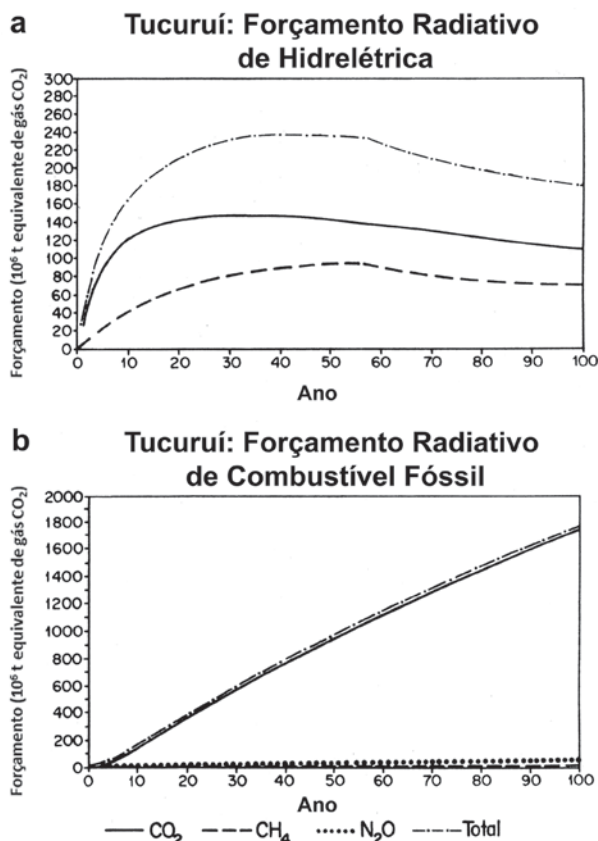


Figura 4. Tucuruí: cargas atmosféricas de gases de efeito estufa (A) a partir do projeto da hidrelétrica, (B) a partir de combustíveis fósseis substituídas por Tucuruí.

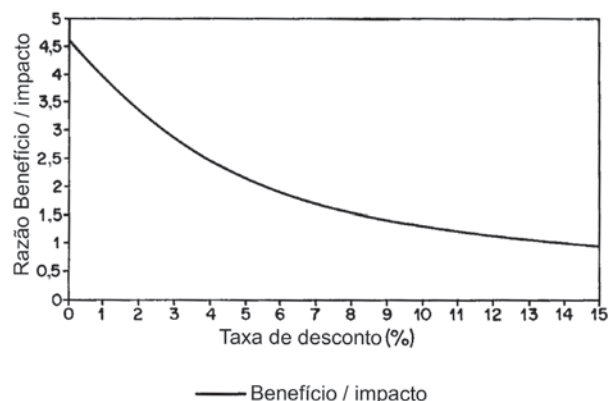
A molécula média radiativamente equivalente de CO<sub>2</sub>, emitida por uma barragem hidrelétrica, está presente na atmosfera mais cedo do que a molécula correspondente emitida pela geração a partir de combustível fóssil. O 'CO<sub>2</sub> radiativamente equivalente' refere-se a equivalentes de CO<sub>2</sub>, em termos de forçamento radiativo instantâneo (não ao GWP, ao longo de um horizonte de longo prazo, por exemplo como a integração de 100 anos dos GWPs mais

usados do IPCC). O “centro de gravidade” da distribuição do total de forçamento radiativo (Fig. 5) é o ano 52 para a produção hídrelétrica de Tucuruí, e 67 anos para o equivalente de Tucuruí a partir de combustível fóssil. A diferença de 15 anos representa um ganho significativo em adiar o aquecimento global. O valor atribuído a esta diferença de tempo depende da taxa de desconto escolhida.

O efeito da taxa de desconto sobre a vantagem relativa da geração hídrelétrica de Tucuruí, em comparação com o seu equivalente termelétrico, é mostrado na Figura 6. A relação benefício/custo diminui para o valor de um para uma taxa anual de desconto de 15%. Se os impactos da geração hídrelétrica fossem calculados incluindo as emissões da construção da barragem e de outras fontes não incluídas no presente cálculo, a curva seria deslocada para a esquerda e os benefícios seriam iguais aos impactos em um valor da taxa de desconto mais baixo.



**Figura 5.** Tucuruí: forçamento radiativo das cargas atmosféricas de gases de efeito estufa (A) a partir do projeto da hídrelétrica, (B) a partir de combustíveis fósseis deslocados por Tucuruí. O centro de gravidade da curva de forçamento radiativo total é no ano 52 para as emissões de hídrelétricas e no ano 67 para emissões a partir de combustíveis fósseis, uma diferença de 15 anos.



**Figura 6.** Tucuruí: descontando benefícios e impactos de gases de efeito estufa (benefício/impacto no aquecimento global)

## DISCUSSÃO

### Fatores não considerados no cálculo atual

#### A degradação da floresta nas ilhas e nas margens do lago

Florestas em ilhas e nas margens do reservatório são submetidas ao estresse do lençol freático elevado, fazendo com que muitas árvores individuais morram, assim diminuindo a biomassa da floresta. A degradação da floresta em ilhas também ocorre devido ao efeito da fragmentação florestal em pequenas manchas isoladas (e.g., Lovejoy et al., 1984).

#### Fontes de óxido nitroso

O óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), provavelmente, é liberado a partir de solos expostos na zona sazonalmente inundada durante períodos de rebaixamento. N<sub>2</sub>O também é formado no ar através das linhas de transmissão de alta tensão. A quantificação do N<sub>2</sub>O é importante por causa do elevado impacto por tonelada deste gás, em relação ao CO<sub>2</sub>, no aquecimento global, o seu potencial de aquecimento global (GWP) de 100 anos de integração é de 320 em relação ao CO<sub>2</sub>, numa base de massa de gás (Albritton et al., 1995, p. 222). [Observação acrescentada em 2013: o GWP de 100 anos de N<sub>2</sub>O (sem retroalimentações) no quinto relatório do IPCC, de 2013, é de 265.]

#### Trajetórias das emissões de metano adicionais

Os processos pelos quais o CH<sub>4</sub> é liberado não estão bem quantificados, e poderiam aumentar significativamente a quantidade dessas emissões acima do que foi calculado no presente trabalho. Emissões aqui foram estimadas com base em



diferentes processos. Para as emissões a partir da água, isto é, com base em informações disponíveis sobre emissão da superfície da água de lagos de várzea. No entanto, grande parte do  $\text{CH}_4$  é oxidada até  $\text{CO}_2$  na coluna de água antes de ser liberado para a superfície. Processos que só aplicam a reservatórios, e não a lagos naturais, permitem que  $\text{CH}_4$  seja lançado diretamente para a atmosfera, sem passar pela coluna de água inteira, aumentariam substancialmente as emissões sobre esta estimativa. Uma contribuição deste tipo é o  $\text{CH}_4$  liberado quando a água passa pelas turbinas, levando água anóxica e diminuindo abruptamente a sua pressão. Com uma vazão média de  $11.100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , o volume de  $48 \times 10^9 \text{ m}^3$  de água de Tucuruí é substituída a cada 50 dias (0,138 anos). Marc Lucotte (comunicação pessoal) encontrou apenas uma pequena porcentagem do total da liberação de  $\text{CH}_4$  ocorrendo através da água que passa pelas turbinas do complexo La Grande, de  $15.000 \text{ km}^2$ , em Quebec, Canadá. No entanto, como La Grande tem uma área tão grande, e porque o seu tempo de substituição da água é de aproximadamente um ano, a importância relativa da superfície da água será maior do que em Tucuruí. A razão é a mesma que a causa dos lagos naturais que têm, em geral, uma maior contribuição a partir do vento e da difusão pela superfície do que é o caso dos reservatórios (ver Baxter, 1977, p. 259).

A quantidade de  $\text{CH}_4$  emitida pelo reservatório depende fortemente das rotas disponíveis através das quais o  $\text{CH}_4$  na água anóxica na parte inferior do reservatório pode chegar à superfície sem ser oxidado para  $\text{CO}_2$  na coluna d'água. O presente cálculo considera apenas a difusão através da superfície da água, a uma taxa presumida como sendo igual àquela que ocorre em lagos de várzea. Eventos individuais que trazem água anóxica para a superfície não seriam capturados por essas taxas médias, relativamente baixas. Períodos de frio (fria-gens) afetam a parte ocidental da Amazônia brasileira, mas não a área onde a represa de Tucuruí está localizada, na Amazônia oriental. Fria-gens causam a quebra da termoclina e a mistura completa da coluna d'água, trazendo água anóxica, rica em  $\text{CH}_4$ , para a superfície, onde um pulso de emissões pode ocorrer. No entanto, em Tucuruí a calha do rio no reservatório foi estratificada termicamente apenas na estação de vazante, com o início das chuvas, o grande afluxo de água da chuva, com alto teor de oxigênio, elimina condições anóxicas na calha

durante o período de cheia em que o tempo de substituição da água é de apenas algumas semanas (Junk & de Mello, 1987, p. 380). Em baías estagnadas e áreas de margem, onde árvores em pé impedem o fluxo de água de Tucuruí, a estratificação é mantida durante todo o ano (Pereira, 1989 citado por Roulet, 1992, p. 52). O mesmo aplica-se para o reservatório Brokopondo em Suriname (Leentvaar, 1966, citado por Baxter, 1977, p. 261).

Os cálculos da liberação de  $\text{CH}_4$  no presente artigo não incluem o possível papel das árvores mortas em pé no reservatório para servir como canais para  $\text{CH}_4$  do solo do fundo do reservatório. Marc Lucotte (comunicação pessoal, 1996), encontrou árvores mortas em reservatórios no norte do Canadá agindo dessa forma, com  $\text{CH}_4$  passando pelo xilema e floema das árvores mortas, permitindo que o gás fosse liberado diretamente para a atmosfera, escapando, assim, do bloqueio pela termoclina e evitando a oxidação de  $\text{CO}_2$  na coluna de água.

### Emissões na fase de construção

A construção de hidrelétricas emite gases de efeito estufa por meio do uso de combustível na escavação de terra e rocha, transporte de materiais, e as emissões da fabricação de cimento e aço. Tucuruí exigiu 6,2 milhões de  $\text{m}^3$  de concreto (ELETRONORTE, s/d [1992], p. 5). Além disso, havia 55,3 milhões de  $\text{m}^3$  de argila compactada, 20,0 milhões de  $\text{m}^3$  de enrocamento, 22,9 milhões de  $\text{m}^3$  de escavação em rocha, 24,3 milhões de  $\text{m}^3$  de escavação comum, e 4,7 milhões de  $\text{m}^3$  de filtros e transições (ELETRONORTE, s/d [C. 1983]). Para a linha de transmissão, 1.937 torres foram requeridos, sem contar o trecho Imperatriz-São Luís da linha.

### Contabilidade completa da paisagem alternativa

É preciso ter uma estimativa das emissões que ocorreriam na ausência da barragem. A hipótese mais simples para estimar uma emissão desse tipo é que a paisagem permaneceria em um estado estático igual àquela que estava presente antes de construir a barragem, mas uma comparação mais justa seria alcançada através da comparação da barragem com um cenário para o desenvolvimento da região sem a barragem.

Os solos em florestas primárias são sumidouros naturais de metano, e a remoção desse sumidouro representa um pequeno impacto sobre o aquecimento global (Keller et al., 1986). Isso foi incluído no

cálculo das contribuições de represas hidrelétricas (junto com o desmatamento) para o balanço anual de emissões líquidas em 1990 (Fearnside, 1996a), mas não foi incluído no cálculo para Tucuruí no presente trabalho.

A possível absorção de carbono pelo crescimento de floresta natural, encontrada na única medição disponível até o momento (Grace et al., 1995), não foi incluída no cálculo. Se a floresta considerada for um sumidouro natural de carbono, então removê-la por meio de inundação teria maior impacto sobre o aquecimento global.

As emissões do uso do solo por desmatamento estimulado pela barragem pode ter um impacto significativo sobre o efeito líquido da barragem. Porque a população humana, deslocada pelo reservatório teria continuado a desmatar dentro da área de submersão se a barragem não fosse construída, apenas o pulso inicial de desmatamento a partir desta população realocada representa um verdadeiro acréscimo às emissões a partir do desmatamento. Colonos recém-chegados na rodovia Transamazônica perto de Altamira (Pará) derrubaram a floresta a uma taxa anual média de 3,6 ha por família durante os primeiros cinco anos, enquanto que em Ouro Preto do Oeste (Rondônia), os lotes foram apurados a uma taxa média anual de 2,7 ha por família durante os primeiros seis anos em que o lote foi ocupado, após o qual a taxa de desmatamento caiu para níveis muito baixos até que o lote fosse vendido para um novo proprietário (Fearnside, 1984). A atividade madeireira que teria continuado na área de submersão se o reservatório não tivesse sido criado provavelmente foi deslocada para florestas fora da área de submersão, sem que isso represente uma mudança líquida.

Deve-se também deduzir as emissões de CH<sub>4</sub> que teriam sido produzidas pela água do rio natural dentro do trecho inundado pelo reservatório. Da mesma forma, as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O devem ser deduzidas da área sazonalmente inundada (várzea) durante as fases de inundação e exposição do regime hidrológico natural do rio.

### **Emissões indiretas**

Conhecido como “vazamento” em discussões sobre os benefícios líquidos de plantações silviculturais como uma medida de mitigação do aquecimento global, os efeitos indiretos podem aumentar substancialmente os impactos no aquecimento global de um projeto de desenvolvimento, incluindo

uma usina hidrelétrica como Tucuruí. O reservatório tornou necessária a mudança de um trecho de 120 quilômetros da rodovia Transamazônica, deslocando esta estrada (e suas vias associadas de acesso) em uma área de floresta. Tucuruí deslocou 3.350 famílias (17.319 pessoas), de acordo com estimativas feitas depois que o reservatório estava cheio (Monosowski, 1990, p. 32). Embora algumas dessas pessoas se mudaram para as cidades, a maioria foi transferida para áreas de assentamento onde essas pessoas desmataram áreas para fins agrícolas, particularmente na Gleba Parakanã na margem ocidental do reservatório). Uma infestação severa de mosquitos do gênero *Mansonia* neste local (Tadei et al., 1991) fez com que muitas dessas pessoas, posteriormente, passassem para uma nova área de floresta, onde desmatamento adicional foi realizado. Além disso, pessoas de outras partes do País foram atraídas para a área do projeto, onde derrubaram ainda mais floresta.

Nem todas as emissões de desmatamento pela população atraída para a barragem podem ser responsabilizadas pelo projeto, no entanto, já que muitas dessas pessoas teriam desmatado florestas em outras partes da Amazônia se não fosse a represa. O mesmo se aplica às emissões provenientes de centros urbanos que cresceram como resultado da barragem. A substituição de infraestrutura urbana inundada pela barragem, no entanto, representa um impacto direto. Tucuruí inundou a cidade de Jacundá, exigindo a reconstrução completa da cidade em um novo local (Mougeot, 1990).

Um efeito substancial de Tucuruí, seja positivo ou negativo, é o seu papel no transporte fluvial. A barragem poderia ter facilitado o transporte a partir de sua área de influência, se as eclusas tivessem sido concluídas. O rio Tocantins anteriormente tinha corredeiras no trecho do rio hoje submerso pelo reservatório. Para contornar as corredeiras durante o “boom” da borracha no Brasil, essa barreira motivou a construção em 1905 de uma ferrovia que atualmente está abandonada.

Em 1979, foi tomada a decisão de que, simultaneamente com a construção da barragem de Tucuruí, eclusas seriam construídas (Pinto, 1982, p. 47). Embora a construção das eclusas de navegação tenha iniciado, elas foram abandonadas antes da conclusão. O transporte por balsas no rio Tocantins teria sido um meio menos consumidor de energia para exportação de minério da mina de Carajás do que a opção

ferroviária adotada mais tarde. Carajás tem o maior depósito de minério de ferro do mundo de alta qualidade, com uma jazida de minério estimada em  $11 \times 10^9$  t, o que é suficiente para a mineração no ritmo atual [de 1997] por 400 anos. Além do ferro, a área de Carajás tem depósitos exploráveis de cobre, bauxita e outros minerais, e é associada com o Programa Grande Carajás para administrar um plano agrícola, que futuramente deverá exportar grandes quantidades de soja e outros produtos agrícolas (ver Fearnside, 1986, 1989a). O minério e outros produtos de Carajás são exportados usando uma ferrovia de 890 km, que foi concluída em 1983. Com a estrada de ferro sendo um fato consumado, a conclusão da construção das eclusas de Tucuruí passou a ser visto como parte de uma segunda fase de desenvolvimento de Carajás para permitir a expansão das exportações para além dos limites impostos pela capacidade da ferrovia (Pinto, 1982, p. 46). É também uma opção para aumentar substancialmente as exportações agrícolas da Bacia do Tocantins-Araguaia, especialmente de soja. Se as eclusas forem concluídas, então o reservatório iria começar a produzir uma energia e economia de carbono, evitando o uso de combustíveis para o transporte ferroviário adicional.

A capacidade da linha férrea (30 milhões de t ano<sup>-1</sup> de minério) limita as exportações, que pode ser maior hoje se o transporte fosse feito por barcaça. Porque o minério de Carajás é extraordinariamente puro (66% de ferro), a exploração de jazidas com teores mais baixos no resto do mundo (incluindo aquelas em Minas Gerais), resulta em mais emissões de GEE provenientes do transporte e fundição do que seria o caso se este ferro fosse fornecido a partir de Carajás.

Existe alguma possibilidade de que as eclusas na barragem de Tucuruí possam um dia ser concluídas. Embora o assunto seja levantado periodicamente, nenhum compromisso específico tem sido feito, e, portanto, é mais realista calcular cenários de emissões sem estes recursos. [Observação acrescentada em 2013: as eclusas de Tucuruí foram finalizadas em 2010, com atraso de 26 anos.]

### A padronização do nível de serviço

A comparação de diferentes tipos de geração de energia requer decisões sobre o nível de serviço, ou seja, a constância do fornecimento de eletricidade que deve ser fornecida por cada opção. A geração hidrelétrica na Amazônia tem um forte ciclo sazonal

de oferta de energia, devido à disponibilidade sazonal de água para geração de energia. Se a eletricidade fosse oferecida no mesmo nível de serviço tanto para hidrelétricas como termelétricas, para fins comparativos, seria preciso incluir as emissões dos geradores termelétricos de substituição que seriam necessários para fornecer uma quantidade constante de energia durante todo o ano. A padronização do nível de serviço é uma técnica aceita para comparar opções que diferem grandemente em termos de confiabilidade de energia, como é o caso de comparações entre energia eólica e a geração térmica.

No caso de Tucuruí, uma normalização completa no pico de potência pode ser irrealista como uma representação das escolhas reais envolvidas. Quando os serviços que estão sendo prestados são essenciais, como no fornecimento de centros urbanos, geração por usinas termelétricas de substituição é necessária durante os períodos de vazante. Por exemplo, a hidrelétrica de Balbina, que fornece energia à cidade de Manaus, Amazonas, é completamente substituída por usinas térmicas durante parte do ano. No caso de Tucuruí, no entanto, cerca de dois terços da energia é utilizada para a fabricação de alumínio, e pode ser mais econômico para beneficiar o alumínio apenas na proporção de energia hidrelétrica disponível, em vez de fornecer grandes quantidades de energia suplementar mais cara a partir de sistemas térmicos de apoio. Em qualquer caso, algum tipo de correção para representar a substituição térmica, seja total ou parcial, é necessário para uma comparação justa de Tucuruí com a geração térmica.

## Tempo e os impactos da hidrelétrica contra combustíveis fósseis

### Cronograma das emissões

O pulso inicial de emissões quando um reservatório é inundado, especialmente emissões de CO<sub>2</sub> liberado da decomposição de árvores mortas que se projetam acima da água, excede em muito os benefícios para o aquecimento global da barragem em termos de substituição de combustíveis fósseis. Diferentes barragens variam enormemente em termos do tempo necessário para começar a ter emissões menores do que termelétricas por unidade de eletricidade gerada, mesmo numa base instantânea, isto é, para as emissões anuais caírem a um nível inferior ao que é necessário para produzir a mesma energia a partir de combustível fóssil, omitindo os impactos acumuladas do pico inicial de emissões.

As emissões de metano calculadas a partir das presentes hipóteses são quase constantes ao longo do tempo. No entanto, há alguma evidência de que um pulso muito maior de  $\text{CH}_4$  é emitido logo após o enchimento do reservatório. Tundisi (não publicado, ver Rosa et al., 1996c, p. 144 e 150.) mediu emissões de  $\text{CH}_4$  com câmaras flutuantes de Samuel 3 meses após o alagamento e em Tucuruí 4,5 anos após o alagamento; essas medidas têm sido usadas por Rosa et al. (1996c, p. 148-149) para estimar as taxas de fluxo de metano a partir da superfície do reservatório de  $227 \text{ g C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  em Samuel e 0 em Tucuruí. A falta de emissões de  $\text{CH}_4$  na superfície da água em Tucuruí não significa que o reservatório não esteja emitindo este gás através de outros meios, especialmente a partir da água que passa através das turbinas.

### A justificativa para uma taxa de descontos

A diferença entre a importância de uma tonelada de GEE na atmosfera agora contra uma tonelada daqui a 15 anos são os impactos do aquecimento global causados por esses gases em 15 anos, tais como, inundações e secas. O magnitude do valor que a sociedade atribui a esses impactos é um fator importante na avaliação das contribuições hidrelétricas para o aquecimento global.

Rosa e Schaeffer (1994) propuseram uma alternativa ao potencial de aquecimento global do IPCC de tal forma que o trajeto temporal (*timing*) das emissões é considerado, e o impacto sobre a forçamento radiativo só é contado a partir da data de emissões. Este é um avanço em relação ao método do IPCC, que se baseia na comparação de emissão simultânea de uma molécula de  $\text{CO}_2$  e uma molécula de outro gás, como o  $\text{CH}_4$ . O método de Rosa e Schaeffer (1994) não significa, contudo, incluir qualquer ponderação por preferência temporal, presumindo uma taxa de desconto igual a zero. Ambos os recursos são necessários: a consideração do tempo do forçamento radiativo (ou seja, o momento da presença da carga atmosférica de gases, como distintos do trajeto temporal das emissões), e consideração do peso que a sociedade dá ao tempo. O método de Rosa e Schaeffer (1994) também difere do método adotado aqui em ter diferentes horizontes de tempo durante o qual as emissões são consideradas e durante o qual os efeitos radiativos das cargas atmosféricas são considerados. No método adotado aqui, os dois horizontes temporais terminam em um ponto comum no tempo (100 anos após o fechamento da barragem).

Tanto a formulação de Rosa e Schaeffer (1994) e a que é adotada aqui implicam na consideração dos diferentes gases de uma forma diferente daquela atualmente adotada pelo IPCC. A principal justificativa para a formulação de GWP do IPCC é que uma formulação mais complicada seria muito difícil para os tomadores de decisões políticas entenderem (R.T. Watson, declaração pública, 1992). No entanto, os GWPs são, de fato, uma caixa preta a partir do ponto de vista dos tomadores de decisão, que não compreendem os detalhes de como os GWPs são derivados. Sob tais circunstâncias, pode-se também usar uma formulação mais complicada que melhor reflita a importância do tempo das emissões e dos seus impactos no forçamento radiativo. A nova caixa preta seria utilizada da mesma forma pelos tomadores de decisão, e o resultado seria uma comparação mais justa de opções de energia em termos de interesses sociais.

### Efeitos da preferência temporal

A questão da aplicação de uma taxa de desconto (ou uma ponderação temporal alternativa) para as emissões de GEE e/ou seus impactos é uma questão de debate. O Global Environment Facility (GEF), que administra fundos do Banco Mundial destinados ao combate ao aquecimento global no âmbito da Agenda 21, atualmente não aplica nenhum desconto ao carbono ou aos gases de efeito estufa e seus impactos.

Existem boas razões para usar algum tipo de ponderação por preferência temporal para os impactos do aquecimento global, no lugar de um esquema de desconto igual a zero. O acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera inicia uma sequência de impactos (incluindo aumentos nas taxas de mortalidade humana), e não apenas um impacto de uma só vez. Se este fluxo de impactos começa mais tarde, em vez de mais cedo, a poupança (vidas humanas, por exemplo) entre os tempos “mais cedo” e “mais tarde” representa um ganho permanente, mesmo que os mesmos indivíduos possam morrer no ano seguinte. A lógica é diretamente análoga à prática aceita de considerar as emissões de combustíveis fósseis evitadas como poupanças permanentes, mesmo que o mesmo barril de petróleo possa ser queimado no próximo ano. Aplicando mesmo um desconto muito pequeno aumentaria enormemente o impacto do grande pulso inicial de emissões de hidrelétricas em comparação com o impacto das



emissões distribuídas uniformemente no tempo da energia gerada a partir de combustíveis fósseis.

A longa vida atmosférica de alguns gases de efeito estufa, especialmente a vida média de 125 anos de CO<sub>2</sub> (Albritton et al., 1995), significa que os impactos do aquecimento global continuarão por muito tempo depois de uma emissão ocorrer. Mesmo que as emissões sejam muito reduzidas, a carga atmosférica restante de emissões passadas continuaria a provocar secas, enchentes e outros impactos. Estas características das mudanças climáticas contribuem para a justificativa de alguma forma de desconto ou outra ponderação pela preferência temporal.

Embora não seja tratado de forma explícita, o desconto está implícita na ênfase da UNFCCC no balanço anual de emissões líquidas, o que implica que este será o critério para todas as penalidades negociadas depois como protocolos no âmbito da Convenção. Isso está implícito no acordo de todos os países para realizar inventários dos fluxos anuais de emissões (ao invés da emissão líquida comprometida, o que capturaria as diferenças de longo prazo entre a geração hidrelétrica e termelétrica). O critério de balanço anual implica um desconto, porque os países do mundo, de fato, aplicam taxas de desconto ao considerar dinheiro. Isso significa que, do ponto de vista do planejamento nacional, os custos financeiros dos impactos climáticos, os custos financeiros das medidas de mitigação e os custos financeiros de quaisquer multas ou impostos sobre as emissões seriam tratados desta forma.

Entre as implicações do critério de balanço anual (e, portanto, o desconto) é de que o atraso na negociação de protocolos para implantar multas e medidas semelhantes cria uma motivação para construir projetos hidrelétricos agora, ao invés de construí-los mais tarde. Desta forma, o grande pulso de emissões não é contado contra o balanço anual de emissões líquidas do país.

Supondo-se que uma taxa de desconto maior que zero é aplicada, o valor escolhido para a taxa teria uma grande influência sobre as escolhas energéticas indicadas como preferíveis. Da mesma forma como acontece no caso de desconto para cálculos financeiros, hidrelétricas serão indicadas como mais atraentes do que a geração térmica se taxas de desconto mais baixas são usadas. Nos cálculos financeiros, os proponentes de hidrelétricas geralmente argumentam fortemente para as taxas de desconto mais baixas do que as utilizadas para outros tipos

de investimentos. Devido aos longos prazos entre aplicações financeiras e o início de receitas da venda de energia elétrica, o desenvolvimento hidrelétrico, muitas vezes, fica pouco atraente no caso de aplicar taxas de desconto mais elevadas. Proponentes de hidrelétricas, no entanto, não defendem uma taxa de desconto zero na esfera financeira. A mesma tem de ser aplicada aos benefícios e impactos na esfera de aquecimento global.

Segundo alguns, a taxa de desconto utilizada para o carbono deve ser a mesma que é utilizada para o dinheiro (B. Solberg, declaração pública, 1994). A taxa de desconto utilizada para o carbono pode ser diferente (ou seja, inferior) daquela que é usada para dinheiro (D. Ahuja, comunicação pessoal, 1992); trabalhos anteriores sobre potenciais de aquecimento global tem usado uma taxa de desconto de 5% (Lashof & Ahuja, 1990).

As taxas de desconto na faixa de 10-12% são comuns em análises financeiras de grandes projetos de desenvolvimento na Amazônia. Alguns economistas do Banco Mundial até recomendam o uso de uma taxa de desconto de 15% para projetos na Amazônia brasileira (Skillings & Tcheyan, 1979). Estas e outras taxas de desconto representam ajustes do valor real, isto é, após a correção pela inflação. Minha preferência (Fearnside, 2002), sob um esquema alternativo de preferência temporal tem um efeito integral (área sob a curva de ponderação temporal), equivalente a uma taxa de desconto de 1,24%.

As taxas de desconto na faixa utilizada para cálculos financeiros teriam um efeito dramático sobre a atratividade de geração hidrelétrica a partir de uma perspectiva de aquecimento global (Fig. 6). A uma taxa de desconto anual de 15%, o combustível fóssil se torna mais atraente, no caso dos cálculos atuais para Tucuruí. A taxa de desconto a que esta mudança de preferência poderia ocorrer seria menor se fosse feita uma correta contabilização de muitas fontes de emissões de Tucuruí (construção, desmatamento deslocado, etc.). Também deve ser lembrado que Tucuruí é melhor do que a média das barragens.

O desconto teria um efeito significativo sobre a importância dada às emissões provenientes da fase de construção das hidrelétricas, como as emissões do concreto e aço e do transporte de materiais. Como estas emissões ocorrem antes das barragens serem fechadas, o ano da emissão é negativa e seu impacto terá que ser inflado, ao invés de descontada, para normalizá-los para o ano zero. Em comparação com

os combustíveis fósseis, o longo tempo de espera da construção de uma barragem hidrelétrica, bem como as maiores exigências para materiais, fará com que esse fator pese contra hidrelétricas.

### **Planos de expansão e desenvolvimento da bacia**

O presente cálculo considerou apenas a configuração atual [em 1997] da barragem (Tucuruí-I). Novos aumentos na produção (e em impactos) podem ocorrer no futuro caso o nível normal de operação fosse aumentado para permitir a instalação de mais turbinas. A produção de energia e os impactos podem também aumentar devido à construção de barragens adicionais a montante de Tucuruí, regulando assim a vazão do rio, a fim de fornecer mais água durante a estação de vazante. Os impactos adicionais de aumentar o nível da água e/ou os impactos da construção de barragens adicionais teriam que ser levado em conta.

A ELETRONORTE tem planos para expandir a capacidade instalada de Tucuruí para 7.960 MW no projeto Tucuruí-II [Obs.: A capacidade instalada foi aumentada para 8.370 MW em 2010.]. Dentro do conhecimento deste autor, a ELETRONORTE nunca liberou uma cifra para a área do reservatório de Tucuruí a uma cota de 74 m acima do nível médio do mar, que é o nível normal de operação no plano original para o projeto Tucuruí-II. O resultado tem sido que vários autores (incluindo este) calcularam os valores de densidade de potência para a configuração completa de Tucuruí-II usando a área ao nível normal de operação de 72 m adotado para a configuração atualmente [em 1997] instalada: Tucuruí-I, de 3.960 MW (por exemplo, Fearnside, 1989b; Goodland, 1980). A ELETRONORTE, desde então, decidiu que as pessoas que se mudaram para a área ao longo da presente margem do reservatório fariam com que elevar o nível de água até 74 m fosse politicamente impossível, e os planos atuais [em 1997] para Tucuruí-II visam manter o nível de água em 72 m (John Denys Cadman, comunicação pessoal, 1996). Não se sabe quanto a alteração iria reduzir a quantidade de energia que a configuração de Tucuruí-II poderia produzir anualmente.

Uma indicação da área adicional que seria inundada se o nível da água fosse aumentado para 74 m com Tucuruí-II é dado por um levantamento da vegetação, que considerou 415,37 km<sup>2</sup> para a área prevista a ser inundada na segunda fase (Revilla Cardenas et al., 1982). Utilizando a área medida

com LANDSAT para Tucuruí-I, podemos calcular que a área de superfície total do reservatório se o nível de água de Tucuruí-II for aumentado seria de 2.662 km<sup>2</sup>. Se as áreas utilizadas no levantamento de vegetação fossem utilizadas, a área total (floresta e leito do rio) seria de 3.047 km<sup>2</sup>.

Além de qualquer outra inundação da área de Tucuruí, o esquema de Tucuruí-II exigiria a regulação da vazão do rio Tocantins, por meio da construção da Barragem de Santa Isabel, no rio Araguaia, o primeiro afluente importante a montante de Tucuruí (Paulo Edgar Dias Almeida, comunicação pessoal, 1991). Os impactos desta deve, portanto, ser considerados na avaliação da proposta de Tucuruí-II. ELETRONORTE tem planos para construir barragens a montante de Tucuruí nos rios Tocantins e Araguaia (ver Junk & de Mello, 1987, p. 370). Os impactos e benefícios desses esquemas mais amplos teriam que ser avaliados juntamente com Tucuruí. O plano completo para o desenvolvimento da bacia do Tocantins/Araguaia visa 26 barragens a montante de Tucuruí. [Observação acrescentada em 2013: o projeto Tucuruí-II foi lançado, de surpresa, em junho de 1998, sem EIA/RIMA, e em 2002 o nível da água foi elevado para a cota de 74 m.]

### **CONCLUSÕES**

A hidrelétrica de Tucuruí produz emissões significativas de gases de efeito estufa, embora menos emissões seriam produzidas por combustíveis fósseis, quando são consideradas em um horizonte de tempo de 100 anos. A atratividade relativa da hidrelétrica em comparação com a geração termelétrica, em termos de impacto no aquecimento global, é altamente sensível à taxa de desconto ou outras formas de ponderação de preferência temporal. Este autor considera a natureza dos impactos das mudanças climáticas como sendo adequada a aplicação de algum tipo de ponderação por preferência temporal. Os impactos no aquecimento global de Tucuruí podem até ultrapassar os da geração a partir de combustíveis fósseis, se os impactos são avaliados utilizando as taxas de desconto comuns em análises financeiras (taxas que estão dentro da faixa em discussão sobre o tema, embora não sejam recomendadas por este autor). Como a razão entre benefícios energéticos e impactos no aquecimento global em Tucuruí é mais favorável do que é o caso para a média das barragens existentes na Amazônia brasileira, e também para a média das barragens planejadas, as decisões sobre

o desconto temporal dos impactos no aquecimento global serão fundamentais para as escolhas a serem feitas entre opções energéticas na região.

## ANEXO: PROFUNDIDADE E ÁREA DE TUCURUÍ

Área de Tucuruí em seu nível normal de 72 m acima do nível médio do mar é oficialmente indicada para ser 2.430 km<sup>2</sup> (ELETRONORTE s/d [1987], p. 24-25), que está perto dos 2.247 km<sup>2</sup> da área medida em 1989 usando imagens LANDSAT-TM (Fearnside, 1995), que é usada nos cálculos neste trabalho. A ELETRONORTE, o monopólio estatal do Brasil de energia para a região norte do Brasil [em 1997], construiu e opera a barragem de Tucuruí. A área do leito do rio era de 321 km<sup>2</sup>, considerando-se um comprimento de reservatório de 170 km e uma largura média de 1.891 m estimados por mim a partir de imagens em escala de 1:1.000.000 de radar aerotransportado de visão lateral (SLAR) (Projeto RADAMBRASIL, 1981). Considerando-se a área da superfície da água medida de imagens LANDSAT, menos a área do leito do rio e a área previamente desmatada (ignorando qualquer desmatamento pré-inundação que não foi feito pela ELETRONORTE), a área de floresta perdida para a inundação foi de 1.926 km<sup>2</sup>. A área de 100 km<sup>2</sup> desmatada pela ELETRONORTE na área do reservatório também resultou em emissões de gases de efeito estufa de aproximadamente 20.000 t C, que não são consideradas aqui. O enchimento do reservatório durou de 6 de setembro de 1984 a 20 de março de 1985.

A profundidade de levantamento é de 14 m (ELETRONORTE, s/d [1992], p. 5), e a profundidade média do reservatório no nível mínimo de água pode ser calculada em 9,7 m. Esta profundidade média é baseada em um nível mínimo normal de operação de 58,0 m acima do nível médio do mar (ELETRONORTE, s/d. [C. 1983]). Um nível mínimo de operação de 51,6 m (ELETRONORTE, s/d, p. 2-1; ELETRONORTE, s/d [1992]) implica em uma profundidade de rebaixamento de apenas 3,3 m. Área de floresta inundada ao nível mínimo de água é considerada como proporcional ao volume de água nestes dois níveis, a partir de ELETRONORTE (s/d [C. 1983], p. 6).

A área de floresta inundada no nível operacional é de 192.553 ha, e no nível mínimo de água é de

106.787 ha (Fearnside, 1995, Tabela 5). Da área desmatada antes da inundação, 8.000 ha, é presumida estar na zona permanentemente inundada e 2.000 ha na zona sazonalmente inundada.

## AGRADECIMENTOS

Este artigo é derivado de uma apresentação no Workshop Internacional sobre Emissões de Gases de Efeito Estufa de Reservatórios Hidrelétricos, Rio de Janeiro, 11-12 de setembro de 1996. Uma versão anterior foi apresentada na Reunião do Grupo Consultivo sobre Avaliação de Emissões de Gases de Efeito Estufa da Cadeia Energética Completa em Hidrelétricas, Energia Nuclear e outras Fontes de Energia, da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), 12-14 de março de 1996, Montreal, Quebec, Canadá. Esta é uma tradução de Fearnside (1997). Agradeço a P.M.L.A. Graça, S.V. Wilson e a dois revisores anônimos por comentários.

## LITERATURA CITADA

- Albritton, D.L., Derwent, R.G., Isaksen, I.S.A., Lal, M. & Wuebbles, D.J. 1995. Trace gas radiative forcing indices. In: *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*, J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris & K. Maskell (eds.), p. 205-231. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press: 339 p.
- Baxter, R.M. 1977. Environmental effects of dams and impoundments. *Annual Review of Ecology and Systematics* 8: 255-283.
- Buschbacher, R.J. 1984. *Changes in Productivity and Nutrient Cycling following Conversion of Amazon Rainforest to Pasture*. Tese de Ph.D. em ecologia. Athens, Georgia, E.U.A.: University of Georgia: 193 p.
- ELETRONORTE. s/d [1992]. Ambiente Desenvolvimento Tucuruí. Brasília, DF, Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE): 32 p.
- ELETRONORTE. s/d [c.1983]. Usina Hidrelétrica Tucuruí 8.000 MW. Brasília, DF: Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE): 27 p.
- ELETRONORTE. s/d [1987]. Livro Branco sobre o Meio Ambiente da Usina Hidrelétrica de Tucuruí. Brasília, DF: Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE): 288 p.
- ELETRONORTE. s/d. UHE Tucuruí: Plano de Utilização do Reservatório, Caracterização e Diagnóstico do Reservatório e de sua Área de Influência. TUC-10-263-46-RE Volume 1 - Texto. Brasília, DF: Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE): paginação irregular.



- ELETRONORTE/MONASA/ENGERIO. 1976. Estudos Amazônia, Relatório Final Volume IV: Aproveitamento Hidrelétrico do Rio Uatumã em Cachoeira Balbina, Estudos de Viabilidade. Brasília, DF: Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE)/ MONASA Consultoria e Projetos Ltda./ENGE-RIO Engenharia e Consultoria: paginação irregular.
- Fearnside, P.M. 1984. Land clearing behaviour in small farmer settlement schemes in the Brazilian Amazon and its relation to human carrying capacity. In: *Tropical Rain Forest: The Leeds Symposium*, A.C. Chadwick & S.L. Sutton (eds.), p. 255-271. Leeds, Reino Unido: Leeds Philosophical and Literary Society: 335 p.
- Fearnside, P.M. 1986. Agricultural Plans for Brazil's Grande Carajás Program: Lost Opportunity for Sustainable Development? *World Development* 14: 385-409.
- Fearnside, P.M. 1989a. The charcoal of Carajás: Pigiron smelting threatens the forests of Brazil's Eastern Amazon Region. *Ambio* 18: 141-143.
- Fearnside, P.M. 1989b. Brazil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environmental Management* 13: 401-423.
- Fearnside, P.M. 1990. Environmental destruction in the Brazilian Amazon. In: *The Future of Amazonia: Destruction or Sustainable Development?* D. Goodman & A. Hall (eds.), p. 179-225. London, Reino Unido: Macmillan: 419 p.
- Fearnside, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22: 7-19.
- Fearnside, P.M. 1996a. Amazonia and global warming: Annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. In: *Biomass Burning and Global Change. Volume 2: Biomass Burning in South America, Southeast Asia and Temperate and Boreal Ecosystems and the Oil Fires of Kuwait*. J. Levine (ed.). p. 606-617. Cambridge, Massachusetts, E.U.A.: MIT Press: 902 p.
- Fearnside, P.M. 1996b. Hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: Response to Rosa, Schaeffer & dos Santos. *Environmental Conservation* 23(2): 105-108.
- Fearnside, P.M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation* 24(1): 64-75. doi:10.1017/S0376892997000118
- Fearnside, P.M. 2002. Time preference in global warming calculations: A proposal for a unified index. *Ecological Economics* 41(1): 21-31. doi:10.1016/S0921-8009(02)00004-6
- Goodland, R.J.A. 1980. Environmental ranking of Amazonian development projects in Brazil. *Environmental Conservation* 7: 9-26.
- Grace, J., Lloyd, J., McIntyre, J., Miranda, A.C., Meir, P., Miranda, H.S., Nobre, C., Moncrieff, J., Massheder, J., Malhi, Y., Wright, I. & Gash, J. 1995. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science* 270: 778-780.
- Junk, W.J. & de Mello, J.A.N. 1987. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. In: *Homem e Natureza na Amazônia*, G. Kohlhepp & A. Schrader (eds.), p. 367-385. Tübinger Geographische Studien 95 (Tübinger Beiträge zur Geographischen Lateinamerikaforschung 3). Tübingen, Germany: Geographisches Institut, Universität Tübingen: 507 p.
- Keller, M., Kaplan, W.A. & Wofsy, S.C. 1986. Emissions of N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> from tropical forest soils. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 91: 11.791-11.802.
- Klinge, H. & Rodrigues, W.A. 1973. Biomass estimation in a central Amazonian rain forest. *Acta Científica Venezolana* 24: 225-237.
- Lashof, D.A. & Ahuja, D.R. 1990. Relative global warming potentials of greenhouse gas emissions. *Nature* 344: 529-531.
- Leentvaar, P. 1966. The Brokopondo research project, Suriname. In: *Man-Made Lakes*, R.H. Lowe-McConnell (ed.). London, Reino Unido: Academic Press: 218 p.
- Lovejoy, T.E., Rankin, J.M., Bierregaard, Jr., R.O., Brown, Jr., K.S., Emmons, L.H. & van der Voort, M.E. 1984. Ecosystem decay of Amazon forest remnants. In: *Extinctions*, M.H. Nitecki (ed.), p. 295-325. Chicago, Illinois, E.U.A.: University of Chicago Press.
- Martius, C., Fearnside, P.M., Bandeira, A.G. & Wassmann, R. 1996. Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere* 33: 517-536.
- Martius, C., Wassmann, R., Thein, U., Bandeira, A.G., Rennenberg, H., Junk, W.J. & Seiler, W. 1993. Methane emission from wood-feeding termites in Amazonia. *Chemosphere* 26(1-4): 623-632.
- Monosowski, E. 1990. Lessons from the Tucuruí experience. *Water Power and Dam Construction* Fevereiro de 1990: 29-34.
- Mougeot, L.J.A. 1990. Future hydroelectric development in Brazilian Amazonia: Towards comprehensive population resettlement. In: *The Future of Amazonia: Destruction or Sustainable Development?* D. Goodman & A. Hall (eds.), p. 90-129. London, Reino Unido: MacMillan: 419 p.
- Novo, E.L.M. & Tundisi, J.G. 1994. Contribution of remote sensing techniques to the assessment of methane emission from large tropical reservoirs. *Remote Sensing Reviews* 10: 143-153.
- Revilla Cardenas, J.D., Kahn, F.L. & Guillaumet, J.L. 1982. Estimativa da fitomassa do reservatório da UHE de Tucuruí. In: *Projeto Tucuruí, Relatório Semestral, Período janeiro/junho 1982, Vol. 2: Limnologia, Macrófitas, Fitomassa, Degradação da Fitomassa, Doenças Endêmicas, Solos*, p. 1-11. Manaus, AM: Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE) & Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA): 32 p.
- Pereira, A. 1989. Étude des données limnologiques de la retenue de Tucuruí, Amazonie-Brésil. Rapport de Stage de D.E.A. Techniques et Gestion de l'Environnement. Cayenne, Guiana Française: CERGRENE-ENPC.



- Pinto, L.F. 1982. *Carajás, O Ataque ao Coração da Amazônia*, 2ª edição. Rio de Janeiro, RJ: Editora Marca Zero: 140 p.
- Projeto RADAMBRASIL 1981. Mosaico semi-controlado de Radar. Escala de mapa: 1:250.000. Folhas SA-22-ZC, SB-22-XA, SB-22-XB & SB-22-SD. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).
- Rosa, L.P. & Schaeffer, R. 1994. Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs. *Ambio* 23: 164-165.
- Rosa, L.P. & Schaeffer, R. 1995. Global warming potentials: The case of emissions from dams. *Energy Policy* 23: 149-158.
- Rosa, L.P., Schaeffer, R. & dos Santos, M.A. 1996a. A model of greenhouse gas emissions from hydroelectric plants and an application to dams in the Amazon region of Brazil. Rio de Janeiro, RJ: Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ): 17 p.
- Rosa, L.P., Schaeffer, R. & dos Santos, M.A. 1996b. Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of 'greenhouse' gases? *Environmental Conservation* 23: 2-6.
- Rosa, L.P., Schaeffer, R. & dos Santos, M.A. 1996c. Emissões de metano e dióxido de carbono de hidrelétricas na Amazônia comparadas às termelétricas equivalentes. *Cadernos de Energia* No. 9: 109-157
- Roulet, M. 1992. Environnement des Barrages Hydroélectriques: Analyse du Projet d'Aménagement Amazonien de Petit-Saut en Guyane Française. Montreal, Canada: Rapport de Stage de la maîtrise en Sciences de l'Environnement, Université du Québec à Montreal: 113 p.
- Skillings, R.F. & Tcheyan, N.O. 1979. Economic development prospects of the Amazon Region of Brazil. Baltimore, Maryland, E.U.A.: Center of Brazilian Studies, School of Advanced International Studies, Johns Hopkins University, Occasional Paper No. 9.
- Tadei, W.P., Scarpassa, V.M. & Rodrigues, I.B. 1991. Evolução das populações de *Anopheles* e de *Mansonia*, na área de influência da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Pará). *Ciência e Cultura* 43(7) suplemento: 639-640.



# Capítulo 28



## **Emissões de Gases de Efeito Estufa por Represas Hidrelétricas: Controvérsias Fornecem um Trampolim para Repensar uma Fonte de Energia Supostamente “Limpa”**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source, *Climatic Change* 66(2-1): 1-8. Doi: 10.1023/B:CLIM.0000043174.02841.23

## RESUMO

Hidrelétricas emitem quantidades significativas de gases de efeito estufa, pela liberação dióxido de carbono oriundo da decomposição aeróbica de biomassa de floresta morta nos reservatórios que projeta fora da água, e pela liberação de metano oriundo da decomposição anaeróbica de matéria não-lignificada (plantas herbáceas das zonas de deplecionamento e macrófitas). A maior parte do metano é emitido pela água que passa pelas turbinas e pelo vertedouro. Emissões pela superfície da represa, que é o único componente do impacto atualmente incluído nas estimativas oficiais brasileiras, é uma parte relativamente pequena do impacto total.

Palavras-Chave: Hidrelétricas, Barragens, Metano, Efeito Estufa, Aquecimento Global, Emissões de gases.

## METANO

Quase todo mundo já abriu uma garrafa de Coca Cola e viu as bolhas minúsculas que imediatamente emergem do líquido. O gás (neste caso gás carbônico) é dissolvido na água, que compõe a maior parte da refrigerante. A solubilidade do gás é mais alta sob pressão na garrafa fechada do que é quando ela é aberta, o resultado do princípio químico conhecido como a Lei de Henry, que estabelece que a solubilidade de um gás em um líquido é diretamente proporcional à pressão parcial do gás. Mergulhadores estão familiarizados com o fato que um abaixamento súbito da pressão pode provocar a liberação de bolhas de nitrogênio no sangue, sendo este um risco mortal para mergulhadores que sobem muito rápido à superfície. No caso de água liberada do fundo de uma coluna de água de uma represa hidrelétrica o efeito de pressão age em conjunto com o efeito de temperatura, porque o aquecimento da água também reduz a solubilidade de gás (o Princípio de Le Chatalier). O efeito de liberação de pressão é grande e imediato, mas há uma demora curta para a ação do efeito do Princípio de Le Chatalier até chegar a um novo equilíbrio de temperatura.

A diferença de pressão entre uma garrafa de Coca Cola fechada e aberta é pequena quando comparada à pressão no fundo de um reservatório hidrelétrico. A maioria das pessoas já experimentou a pressão nos tímpanos a dois ou três metros de profundidade em uma piscina. A pressão a 34,6 m de profundidade (a profundidade na tomada d'água das turbinas em Tucuruí) é grande, aproximadamente

três atmosferas. À aproximadamente 10 m de profundidade um termoclínio impede a mistura de água e a difusão de metano ( $\text{CH}_4$ ) para a superfície. Na medida que a profundidade aumenta na coluna de água, a concentração de  $\text{CH}_4$  aumenta (Fig. 1). A concentração no reservatório de Tucuruí medida a uma profundidade de 30 m era de 6 mg/litro de água em março de 1989 (dados de José G. Tundisi publicados por Rosa *et al.*, 1997, p. 43); enquanto que a concentração à 34,6 m de profundidade é calculada em 7,5 mg/litro depois de um ajuste para o ciclo anual (baseado em medidas da represa de Petit Saut, na Guiana Francesa: Galy-Lacaux *et al.*, 1999) e a suposição conservadora de que a concentração não continua aumentando em profundidades abaixo de 30 m na coluna de água.

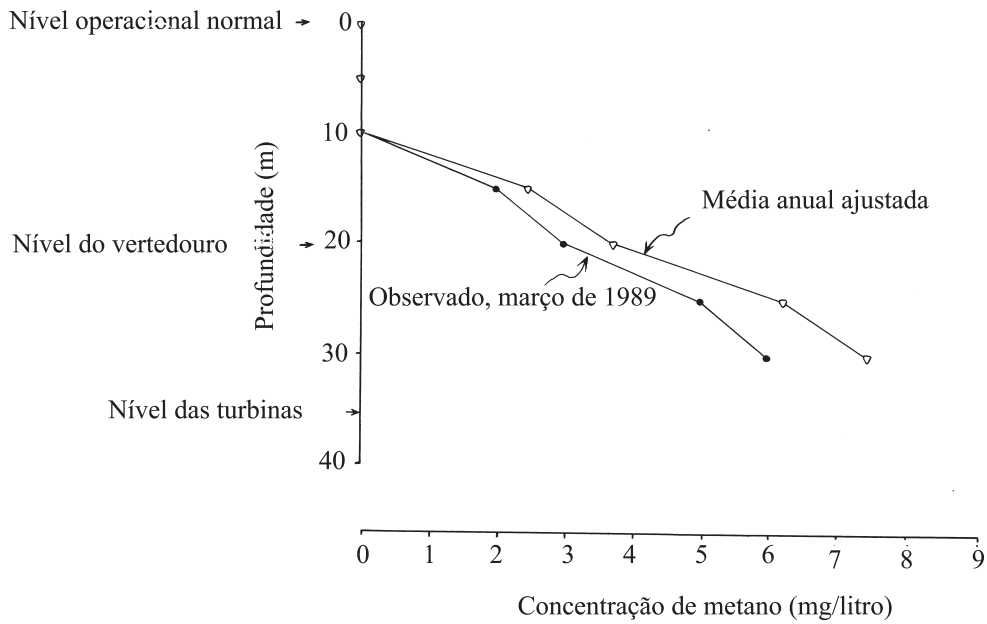
Quando a água emerge das turbinas, a pressão abaixa imediatamente até o nível de uma atmosfera, e espera-se que a maioria do gás dissolvido seja liberada imediatamente. Por exemplo, quando amostras de água são trazidas do fundo de um reservatório até a superfície em um frasco de amostragem, a água espuma como a Coca Cola quando o frasco é aberto. Gases liberados deste modo incluem o  $\text{CO}_2$  e o  $\text{CH}_4$ . Embora presente em quantidades menores, é o  $\text{CH}_4$  que faz com que o impacto de represas hidrelétricas seja uma preocupação como contribuinte ao efeito estufa.

O metano também é liberado no percurso da água pelo vertedouro, onde a liberação de gás é provocada não somente pela mudança em pressão e temperatura, mas também pela provisão súbita de uma área de superfície vasta quando a água é pulverizada em pequenas gotas. No vertedouro de Tucuruí, a água sai em um jato a partir de uma fenda horizontal estreita a uma profundidade de 20 m abaixo da superfície. Água a essa profundidade tem uma carga significativa de metano (calculada em 3,1 mg/litro, em média, ao longo do ano em água liberada pelo vertedouro: Fearnside, 2002a, p. 82). O vertedouro em forma de salto de esquí é projetado para maximizar a oxigenização no rio a jusante da barragem, mas o outro lado desta moeda é a liberação imediata do metano contido na água (Fig. 2). Sendo que  $353,6 \times 10^{12}$  litros de água, em média, passam pela barragem de Tucuruí anualmente, seja pelas turbinas ou pelos vertedouros, a quantidade de  $\text{CH}_4$  exportada por essas estruturas é tremenda. No caso da Hidrelétrica de Tucuruí em 1991, considerando as suposições relativas às porcentagens liberadas do  $\text{CH}_4$  desta água, liberou um total de  $0,7-1,2 \times 10^6$  toneladas de



gás CH<sub>4</sub>, ou 4,0-7,1 × 10<sup>6</sup> toneladas de carbono de CO<sub>2</sub> equivalente quando computado usando o potencial de aquecimento global de 21 adotado para metano pelo Protocolo de Kyoto (Fearnside, 2002a). A emissão total, inclusive emissões de superfície de

metano e emissões da biomassa acima da água de metano e de gás carbônico, é 7,0-10,1 × 10<sup>6</sup> toneladas de carbono de CO<sub>2</sub> equivalente: uma emissão equivalente ao carbono de combustíveis fósseis liberado pela cidade de São Paulo.



**Figura 1.** Perfil de metano em Tucuruí em março de 1989, e o com ajuste para um ciclo anual (Fearnside, 2002a).



**Figura 2.** Vertedouro em Tucuruí. O desenho em forma de salto de esqui oxigena a água, mas, ao mesmo tempo, libera o metano imediatamente. O vertedouro tira água de uma profundidade de 20 m, onde a concentração de metano é alta (Fearnside, 2001).

Calcula-se que os efeitos da pressão e da temperatura liberar quase todo o metano contido na água quando esta atravessa as turbinas ou os vertedouros. A pressão parcial de metano na atmosfera é muito baixa ( $1,5 \times 10^{-6}$ ). Dado a constante da Lei do Henry de  $\text{CH}_4$  de  $67,4 \text{ kPa m}^3 \text{ mol}^{-1}$  (Anônimo, 1999, p. 8-92), ou  $0,681 \text{ atm}/(\text{mol/litro})$ , o equilíbrio de  $\text{CH}_4$  à pressão de uma atmosfera e à temperatura de  $25^\circ \text{C}$  é apenas  $0,035 \text{ mg/litro}$ . Quando a água emerge das turbinas de Tucuruí com uma concentração de metano de  $7,5 \text{ mg/litro}$ ,  $99,5\%$  deste são perdidos como efeito combinado da diminuição da pressão até o nível de uma atmosfera e a elevação da temperatura até aproximadamente  $25^\circ \text{C}$ . O papel da temperatura nesse processo pode ser visualizado a partir da relação entre a temperatura e a solubilidade de  $\text{CH}_4$  (Geventman, 1999), por exemplo, um aumento na temperatura de  $15^\circ \text{C}$  para  $25^\circ \text{C}$  reduz a solubilidade de  $\text{CH}_4$  na água em  $18,3\%$ .

A escolha do método usado para calcular a liberação de metano é crítico para as conclusões alcançadas: se o método escolhido não indicar uma liberação, a conclusão apropriada pode não ser a de que não há nenhuma liberação, mas sim que simplesmente tem-se olhado no lugar errado. Por exemplo, Rosa *et al.* (2004) tratam as emissões de gases pelas turbinas e vertedouros como sendo desprezíveis, baseado em medidas de fluxos de superfície feitas desde vários centenas de metros até vários dezenas de quilômetros a jusante da barragem de Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.*, 1997). Infelizmente para o ambiente, a liberação de gás da água que emerge das turbinas deve ocorrer em alguns segundos, assim como as bolhas liberadas por uma garrafa de Coca Cola. O fato que pouco ou nenhum metano ainda esteja sendo liberado mais adiante rio abaixo é irrelevante. No caso das medidas de fluxo da superfície que esses autores citam da Guiana francesa, é ainda menos surpreendente que pouca emissão de metano foi observada porque as medidas foram feitas abaixo de uma barragem de  $4 \text{ m}$  especialmente projetada para oxigenar a água (Gosse, 1999).

A quantidade de metano liberada nas turbinas e no vertedouro é melhor calculado por meio de diferença, baseado na concentração de  $\text{CH}_4$  na água à profundidade da tomada d'água das turbinas atrás da barragem e a concentração na água no rio a jusante da barragem. Porque o novo equilíbrio é alcançado rapidamente quando a água emerge das turbinas, não há tempo para bactérias reduzirem o  $\text{CH}_4$  em  $\text{CO}_2$  antes do gás ser liberado para a atmosfera.

## DIÓXIDO DE CARBONO

Emissões de gás carbônico de reservatórios são bastante diferentes de emissões de metano em termos do impacto líquido sobre o efeito estufa. Diferente do metano, somente uma porção do gás carbônico emitido pode ser contada como um impacto líquido porque grande parte do fluxo observado do gás  $\text{CO}_2$  é cancelado através de absorções no reservatório. Metano não entra em processos fotossintéticos, embora seja reduzido lentamente a  $\text{CO}_2$  que pode ser removido através de fotossíntese. Durante os aproximadamente 10 anos, em média, que cada molécula de metano permanece na atmosfera, o efeito estufa que isto causa deve ser considerado um impacto líquido da represa. A emissão natural de metano em uma extensão de rio sem barragens é pequena, comparada à emissão de um reservatório (as represas normalmente são construídas em locais de corredeiras, em vez de áreas pantanosas onde o metano seria produzido em áreas inundadas naturais). Os reservatórios se tornam verdadeiras fábricas de metano, com o sobe e desce do nível de água no reservatório, alternadamente inundando e submergindo áreas grandes de terra ao redor da margem. Uma vegetação verde e macia cresce depressa na lama exposta, e decompõe sob condições anaeróbicas no fundo do reservatório quando a água sobe novamente. Isto converte gás carbônico atmosférico em metano, com um impacto muito mais alto sobre o efeito estufa do que o  $\text{CO}_2$  que foi retirado da atmosfera quando as plantas cresceram (21 vezes mais por tonelada de gás, ou 7,6 vezes mais por tonelada de carbono).

O  $\text{CO}_2$  que é liberado da superfície da água no reservatório, assim como o  $\text{CO}_2$  que é liberado nas turbinas e nos vertedouros, não pode ser considerado uma emissão líquida. O carbono contido neste  $\text{CO}_2$  terá entrado na água a partir de fontes como fotossíntese no reservatório (fitoplâncton, macrófitas), de material orgânico e solo erodido levados na água da terra na bacia hidrográfica, e de carbono orgânico dissolvido que entra no rio a partir do lençol freático (por exemplo, carbono de exudatos de raízes e da decomposição de liteira). O carbono de  $\text{CO}_2$  derivado de fotossíntese dentro do reservatório é apenas reciclado da atmosfera, e o efeito estaria cancelado se fossem disponíveis medidas dos fluxos entrando na água assim como também os fluxos saindo dela. Pode ser considerado que o carbono proveniente da terra firme esteja sujeito à decomposição aeróbia e a emissão em forma de  $\text{CO}_2$  no caso de referência sem

uma represa, e assim não pode ser considerado como um impacto da represa.

Carbono no reservatório que não é oxidado pode ser depositado em sumidouros como os sedimentos do fundo do reservatório ou a jusante na várzea ou no delta, ou em sedimentos oceânicos, ou pode permanecer como carbono orgânico dissolvido durante um período longo. A remoção de carbono por deposição no reservatório não pode ser contada como um benefício da represa porque o carbono que é depositado nos sedimentos do reservatório provavelmente teria sido depositado em um dos outros sumidouros na ausência da barragem.

Há uma fonte de gás carbônico que deve ser contada como um impacto líquido da construção da barragem. Esta é o CO<sub>2</sub> liberado por decomposição acima da água das partes das árvores inundadas que projetam-se para fora da água. A quantidade de carbono envolvida é significativa durante a primeira década depois de enchimento do reservatório. Uma estimativa de emissões desta fonte durante o ano de 1990 (*i.e.*, o ano de referência para inventários nacionais de gás de efeito estufa sob a convenção de clima) indicou um total de 10 milhões de toneladas de carbono para as represas existentes na Amazônia brasileira: 2,55 em Tucuruí, 6,43 em Balbina, 1,13 em Samuel e 0,01 em Curuá-Una (Fearnside, 1995, p. 16).

## COMPARAÇÃO DE HIDRELÉTRICAS COM OUTRAS FÔNTES DE ENERGIA

Emissões de várias fontes estão concentradas no início da vida de uma hidrelétrica, de forma que o impacto de efeito estufa provocado pela geração de energia hidrelétrica tenha um perfil temporal significativamente diferente das emissões produzidas pela produção da mesma quantidade de energia a partir de combustíveis fósseis. Emissões da construção de uma barragem, tais como as emissões da fabricação do cimento e do aço, ocorrem até mesmo vários anos antes de começar qualquer geração de energia. A liberação de CO<sub>2</sub> pela decomposição acima da água de árvores mortas e o CH<sub>4</sub> da decomposição das partes macias (folhas) da vegetação inicial e das macrófitas são mais altas durante os primeiros anos depois do enchimento de um reservatório. Qualquer ponderação das emissões por tempo favoreceria alternativas de combustíveis fósseis, em comparação com a geração hidrelétrica (Fearnside, 1997, 2002b).

Rosa *et al.* (2004) retratam o debate sobre emissões de gases de represas hidrelétricas como sendo de dois lados, composto de um lado do lobby hidrelétrico que alega que as represas não emitem nenhum gás de efeito estufa e do outro lado daqueles que são insinuados a estarem sujeito às “tentativas dos lobbies de energia termelétrica e nuclear”. Eu sugeriria que aqueles que mostraram que as represas hidrelétricas têm emissões significativas não são comprados por qualquer lobby.

Embora não seja uma simples luta entre lobbies como sugerido por Rosa *et al.* (2004), o contexto político deste debate é notável. Uma visão influente no governo brasileiro é a expressada por José Domingos González Miguez, chefe do setor de clima do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), em um workshop sobre as emissões de gás de efeito estufa de reservatórios realizado no Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, do MCT, em Brasília em fevereiro de 2002 (um ano antes de Luis Pinguelli Rosa ser designado ao seu posto atual como presidente de ELETROBRÁS). Na transcrição do seminário, que é mantido em um website público administrado pelo setor de clima do MCT, Miguez revela:

“Nós [o setor de clima do MCT] conversamos com o Prof. Pinguelli [Rosa] e eu pedi ajuda da ELETROBRÁS [sobre o assunto de emissões de gás de efeito estufa de hidrelétricas]; aliás quem coordenou esse trabalho [*i.e.*, o trabalho apresentado em Rosa *et al.*, 2004] foi a ELETROBRÁS exatamente por causa disso, porque esse assunto estava virando político. Ele tem um impacto muito grande no nível mundial, nós vamos sofrer pressão dos países desenvolvidos por causa desse assunto. E esse assunto era pouco conhecido. É maltratado. Ele é maltratado e continua sendo maltratado pelo próprio Philip Fearnside e nós temos que tomar muito cuidado. Esse debate que está acontecendo agora na imprensa mostra claramente isso, quer dizer, você pega qualquer declaração e leva para um lado para mostrar que o Brasil não é limpo, que o Brasil está se omitindo muito, que o Brasil, implicitamente, no futuro tem que ter compromisso [para reduzir as emissões]. Esse que é o grande debate político e nós estamos nos preparando para isso.” (Brasil, MCT, 2002).

Desnecessário dizer que a ideia que pesquisa nesta área deve ser cuidadosamente “coordenada” para assegurar que somente conclusões politicamente convenientes sejam alcançadas não é o único ponto de vista. Mesmo sendo pouco popular, eu defendo a posição que devem ser quantificadas todas

as fontes e sumidouros, e que estes devem ser levados em conta na formulação de políticas, neste caso incluindo o metano emitido das turbinas e dos vertedouros, e o gás carbônico da decomposição acima da água das árvores deixadas em pé nos reservatórios amazônicos. Em 1990 em Tucuruí, por exemplo, essas fontes (não contadas no estudo coordenado pela ELETROBRÁS) respondiam por, pelo menos, 93% da emissão total (Fearnside, 2002a).

ELETROBRÁS é o órgão do governo para planejar e promover o desenvolvimento energético em todo o Brasil, e tem grandes planos para construção de barragens hidrelétricas na Amazônia. A única ocasião em que a extensão completa destes planos foi revelada ao público foi no Plano 2010, que vazou ao público e subsequentemente foi liberado oficialmente em dezembro de 1987. Todas as 79 barragens listadas para a Amazônia, independente das datas previstas de construção, totalizavam 10 milhões de hectares de área de água (Brasil, ELETROBRÁS, 1987, p. 150). Esta é aproximadamente uma área do tamanho do estado de Pernambuco, e representa 2% da Amazônia Legal, ou 3% da porção da região com floresta tropical. Após as críticas que surgiram sobre este plano, e especialmente depois de uma confrontação com povos indígenas em 1989 sobre planos para seis barragens na bacia do rio Xingu (a primeira, hoje chamada de Belo Monte, é atualmente a prioridade da ELETROBRÁS para construção), o órgão tem revelado apenas planos com listas curtas de barragens para construção, referentes a horizontes de tempo de, no máximo, 10 anos, não discutindo o plano global. As escalas de tempo para construção de barragens específicas do Plano 2010 estiraram repetidamente, como resultado das limitações financeiras da economia do País e do orçamento do governo, mas a meta global permanece inalterada. Estas represas implicam em muitos impactos sociais e ambientais, dos quais o impacto sobre as emissões de gás de efeito estufa é apenas um (Fearnside, 1999, 2001).

Controvérsias fornecem um trampolim para repensar os impactos de barragens hidrelétricas, tanto em termos das quantidades emitidas de gases e a da estrutura teórica mais apropriada para comparar os seus impactos: as escolhas de quais emissões devem ser contadas ou não, e as decisões feitas, mesmo se por omissão, sobre como são tratadas as emissões quando elas acontecem em tempos diferentes e são de gases com tempos de vida diferentes na atmosfera. Deve ser reavaliado o papel das barragens hidrelétricas nas mudanças climáticas e da

contabilidade apropriada dos custos ambientais das barragens. Esta contabilidade de custos ambientais é necessária para subsidiar a avaliação do papel apropriado da construção de novas barragens como parte do desenvolvimento na Amazônia e em todas as partes do Mundo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Proc. 470765/01-1) para apoio financeiro e a B. Forsberg e N. Hamada por comentários. Uma versão anterior, em inglês, foi publicada na revista *Climatic Change*, de Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda (Fearnside, 2004).

## LITERATURA CITADA

- Anônimo. 1999. Aqueous solubility and Henry's Law constants of organic compounds. . p. 8-91 – 8-102 In: D. R. Lide (ed.), *CRC Handbook of Chemistry and Physics, 1999-2000 80<sup>th</sup> edition*. CRC Press, Boca Raton, Florida, E.U.A.
- Brasil, ELETROBRÁS. 1987. *Plano 2010: Relatório Geral. Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010 Dezembro de 1987*, Centrais Elétricas do Brasil (ELETROBRÁS), Brasília, DF. 269 p.
- Brasil, MCT. 2002. Degravação do workshop: Utilização de Sistemas Automáticos de Monitoramento e Medição de Emissões de Gases de Efeito Estufa da Qualidade da Água em Reservatórios de Hidrelétricas, Centro de Gestão de Estudos Estratégicos do MCT, Brasília – DF, 06 de fevereiro de 2002. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF. [postado de 2002 a 2007 em: <http://www.mct.gov.br/clima/brasil/doc/workad.doc>] Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/Other%20side-outro%20lado/Hydroelectric%20emissions/Degravacao%20de%20workshop-workad.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Other%20side-outro%20lado/Hydroelectric%20emissions/Degravacao%20de%20workshop-workad.pdf)
- Fearnside, P. M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22: 7-19.
- Fearnside, P. M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives, *Environmental Conservation* 24: 64-75.
- Fearnside, P. M. 1999. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management* 24: 485-495.
- Fearnside, P. M. 2001. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Management* 27: 377-396.
- Fearnside, P. M. 2002a. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 133: 69-96.



- Fearnside, P. M. 2002b. Time preference in global warming calculations: A proposal for a unified index. *Ecological Economics* 41: 21-31.
- Fearnside, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source. *Climatic Change*.
- Galy-Lacaux, C., R. Delmas, C. Jambert, J.-F. Dumestre, L. Labroue, S. Richard & P. Gosse. 1997. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: A case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles* 11: 471-483.
- Galy-Lacaux, C., R. Delmas, J. Kouadio, S. Richard & P. Gosse. 1999. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles* 13: 503-517.
- Geventman, L. H. 1999. Solubility of selected gases in water. . p. 8-86 – 8-90 In: , D.R. Lide. (ed.), *CRC Handbook of Chemistry and Physics, 1999-2000 80<sup>th</sup> edition*, CRC Press, Boca Raton, Florida, E.U.A.
- Gosse, P. 1999. A system for reoxygenating the water at Petit-Saut, <http://www.edf.fr/der/html/der/environnement/ptiso.en.htm>.
- Rosa, L. P., M. A. dos Santos, J. G. Tundisi & B. M. Sikar. 1997. Measurements of greenhouse gas emissions in Samuel, Tucuruí and Balbina Dams. p. 41-55 In: L. P. Rosa & M. A. dos Santos (eds.), *Hydropower Plants and Greenhouse Gas Emissions*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ.
- Rosa, L. P., dos Santos, M. A., Matvienko, B., dos Santos, E. O. & Sikar, E.: 2004, 'Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions', *Climatic Change* 66(1-2), 9-21.



# Capítulo 29



## **Emissões provenientes de usinas hidrelétricas: Resposta a Rosa *et al.***

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2006. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Reply to Rosa et al. *Climatic Change* 75(1-2): 103-109. doi: 10.1007/s10584-005-9016-z

Desde a minha primeira estimativa indicando altas emissões de gases de efeito estufa de represas amazônicas (Fearnside, 1995), Luis Pinguelli Rosa e colegas têm efetivamente feito uma carreira tentando provar que estou errado. No entanto, quanto mais tempo este debate continua e quanto mais informações estiverem disponíveis, cada vez maiores são os impactos que vem sendo descobertos. O último ataque (Rosa et al., 2006) serve para ilustrar uma série de equívocos em relação à ciência e traz alguma noção do contexto político que envolve o assunto no Brasil.

Em primeiro lugar, várias reivindicações na carta de Rosa et al. (2006) são tecnicamente incorretas e induzem ao erro os leitores não familiarizados com os detalhes das rodadas anteriores deste debate. Rosa et al. (2006) afirmam que presumi que a concentração de  $\text{CH}_4$  fosse “uniforme no reservatório e constante durante muitos anos”. Nenhuma dessas suposições foi feita. O cálculo em questão (por Tucuruí) apenas se aplica esta concentração para a profundidade da turbina, não como uma concentração que é uniforme ao longo de todo o reservatório. Na verdade, é conservadora, já que o valor é baseado numa medição a 30 m de profundidade, e é presumido ser a mesma para a profundidade de 34,6 m onde ficam as tomadas d’água das turbinas, embora as concentrações de metano sejam bem conhecidas em aumentar de forma constante com a profundidade em qualquer lugar abaixo da termoclina. Também a concentração não é presumida como sendo constante durante muitos anos, nem é indevidamente “estendida por extrapolação”. A “extrapolação” referida é só por um ano, a partir de 1989 (o ano da medição de Tundisi) para 1990 [não 1991]. O ano de 1990 foi utilizado para a estimativa, porque este é o ano padrão para os inventários nacionais de gases de efeito estufa iniciais no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. As proporções de água que passaram pelos vertedouros e pelas turbinas são de 1991, o ano mais próximo de 1990 para qual os dados estavam disponíveis.

O gráfico (Rosa et al., 2006, Fig. 1), reproduzido a partir de Galy-Lacaux et al. (1999), mostra o ciclo anual de variação da concentração de metano no reservatório de Petit Saut, na Guiana Francesa, juntamente com o declínio geral esperado ao longo do tempo com o avanço da idade do reservatório. A medição de Tucuruí em março de 1989 (estação chuvosa na idade de quatro anos) corresponde à quarta oscilação para baixo no gráfico, que apresenta

uma curva em forma de “dente de serra”. A diminuição do quarto ano para o quinto ano é de aproximadamente 0,5 mg/litro (cerca de 12,5%), longe de ser o suficiente para explicar o suposto exagero de dezenove vezes em emissões de metano.

O valor na idade de quatro anos no gráfico de Galy-Lacaux et al. (1999) é aproximadamente 50% menor do que o número correspondente medido em Tucuruí (4 contra 6 mg/litro). No entanto, há uma boa razão para isso: o gráfico de Galy-Lacaux et al. (1999), é para concentrações médias de metano na coluna de água como um todo, ao passo que a concentração mencionada no meu trabalho refere-se à concentração necessariamente superior à profundidade das entradas das turbinas. Desde a sua publicação em 1999, o grupo de pesquisa de Petit-Saut mudou para o método de cálculo das emissões das turbinas adotado por mim, passando a usar a concentração na profundidade das turbinas, ao invés de usar a média para a coluna de água inteira (Delmas et al., 2004; Richard et al., 2004).

O constante da Lei de Henry mencionado no meu comentário editorial vem de uma referência química padrão (Geventman, 1999). Conversões de unidade seguem Plambeck (1995) e não se acredita que estejam erradas. A conclusão de Rosa et al. (2006) sobre o alegado erro na constante da Lei de Henry é notável, já que o suposto erro está na direção errada para a inferência de que eles tiram. Se a concentração de equilíbrio de metano em água a uma pressão de uma atmosfera (ou seja, no canal de fuga) foi *menor* do que o valor calculado, então deve-se concluir que *mais* (não menos)  $\text{CH}_4$  é liberado quando a água, que está supersaturada com metano, emerge das turbinas. Mesmo que o valor da constante da Lei de Henry fosse o valor sugerido por Rosa et al. (2006), as estimativas da emissão de  $\text{CH}_4$  apresentadas no meu comentário editorial permaneceriam as mesmas. Tanto a discussão da Lei de Henry e de refrigerantes no meu comentário editorial eram ilustrações dos princípios envolvidos na liberação de metano. O cálculo real do montante liberado, no entanto, foi baseado em medições publicadas de concentrações de  $\text{CH}_4$  acima e abaixo de barragens reais. Em vez de um cálculo teórico de mudanças de temperatura e pressão, a conclusão final, que Rosa et al. (2006) acham “absurda”, é baseada em uma linha mais direta de provas.

Rosa et al. (2006) sugerem que o argumento para uma rápida liberação de metano quando a água



emerge das turbinas de uma usina hidrelétrica é de alguma forma invalidado pela diferença entre os “alguns segundos” mencionados no meu trabalho como o tempo necessário para a liberação de bolhas de gás a partir de uma garrafa de Coca-Cola e a “meia hora” que se refere às últimas bolhas a surgir de uma garrafa, consumida de forma folgada, do refrigerante politicamente correto do Brasil – o guaraná. Infelizmente, se a liberação ocorre em questão de 30 segundos ou de 30 minutos não faz muita diferença para esta importante conclusão. Em ambos os casos, o metano das turbinas é liberado para a atmosfera antes de haver tempo para as bactérias no rio degradarem o  $\text{CH}_4$  em  $\text{CO}_2$ , enquanto o metano ainda permanece dissolvido na água.

Rosa et al. (2004) afirmam que “não há indicação de quaisquer emissões súbitas de metano para a atmosfera” no canal de fuga, porque, se houvesse uma liberação repentina, a concentração de metano seria “quase nula” na água do canal de fuga. Uma queda até uma concentração de zero não é necessário para que haja uma liberação muito significativa no canal de fuga. Os presumidos 55,5% para o ponto médio da liberação (logo a jusante) de água turbinada, com base em Petit Saut, é suficiente para ter um impacto substancial na atmosfera. A explicação da baixa concentração na água a jusante da barragem seria a liberação de grandes quantidades de metano quando a pressão é subitamente reduzida na passagem da água através das turbinas, conforme a queda na concentração de metano medida em Petit Saut (Galy-Lacaux et al., 1997, 1999). Uma forte confirmação desta conclusão, sem o fator complicador do dispositivo de aeração que existe a jusante de Petit-Saut, é fornecido pelo resultado da hidrelétrica de Balbina, no Estado do Amazonas. Em Balbina, medições mensais ao longo de um período de seis meses indicam que a liberação média de metano exportado imediatamente nas turbinas (através de ebulição nos primeiros 50 m do rio abaixo da barragem) é de 42,4%, e que 13,6% do metano restante é emitido no rio a jusante da barragem (A. Kemenes, comunicação pessoal, 2005). Do total de metano exportado pelas turbinas, a emissão, portanto, conforme essas médias é de 65,5% - um valor maior do que o ponto médio de 55,5% da faixa usada no meu cálculo para Tucuruí (Fearnside, 2002a). A maior vazão passando pelas turbinas (e a turbulência resultante) em Tucuruí, significa que a porcentagem emitida no canal de fuga seria maior em Tucuruí, em comparação com Balbina, fazendo o cálculo que publiquei

para emissões das turbinas de Tucuruí ainda mais conservador. No caso do metano na água do vertedouro de Tucuruí, este é considerado para ser completamente liberado porque a água é pulverizada em pequenas gotas à medida que cai 58 m para uma bacia de dissipação de concreto reforçado, incluindo um dispositivo “salto de esqui” que lança água para o alto (veja Fearnside, 2004a).

Rosa et al. (2006), aparentemente, têm uma leitura errada a descrição da porção de  $\text{CO}_2$  do meu cálculo. Eles afirmam que eu adicionei as “emissões de  $\text{CO}_2$ , não só do canal de fuga hidrelétrica, mas também da superfície da água». Nenhuma dessas fontes de  $\text{CO}_2$  foi incluída no meu cálculo, e o único  $\text{CO}_2$  incluído no cálculo é da decomposição acima d'água das árvores mortas. A liberação de  $\text{CO}_2$  dissolvido, seja na superfície do reservatório ou no canal de fuga, não é precisamente considerada porque uma porção desta emissão é de carbono que tenha sido fixado por fotossíntese no próprio reservatório (por exemplo, por algas e macrófitas e pela vegetação na zona de deplecionamento) e não é, portanto, uma contribuição líquida ao aquecimento global.

Rosa et al. (2006) têm confundido os números no meu cálculo de emissão do vertedouro, sugerindo que a concentração de metano a esta profundidade deve ser 3 mg/litro em vez de 7,5 mg/litro. A concentração de metano usada não era nenhum destes valores. Em vez disso, tinha uma média de 4 mg/litro (ver Figura 1 em Fearnside, 2004a). O valor de 7,5 mg/litro refere-se à concentração na profundidade das turbinas, em vez de se referir à profundidade de mais rasa dos vertedouros.

A digressão sobre potenciais de aquecimento global (GWPs) e índices alternativos de equivalência entre gases de efeito estufa explica parcialmente como Rosa et al. (2006) conseguiram calcular um impacto tão baixo para as emissões de hidrelétricas. Vários “chapéus estão no ringue” de alternativas para substituir o GWP, que é o conversor atualmente usado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e pela Convenção do Clima. Propostas incluem tanto a minha própria alternativa (Fearnside, 1997, 2002b) e a de Rosa e Schaeffer (1995). Rosa et al. (2006) utilizaram a alternativa de Rosa e Schaeffer (1995) para calcular o valor para o impacto de Tucuruí. Conforme eles afirmam, o impacto de metano neste cálculo é equivalente ao de um GWP de apenas 7 (uma tonelada de  $\text{CH}_4$  tendo o impacto de sete toneladas de

CO<sub>2</sub>). Em comparação com o impacto indicado por valores internacionalmente aceitos para o GWP do metano, o impacto calculado usando um GWP de 7 é apenas um terço ou menos. No meu caso, ao invés de usar a minha própria alternativa, usei o GWP de 21 para o metano a partir Segundo Relatório de Avaliação do IPCC, que foi adotado pelo Protocolo de Quioto para o primeiro período de compromisso. Se eu tivesse um viés para exagerar o impacto de hidrelétricas, como Rosa et al. (2006) implicam fortemente, teria usado em vez disso o valor para o GWP de 23 para o metano a partir do Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC, dando um impacto de 9,5% superior, enquanto ainda usando um valor aceito internacionalmente para este parâmetro chave. [Observação acrescentada em 2014: o valor do GWP de metano aumentou em muito desde o 3º Relatório: para 25 no 4º Relatório, e 28 sob as mesmas condições (sem retroalimentações e integração de 100 anos) no 5º Relatório. Este último relatório, liberado em setembro de 2013, também calcula valores mais altos ainda: 34 para 100 anos com retroalimentações, e 86 para uma integração de 20 anos, que é mais relevante ao objetivo de evitar um aquecimento “perigoso” de 2°C].

Rosa et al. (2006) não fornecem qualquer informação sobre a sua estimativa, que produziu um valor para Tucuruí 19 vezes menor do que o meu. Esta informação seria necessário para identificar onde o restante da diferença está, para além da diferença de três vezes explicada pela sua escolha de GWP. No entanto, supondo que eles estão se referindo ao mesmo trabalho apresentado em seu comentário editorial (Rosa et al., 2004), a principal diferença está em simplesmente ignorar todas as emissões das turbinas e vertedouros, bem como a decomposição acima d'água das árvores em pé deixadas no reservatório. A fim de comparar maçãs com maçãs, eles também devem comparar as emissões no mesmo ano (neste caso, 1990).

Eu sou acusado do pecado de não ter mencionado a proposta do grupo de pesquisa do Pinguelli Rosa para medir as concentrações de metano no canal de fuga abaixo de Tucuruí. Infelizmente, ter uma proposta não é a mesma coisa que ter completado as medições e publicado os resultados. O grupo de pesquisa pode ter certeza que os seus resultados não serão “ignorados”, assim que passam a existir. A implicação de que estes resultados mostram que uma barragem de cinco anos de idade (Tucuruí em 1990) emite pouco metano não tem base que possa ver.

Medições no canal de fuga em Petit Saut (Delmas et al., 2004; Richard et al., 2004) sugerem o contrário.

Rosa et al. (2006) dedicam um parágrafo à necessidade de dedução de emissões pré-barragens, a fim de chegar a um resultado líquido do impacto de uma barragem. A implicação é que eu tenha exagerado as emissões líquidas de Tucuruí, omitindo tal dedução. Ao contrário, os meus cálculos para Tucuruí incluem uma dedução exatamente deste tipo (ver Fearnside, 2002a). A afirmação de Rosa et al. (2006) de que as emissões pré-barragem têm «enormes emissões potenciais de gases de efeito estufa», no caso da hidrelétrica de Belo Monte não está de acordo com os meus cálculos para essa barragem (Fearnside, 2005).

Quanto à acusação de que “Fearnside leva vantagem de ter o inglês como língua mãe e de sua origem americana, para publicar muito no exterior ...”, eu gostaria de salientar que eu também tenho publicado extensivamente em português ao longo dos meus 29 anos no Brasil, incluindo a explicação das emissões hidrelétricas (e.g., Fearnside, 2004b). Além de publicações em língua inglesa, os leitores podem encontrar publicações em língua portuguesa e traduções inéditas em <http://philip.inpa.gov.br>.

No que diz respeito às “insinuações políticas sobre uma declaração de José Miguez”, não foram necessárias quaisquer “insinuações”, já que a declaração em questão era explícita e inequívoca, e os leitores podem tirar as suas próprias conclusões a partir da própria citação. Significativamente, Rosa et al. (2006) não oferecem nenhuma interpretação alternativa sobre o que poderia ter significada a declaração do Sr. Miguez. A afirmação é verdadeiramente extraordinária proveniente da pessoa responsável por supervisionar o inventário nacional do Brasil das emissões de gases de efeito estufa, explicando que estimativas indicando altas emissões de usinas hidrelétricas representam um perigo político para o Brasil nas negociações internacionais, e que o assunto foi, portanto, confiado a ELETROBRÁS [ou seja, a Luis Pinguelli Rosa]. Suas palavras foram:

*“Nós [o setor de clima do MCT] conversamos com o Prof. Pinguelli [Rosa] e eu pedi ajuda da ELETROBRÁS [sobre o assunto de emissões de gás de efeito estufa de hidrelétricas]; aliás quem coordenou esse trabalho [i.e., as estimativas das emissões por hidrelétricas, apresentadas no Inventário Nacional] foi a ELETROBRÁS exatamente por causa disso, porque esse assunto estava virando político. Ele tem um impacto muito grande no nível mundial, nós vamos*

sofrer pressão dos países desenvolvidos por causa desse assunto. E esse assunto era pouco conhecido. É maltratado. Ele é maltratado e continua sendo maltratado pelo próprio Philip Fearnside e nós temos que tomar muito cuidado. Esse debate que está acontecendo agora na imprensa mostra claramente isso, quer dizer, você pega qualquer declaração e leva para um lado para mostrar que o Brasil não é limpo, que o Brasil está se omitindo muito, que o Brasil, implicitamente, no futuro tem que ter compromisso [para reduzir as emissões]. Esse que é o grande debate político e nós estamos nos preparando para isso.” (Brasil, MCT, 2002).

A implicação de que mencionar a afirmação é de alguma forma antiética é estranho, uma vez que Miguez, como chefe do setor de clima do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), não só fez a declaração, mas também convocou a reunião em questão, fez gravar as falas, teve a gravação transcrita, e postou a transcrição em um site público para o qual ele mesmo era o responsável.

Não se pode deixar de ficar impressionado com a longa defesa estimulada pela simples menção do fato de que Luis Pinguelli Rosa era o presidente da ELETROBRÁS. Como deixei claro (Fearnside, 2004a), em 2002, no momento da declaração do J.D. Miguez que menciona Pinguelli Rosa pelo nome em associação com a ELETROBRÁS, ele ainda não era o presidente desse órgão. A minha menção da posição de Pinguelli Rosa como chefe da agência foi feita sem nenhum comentário adicional, nem mesmo apontando que ele ocupava esse cargo no momento em que ele escreveu seu comentário editorial (ou seja, sem “insinuação” sobre um possível conflito de interesse). Pinguelli Rosa afirma que a menção da ELETROBRÁS é, de algum modo, uma violação de ética. No entanto, se há uma questão ética aqui, com certeza é que Pinguelli Rosa publicou seu comentário editorial identificando-se como um mero professor de física na Universidade Federal do Rio de Janeiro, sem mencionar que ele também ocupava o cargo que corresponde à pessoa número um no governo brasileiro responsável pela promoção de hidrelétricas. Eu acredito que esta é uma informação relevante no caso de um artigo que afirma, em essência, que as hidrelétricas não são tão ruins assim.

## AGRADECIMENTOS

R.I. Barbosa, B.R. Forsberg, PMLA Graça e A. Kemenes fizeram comentários valiosos. Agradeço

A. Kemenes permissão para citar suas medidas na saída das turbinas em Balbina. O apoio financeiro foi fornecido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Proc. 477430/2003-1, Proc. 306031/2004-3 e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) PPI 1-1005.

## REFERÊNCIAS

- Brasil, MCT. 2002. Degravação do workshop: Utilização de Sistemas Automáticos de Monitoramento e Medição de Emissões de Gases de Efeito Estufa da Qualidade da Água em Reservatórios de Hidrelétricas. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos do MCT, Brasília – DF, 06 de fevereiro de 2002. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF. [postado de 2002 a 2007 em: <http://www.mct.gov.br/clima/brasil/doc/workad.doc>] Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/Other%20side-outro%20lado/Hydroelectric%20emissions/Degravacao%20de%20workshop-workad.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Other%20side-outro%20lado/Hydroelectric%20emissions/Degravacao%20de%20workshop-workad.pdf)
- Delmas, R., Richard, S., Guérin, F., Abril, G., Galy-Lacaux, C., Delon C. & Grégoire, A. 2004. Long term greenhouse gas emissions from the hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) and potential impacts. In: Tremblay, A., Varfalvy, L., Roehm, C. & Garneau, M. (eds.), *Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes. Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*, Environmental Science Series, Springer-Verlag, New York, E.U.A. p. 293-312.
- Fearnside, P. M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of ‘greenhouse’ gases. *Environmental Conservation* 22(1): 7-19.
- Fearnside, P. M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil’s Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation* 24(1): 64-75.
- Fearnside, P. M. 2002a. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil’s Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 133(1-4): 69-96.
- Fearnside, P. M. 2002b. Time preference in global warming calculations: A proposal for a unified index. *Ecological Economics* 41(1): 21-31.
- Fearnside, P. M.: 2004a, ‘Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source’, *Climatic Change* 66(1-2), 1-8.
- Fearnside, P. M. 2004b. Gases de efeito estufa em hidrelétricas da Amazônia. *Ciência Hoje* 36(211), 41-44.
- Fearnside, P.M. 2005. Hidrelétricas Planejadas no Rio Xingu como Fontes de Gases do Efeito Estufa: Belo Monte (Kararaó) e Altamira (Babaquara).pp. 204-241 In: Sevã Filho, A.O. (ed.) *Tenotã-mô: Alertas sobre as conseqüências dos*

- projetos hidrelétricos no rio Xingu, Pará, Brasil*, International Rivers Network, São Paulo, SP. 344 p.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Jambert, C., Dumestre, J.-F., Labroue, L., Richard, S. & Gosse, P. 1997. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: A case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles* **11**(4): 471-483.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Kouadio, J., Richard, S. & Gosse, P. 1999. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles* **13**(2), 503-517.
- Geventman, L. H. 1999. Solubility of selected gases in water. In: Lide, D. R. (ed.), *CRC Handbook of Chemistry and Physics, 1999-2000 80<sup>th</sup> edition*, CRC Press, Boca Raton, Florida, E.U.A. p. 8-86 – 8-90.
- Plambeck, J. A. 1995. Henry's Law and the solubility of gases. <http://www.psigate.ac.uk/newsite/reference/plambeck/chem2/p01182.htm>.
- Richard, S., Gosse, P., Grégoire, A., Delmas, R. & Galy-Lacaux, C. 2004. Impact of methane oxidation in tropical reservoirs on greenhouse gases fluxes and water quality. In: Tremblay, A., Varfalvy, L., Roehm, C. & Garneau, M. (eds.), *Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes. Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*, Environmental Science Series, Springer-Verlag, New York, E.U.A. p. 529-560.
- Rosa, L. P. & Schaeffer, R. 1995. Global warming potentials: The case of emissions from dams. *Energy Policy* **23** (2): 149-158.
- Rosa, L. P., dos Santos, M. A., Matvienko, B., dos Santos, E. O. & Sikar, E. 2004. 'Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions', *Climatic Change* **66**(1-2): 9-21.
- Rosa, L. P., dos Santos, M. A., Matvienko, B., Sikar, E. & dos Santos, E. O. 2006. Scientific errors in the Fearnside comments on greenhouse gas emissions (GHG) from hydroelectric dams and response to his political claiming', *Climatic Change* **75**(1-2): 91-102. doi: 10.1007/s10584-005-9046-6



# Capítulo 30

---

## **As Usinas Hidrelétricas Mitigam o Efeito Estufa? O Caso da Barragem de Curuá-Una**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2005. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam.  
*Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10(4): 675-691. doi: 10.1007/s11027-005-7303-7

## RESUMO

As barragens de usinas hidrelétricas resultam em emissões de gases de efeito estufa quando construídas em áreas florestadas nos trópicos, fato ilustrado pela Hidrelétrica de Curuá-Una, no Estado do Pará. As emissões de gases incluem o gás carbônico formado pela decomposição acima da superfície da água das árvores deixadas em pé, e o metano resultante da decomposição da vegetação aquática macia, sob condições anóxicas no fundo do lago. Esta biomassa de rápida decomposição inclui as macrófitas e a vegetação que cresce na zona de deplecionamento, que é inundada quando o nível da água no reservatório se eleva. Algum metano é liberado pela superfície do reservatório através de bolhas e por difusão. Entretanto, quantias maiores são liberadas pelas turbinas e pelo vertedouro. A concentração de metano na água aumenta com a profundidade, sendo que as turbinas e o vertedouro retiram a água de profundidades suficientes para ter um conteúdo significativo de metano. No ano de 1990, treze anos após o enchimento, a Represa de Curuá-Una emitiu 3,7 vezes mais gases de efeito estufa do que teriam sido emitidos gerando a mesma quantidade de eletricidade através da queima do petróleo.

Palavras-Chave: Amazônia, represas, emissões de gás de estufa, hidrelétricas, reservatórios, metano, barragens

## INTRODUÇÃO

As emissões de gases de efeito estufa representam uma forte preocupação ambiental com relação da construção de represas hidrelétricas em áreas de floresta tropical. A barragem de Curuá-Una, com 40 MW instalados é localizada no rio Curuá-Una, na cachoeira do Palhão (2° 50' Sul e 54° 18' Oeste), a 70 km ao Sudoeste de Santarém, no Estado do Pará (Figura 1), oferecendo um exemplo de como a construção de represas tropicais pode resultar em fortes emissões de gases de efeito estufa. A maior parte (57,4%) do reservatório está inserido na bacia do rio Curuá-Una, apenas uma pequena parte se encontra em bacias de outros afluentes como o Rio Moju (11,7%), Mojuí (4,4%), e Poraquê (3,2%), e em vários igarapés menores (2,9%) (Vieira, 1982, p. 13). O reservatório encheu pelo período de janeiro a maio de 1977, ocupando uma área de 72 km<sup>2</sup> em nível operacional, com 68 m acima do nível do mar (Tabela 1). O objetivo do trabalho foi de comparar as emissões de gases de efeito estufa da barragem de Curuá-Una com as emissões que teriam sido liberadas se a mesma quantidade de eletricidade fosse gerada de usinas termelétricas. Serão utilizados nas análises dados de emissões referentes ao ano de 1990, que é o ano de referência utilizado nos inventários nacionais de gases de efeito estufa que são obrigatórios sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.



Figura 1. Hidrelétricas na Amazônia brasileira.

**Tabela 1.** Curuá-Una: Parâmetros técnicos

Parâmetro	Valor	Unidades	Fonte
Área de reservatório no nível da água normal operacional	72	km <sup>2</sup>	Fearnside, 1995: 11.
Volume do reservatório	472	milhões de m <sup>3</sup>	Brasil, CEPEL/ELETOBRÁS, 1983: 4.
Profundidade média do reservatório	6	m	Duchemin <i>et al.</i> , 2000.
Capacidade instalada	40	MW	Brasil, CELPA, s/d [C. 1975].
Tempo de retenção	29	dias	Duchemin <i>et al.</i> , 2000.
Cota da soleira do vertedouro	58,0	m sobre o nível média do mar	Brasil, CELPA, s/d [C. 1975].
Máximo do nível da água normal operacional	68,0	m sobre o nível média do mar	Brasil, CELPA, s/d [C. 1975].
Mínimo do nível da água normal operacional	64,0	m sobre o nível média do mar	Brasil, CELPA, s/d [C. 1975].
Cota da soleira da tomada d'água das turbinas	48,0	m sobre o nível média do mar	Brasil, CELPA, s/d [C. 1975].
Cota do topo da tomada d'água das turbinas	52,9	m sobre o nível média do mar	Brasil, CELPA, s/d [C. 1975].
Cota do eixo central da tomada d'água das turbinas	46,2	m sobre o nível média do mar	Brasil, CELPA, s/d [C. 1975].

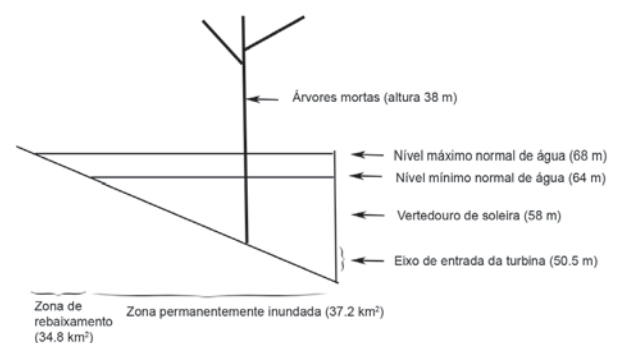
<sup>(\*)</sup>Esta área, medida de imagens LANDSAT, é considerada conservadora; a área do reservatório também foi informada como 78 km<sup>2</sup> (Brasil, CEPEL/ELETOBRÁS, 1983: 4), 102 km<sup>2</sup> (Robertson, 1980) e 86 km<sup>2</sup> (Paiva, 1977: 17).

## EMISSIONES DE GÁS CARBÔNICO

As barragens de usinas hidrelétricas geram emissões de gases de várias fontes. Todas devem ser incluídas nas estimativas obtendo informações válidas sobre o impacto dessas obras sobre o aquecimento global. A decomposição da biomassa de árvores acima da superfície da água é significativa na primeira década depois da formação do reservatório em uma área de floresta tropical, sendo que essa emissão diminui à medida que o estoque de biomassa vai se esgotando. A área de sete Km<sup>2</sup> de leito fluvial (calculada de um mapa reproduzido por Robertson, 1980; veja Fearnside, 1995, p. 11) foi deduzida da área alagada total para calcular uma área de floresta inundada de 65 Km<sup>2</sup>. A decomposição das árvores mortas em pé representa uma fonte de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), já que metade da biomassa seca é carbono. O reservatório é raso, com profundidade média de seis metros, e com uma grande flutuação vertical de até seis metros. Isso faz com que grande parte da biomassa fique fora da água onde se decompõe rapidamente sob condições aeróbicas (Figura 2). A floresta inundada foi classificada como ombrófila densa (Db)(Brasil, IBGE & IBDF, 1988), com uma biomassa média de 362 t/ha no Pará (Atualizado de Fearnside,

1994, 1997a, p. 332, inclusive ajustes de Fearnside & Laurance, 2004 e Nogueira, 2004).

A taxa de decomposição das árvores mortas acima da superfície da água é incerta. O presente cálculo faz a suposição otimista (do ponto-de-vista das emissões em 1990) de que a decomposição acima da linha da água segue o mesmo padrão observado nos desmatamentos amazônicos criados em atividades agropecuárias (Barbosa & Fearnside, 1996). Entretanto, utilizando esse modelo ambiental, a maior parte da madeira presente no reservatório teria desaparecido antes de 1990, treze anos após o enchimento do lago. A taxa de queda de madeira da zona acima d'água para as zonas abaixo



**Figura 2.** Diagrama esquemática da barragem e reservatório de Curuá-Una, comparando as cotas (elevações acima do nível médio do mar) das características chaves. O eixo horizontal não está em escala comparável.

**Tabela 2.** Parâmetros para a emissão pela biomassa acima d'água no reservatório de Curuá-Una

Parâmetro	Valor	Unidades	Fonte
Fração acima do solo	0,759	Fração	Fearnside, 1997b: 337
Profundidade média da zona de água de superfície	1	m	Presunção, baseado em deterioração de madeira comercial
Taxa de decomposição de folhas na zona de acordo com a época inundada	-0,5	Fração/ano	Presunção; o secamento sazonal apressa a taxa (Polunin, 1984: 129)
Taxa de decomposição acima d'água (0-4 anos)	-0,1680	Fração/ano	Presumido a ser o mesmo que em floresta derrubada (Fearnside, 1996: 611)
Taxa de decomposição acima d'água (5-7 anos)	-0,1841	Fração/ano	Presumido a ser o mesmo que em floresta derrubada (Fearnside, 1996: 611)
Taxa de decomposição acima d'água (8-10 anos)	-0,0848	Fração/ano	Presumido a ser o mesmo que em floresta derrubada (Fearnside, 1996: 611)
Taxa de decomposição acima d'água (>10 anos)	-0,0987	Fração/ano	Presumido a ser o mesmo que em floresta derrubada (Fearnside, 1996: 611)
Conteúdo de carbono de madeira	0,50	Fração	Fearnside <i>et al.</i> , 1993)
Taxa de queda de madeira da zona acima d'água	0,1155	Fração/ano	Presunção: vida média = 6 anos
Biomassa total média da floresta em Curuá-Una	477	t/ha	Atualizado de Fearnside, 1997a <sup>(a)</sup>
Profundidade d'água média no nível mínimo	6,8	m	Usa 64,0 m sobre o nível médio do mar como o mínimo do nível operacional normal (CELPA, s/d [C. 1975])
Biomassa inicial presente: folhas	8,1	t/ha	Calculado da biomassa total e de Fearnside (1995: 12)
Biomassa inicial presente: madeira acima d'água	226.4	t/ha	Calculado da biomassa total e de Fearnside (1995: 12)
Biomassa inicial presente: abaixo do solo	114.9	t/ha	Calculado da biomassa total e da fração acima do solo.
Liberação de metano através de térmitas	0,687	kg CH <sub>4</sub> /ha/ano	Martius <i>et al.</i> , 1996: 527.

<sup>(a)</sup> -6,4% de ajustes para o fator de forma (-15,6%) e árvores ocas (+9,2%) (Fearnside & Laurance, 2004), e -12,1% para densidade de madeira (Nogueira, 2004).

d'água é presumido a corresponder a uma meia-vida de seis anos. Considerando apenas a decomposição acima do lago, 0,01 milhões de toneladas de C foram emitidas dessa fonte em 1990 (Tabela 2). Sendo assim, essa é uma sub estimativa, pois não considera a madeira que cai na água que posteriormente é oxidada. Foi sugerida que essa biomassa acima da água se decomponha muito mais lentamente (Gunkel *et al.*, 2003). Porém, a maior parte da biomassa não decomposta 23 anos após a inundação do lago parece ser a porção parcialmente inundada e a totalmente inundada, sendo que quase toda a porção acima da água desapareceu.

## EMISSÕES DE METANO

### a. Fontes de carbono

O metano (CH<sub>4</sub>) é produzido em reações anaeróbicas no fundo do reservatório. Os troncos e galhos das árvores mortas são bastante resistentes à decomposição nessas condições. Por outro lado, as macrófitas (plantas aquáticas) e outras plantas que crescem nas áreas de deplecionamento (as áreas temporariamente expostas quando o nível d'água desce) representam matéria vegetal verde e macia que nutre microorganismos no fundo liberando o metano. Por tonelada de gás, o metano apresenta 21 vezes mais impacto sobre o efeito estufa do que o gás carbônico, considerando os potenciais

de aquecimento global adotados no Protocolo de Kyoto (Schimel *et al.*, 1996: 121), e 23 vezes mais, considerando o potencial de aquecimento derivado no Terceiro Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças no Clima (IPCC)(Houghton *et al.*, 2001).

Curuá-Una apresenta uma grande área de deplecionamento (*drawdown*) grande relativo ao tamanho do reservatório. A variação sazonal representa seis metros de variação entre os níveis operacional máximo e mínimo. Como comparação, Itaipu apresenta uma variação de apenas 20 a 40 cm. Assim, as grandes áreas expostas na época seca se tornam fonte de matéria vegetal verde para zonas anóxicas do lago nos períodos de cheia. Além disso, a entrada do carbono através de erosão do solo pode promover uma emissão significativa de metano. A bacia do rio Curuá-Una sofreu um grande desmatamento, provocando uma eutrofização cultural. Assim, o reservatório mantém um nível de concentração de nutrientes suficiente para sustentar a produtividade de macrófitas (Gunkel *et al.*, 2003), sustentando as emissões de metano por um longo período.

Uma contabilidade completa teria que deduzir o impacto sobre o efeito estufa do CO<sub>2</sub> que teria sido liberado pela oxidação de uma parte deste carbono na ausência da represa. Este ajuste, provavelmente, seria pequeno, tanto porque uma parte do carbono seria



depositada nos sedimentos, em lugar de ser liberada para a atmosfera (não necessariamente muito menos que sob o cenário com o reservatório), e porque, por cada tonelada de carbono, o CH<sub>4</sub> tem 7,6 vezes mais impacto do que o CO<sub>2</sub> sobre o efeito estufa (a um potencial de aquecimento global para CH<sub>4</sub> de 21, em termos de peso de gás).

## b. Emissões de superfície

As emissões superficiais de metano dependem do habitat em estudo, as fortes emissões vêm dos bancos de macrófitas e das áreas de árvores em pé, sendo fracas as emissões ao longo do canal do rio. Nos primeiros anos após o enchimento, uma grande porção do reservatório estava coberta de macrófitas, especialmente o águaapé (*Eichhornia crassipes*), mas também incluindo áreas menores de *Salvinia auriculata*, *Ricciocarpus natans*, *Pistia stratiotes*, *Scirpus cubensis* e *Utricularia* spp. (Junk *et al.*, 1981; Vieira, 1982: 10-11). Grandes blocos de macrófitas foram presos entre as árvores mortas, descritos como dando à represa um “aspecto de desolação” (Vieira, 1982, p. 11). Até 1999, *Polygonum portosiense* (na família Polygonaceae) tinha se tornado a espécie dominante (Gunkel *et al.*, 2003, p. 209).

O reservatório raso contribui às emissões de metano, já que o CH<sub>4</sub> liberado ao fundo em bolhas é oxidado até CO<sub>2</sub> quando sobe à superfície pela coluna d’água, e com água mais rasa uma proporção maior do metano produzido no fundo do lago chega até a atmosfera. O total de emissões de superfície depende da área de água. Uma estimativa grosseira para emissões de superfície pode ser feita (Tabela 3), presumindo que a área em 1990 era igual à área em 1997-1998 (otimista, dado que o nível d’água em 1997-1998 seria abaixo da média, devido ao evento El Niño).

Os bancos de macrófitas (matupás) têm emissões mais altas do que a água aberta. A área de macrófitas sobre o lago pode ser calculada usando a equação de potência obtida por Lima (2002: 47), baseado em uma série temporal de dados de satélite dos reservatórios de Samuel e Tucuruí (eq. 1):

$$Y = 0,2 X - 0,5 \quad (\text{eq. 1})$$

onde:

X = O número de anos após a inundação  
Y = A fração do reservatório coberta por macrófitas.

Utilizando essa equação foi encontrado que 5.5% da superfície do lago era coberta por macrófitas em 1990. Este valor é conservador comparado a uma projeção muito mais alta da cobertura de macrófitas, feita por Gunkel *et al.* (2003, p. 209), que calcularam que aproximadamente 40% do reservatório teriam estado cobertos em 1990, uma porcentagem que diminuiria até um nível estável de 20% em 1999. Essa estimativa foi realizada utilizando dados obtidos dos primeiros anos depois que Curuá-Una estivesse cheio (Junk, 1982) e a trajetória seguida nas áreas de macrófitas no Lago Kariba, na África. A estimativa mais baixa, usada aqui, é consistente com a observação de Junk & Mello (1987) de que “só quantidades pequenas de macrófitas” permaneceram no reservatório em 1987, a diminuição do conteúdo de nutrientes na água tendo causado as macrófitas a diminuir depois de cobrir 26,7% do reservatório em setembro de 1979 (Junk, 1982). O reservatório de Balbina apresentou um padrão semelhante nesse sentido (Walker *et al.*, 1999).

## c. Emissões das turbinas

Água que passa pelas turbinas da barragem é uma forte fonte de emissões de metano pois essa

**Tabela 3.** Emissões de superfície em Curuá-Una

Ítem	Unidades	Estação chuvosa	Estação seca	Nota
Bolhas	mg CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /dia	65±100	12±10	(b)
Difusão	mg CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /dia	16±45	20±19	(b)
Total	mg CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /dia	81	32	
Tempo	Dias	212	153	
Área	km <sup>2</sup>	54,6	72	
Emissão total sazonal	t CH <sub>4</sub>	937,6	352,5	
Emissão total anual	t CH <sub>4</sub> /ano	1.290,1		
Impacto sobre aquecimento global	Milhões de t de C equivalente/ano	0,007		(c)

(a) A estação chuvosa é de outubro a abril e a estação seca é de maio a setembro.

(b) Duchemin *et al.*, 2000 (emissão de superfície medida em 1997-1998).

(c) carbono equivalente a CO<sub>2</sub>, considerando um potencial de aquecimento global de 21 para CH<sub>4</sub> (Schimel *et al.*, 1996)

água vem do fundo do lago. Quando a pressão da água cai de repente na hora da água emergir das turbinas, grande parte do gás de metano dissolvido na água é liberada (Fearnside, 2004). Dados da Barragem de Petit Saut, na Guiana francesa (Galy-Lacaux *et al.*, 1997, 1999), indicam emissões significativas de água turbinada em barragens tropicais.

O reservatório de Curuá-Una apresenta uma oxiclina abrupto a seis metros de profundidade em ambas as estações, chuvosa e seca, embora a estratificação térmica seja fraca (Duchemin *et al.*, 2000). As tomadas d'água para as turbinas e o vertedouro estão bem abaixo desta profundidade no nível operacional normal (Tabela 1). Pode ser presumido que a concentração de metano aumente na água anóxica, como geralmente acontece em reservatórios. Na represa de Curuá-Una, o oxigênio não foi detectado em profundidades abaixo de dez metros (Gunkel *et al.* 2003: 211). A concentração de metano aumenta com profundidade na coluna d'água de um reservatório abaixo da oxiclina: em Tucuruí uma concentração de 6,0 mg CH<sub>4</sub>/litro de água foi medida por J.G. Tundisi a uma profundidade de 30 m em março de 1989 (Rosa *et al.*, 1997: 42). Assim, essa água profunda, com tamanha concentração de gases, produziria emissões significativas de metano para a atmosfera quando passa pelas turbinas, como na barragem de Tucuruí (Fearnside, 2002a).

Uma estimativa grosseira das emissões das turbinas em Curuá-Una em 1990 pode ser feita presumindo que a vazão era igual à média a longo prazo de 188,4 m<sup>3</sup>/segundo (calculada de Brasil, CEPEL/ELETROBRÁS, 1983: 5), e que as turbinas operaram à capacidade plena, engolindo 52 m<sup>3</sup>/s cada (Brasil, CEPEL, 1983). Ao nível d'água de 68 m sobre o nível médio do mar, que aplicaria à maior parte de 1990, a profundidade seria de 21,8 m no eixo central da entrada da turbina, e a concentração de CH<sub>4</sub> ajustada pelo ciclo sazonal (seguindo Fearnside, 2002a, baseado no ciclo em Petit Saut medido por Galy-Lacaux *et al.*, 1997, 1999) seria de 6,5 mg de CH<sub>4</sub>/litro. A suposição é feita que são liberados 60% do metano em atravessar as turbinas, refletindo o fato que a barragem de Curuá-Una não dispõe de um dispositivo especial de aeração que contribui a uma emissão de 89% em Petit Saut, baseado nas medidas de Galy-Lacaux *et al.* (1997, 1999; veja Fearnside, 2002a). Dado estas suposições, a emissão das turbinas em Curuá-Una em 1990 somou 0,077 milhões de t de C equivalente a CO<sub>2</sub> (Tabela 4).

#### d. Emissões do vertedouro

Podem ser calculadas as emissões do vertedouro em 1990 usando as mesmas suposições usadas para emissões das turbinas. A profundidade para a

**Tabela 4.** Emissões das turbinas

Ítem	Valor	Unidades	Fonte
<b>PARÂMETROS</b>			
Energia gerada	185.566	MWh	Brasil, CEPEL/ELETROBRÁS, 1983: 5.
Uso de água por turbina	52,0	m <sup>3</sup> /s	Brasil, CEPEL/ELETROBRÁS, 1983: 5.
Capacidade por turbina	10	MW	Brasil, CEPEL/ELETROBRÁS, 1983: 4.
Concentração de CH <sub>4</sub> na entrada da turbina	6,5	mg/litro	Ajustada dos 6,0 mg/litro medidos na represa de Tucuruí (veja texto).
Proporção do CH <sub>4</sub> liberada pelas turbinas	0,6	Fração	Calculada baseado em 0,89: o valor medido na barragem de Petit Saut (veja texto).
<b>VALORES CALCULADOS</b>			
Uso de água por ano	3,47	bilhões de m <sup>3</sup>	
CH <sub>4</sub> exportado pelas turbinas	24.297	t CH <sub>4</sub> /ano	
Emissão de CH <sub>4</sub> das turbinas	13.498	t CH <sub>4</sub> /ano	
Emissão como C equivalente a CO <sub>2</sub>	0,077	milhões de t de C	(a)

(a) Carbono equivalente a CO<sub>2</sub> com um potencial de aquecimento global de 21 para CH<sub>4</sub> (Schimel *et al.*, 1996).

**Tabela 5.** Emissões do vertedouro

Ítem	Valor	Unidades	Fonte
<b>PARÂMETROS</b>			
Vazão média	188,38	m <sup>3</sup> /s	Calculado de Brasil, CPEL/ELETRONORTE, 1983: 5.
Precipitação	1.750	mm/ano	Vieira, 1982: 2.
Evaporação de água aberta	1.548	mm/ano	Presumido ser igual a Tucuruí (Brasil, ELETRONORTE, 1989: 47).
Evaporação de macrófitas	2,48	múltiplo da evaporação em água aberta	Média de medidas para <i>Eichhornia crassipes</i> por Brezny <i>et al.</i> (1973) (1,26) e por Timmer & Weldon (1967, citado por Brezny <i>et al.</i> 1973) (3,7).
Concentração de CH <sub>4</sub> no nível do vertedouro	5,0	mg/litro	Adjustado do valor medido na represa de Tucuruí (veja texto).
Proporção de CH <sub>4</sub> liberada no vertedouro	0,8		Estimativa ajustado do valor medido em Petit Saut (veja texto).
<b>VALORES CALCULADOS</b>			
Entrada de água de precipitação	0,13	bilhões de m <sup>3</sup> /ano	
Perda de água de evaporação em água aberta	0,11	bilhões de m <sup>3</sup> /ano	
Perda de água de evapotranspiração de macrófitas	0,02	bilhões de m <sup>3</sup> /ano	
Saída total de água	5,95	bilhões de m <sup>3</sup> /ano	
Vazão média do vertedouro	78,34	m <sup>3</sup> /s	
Vazão anual do vertedouro	2,47	billion m <sup>3</sup>	
Exportação de CH <sub>4</sub> pelo vertedouro	12.361	t CH <sub>4</sub> /ano	
Emissão de CH <sub>4</sub> pelo vetedouro	9.899	t CH <sub>4</sub> /ano	
Emissão de C equivalent a CO <sub>2</sub>	0,057	milhões de t C	(a)

(a) Carbon equivalente a CO<sub>2</sub> num potencial de aquecimento global de 21 para CH<sub>4</sub> (Schimel *et al.* 1996).

entrada do vertedouro é de 10,0 m, no nível d'água operacional normal (Tabela 1). A concentração média de CH<sub>4</sub>, ajustada de acordo com a época do ano, a esta profundidade é de 5,0 mg CH<sub>4</sub>/litro. A vazão atravessando o vertedouro é calculado como a vazão média menos a quantia usada pelas turbinas, com ajustes pela contribuição direta da chuva para água do reservatório e pela evaporação da superfície do reservatório.

Presumindo que 80% do CH<sub>4</sub> exportado na água que atravessa o vertedouro sejam emitidos, o vertedouro liberou metano equivalente a 0,057 milhões de toneladas de carbono equivalente a CO<sub>2</sub> em 1990 (Tabela 5).

## COMPARAÇÃO COM COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

As emissões anuais para 1990 em Curuá-Una, expressadas em equivalentes de carbono de CO<sub>2</sub>, são resumidas na Tabela 6. As emissões em 1990 (importantes por causa de contabilidade nacional sob a

convenção de clima) não incluem as emissões altas nos primeiros anos, inclusive antes do começo da geração de energia, por exemplo do concreto usado na construção de barragem. Emissões de gás de efeito estufa diminuem com o passar do tempo, mas mesmo assim ficam estabilizadas em níveis com impacto significativo, como mostrado pela estimativa atual para emissões em 1990 (13 anos depois do enchimento). O cronograma de emissão de gás de efeito estufa representa uma das principais diferenças entre represas hidrelétricas e combustíveis fósseis em termos do seu impacto no aquecimento global (Fearnside, 1997b). Como isto deveria ser levado em conta é um dos principais debates em curso sobre a contabilidade de gás de estufa, com importantes implicações para tomadores de decisão no que diz respeito às políticas de mitigação (veja Fearnside, 2002b,c; Fearnside *et al.*, 2000). Maior peso dado a resultados de impactos a curto prazo resulta em um maior impacto atribuído às hidrelétricas, em comparação com os impactos de combustíveis fósseis.

**Tabela 6.** Emissões anuais de gases de efeito estufa em Curuá-Una em 1990.

Fonte de fluxo	Emissão anual (milhões de t C equivalente a CO <sub>2</sub> )	Porcentagem da emissão periódica total
<b>EMISSIONES PERIÓDICAS (EMISSIONES DE INVENTÁRIO)</b>		
Emissões de superfície	0,007	5,2
Emissões das turbinas	0,077	54,7
Emissões do vertedouro	0,057	40,1
Emissões periódicas totais	0,141	100,0
<b>COMPONENTES ADICIONAIS DE IMPACTO LÍQUIDO (NÃO INVENTÁRIO)</b>		
Emissão de decomposição de biomassa de árvores	0,010	
Fluxos dos ecossistemas pre-represa <sup>(a)</sup>	-0,003	
<b>EMISSIONES LÍQUIDAS, SEM CONSIDERAR A SUBSTITUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL</b>		
Combustíveis fósseis substituídos	-0,040	
<b>EMISSIONES LÍQUIDAS COM SUBSTITUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL DE FÓSSIL</b>		
<b>EMISSIONES A ENERGIA HÍDRELÉTRICA COMO MÚLTIPLO DE THERMAL <sup>(b)</sup> = 3,7</b>		

<sup>(a)</sup> fluxos dos ecossistemas pre-represa: sumidouro de CH<sub>4</sub> no solo da floresta, fonte de N<sub>2</sub>O no solo da floresta, e fonte de CH<sub>4</sub> de térmitas na floresta.

<sup>(b)</sup> emissão líquida (exclusiva da substituição de combustíveis fósseis), dividida pela emissão dos combustíveis fósseis substituídos.

O carbono de combustível fóssil substituído pela Curuá-Una pode ser calculado baseado na emissão de 806,1 g de CO<sub>2</sub> gás equivalente/kWh de eletricidade gerada a partir de óleo, a média de sete estudos (variação 686-949 g) revisados por Van Vate (1996). Um ajuste precisa ser feito pela perda na transmissão até Santarém, que é presumido a ser igual à perda de 3% calculada para uma distância de transmissão semelhante na Hidrelétrica de Samuel, em Rondônia (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1987]). É presumido que a energia gerada em 1990 esteja igual à energia gerada entre maio de 2000 e abril de 2001, que totalizou 185.655 MWh (Brasil, ANEEL, 2001), presumindo que maio e junho de 2000 tiveram a mesma produção que julho. Todos os quatro turbinas da Usina de Curuá-Una tinham sido instaladas antes de 1990. Dado estas suposições, Curuá-Una substituiu por apenas 0,040 milhões de t C equivalente a CO<sub>2</sub> em 1990, ou seja, muito menos que a emissão da barragem (Tabela 6).

Emissões de gás de efeito estufa representam um impacto significativo de barragens hidrelétricas tropicais, fato que geralmente não é levado em conta quando são tomadas as decisões sobre a construção das barragens. Grande parte da indústria hidrelétrica ainda apresenta estas usinas como sendo de energia “limpa” (Veja IRN, 2002). Muito embora a geração a partir de combustível fóssil frequentemente esteja pior que a geração por hidrelétricas, de uma

perspectiva de aquecimento global, este não é o caso em locais desfavoráveis, como em Curuá-Una.

Isto difere da versão preliminar do inventário nacional brasileiro de emissões de gases de efeito estufa (Rosa *et al.*, 2002; veja também Rosa *et al.*, 2004). A diferença é o resultado da estimativa oficial omitir parte importante do impacto: as estimativas do inventário só incluem emissões da superfície do reservatório, uma fonte que representa apenas 5,2% das emissões periódicas totais de Curuá-Una (Tabela 6). Emissões periódicas totais incluem as da superfície, das turbinas e do vertedouro, mas não o grande pulso de uma vez só de emissão causado pela decomposição da biomassa da floresta nos primeiros anos após a formação do reservatório. Emissões periódicas totais representam a medida de emissões apropriada para represas nos inventários nacionais, que são exigidos pela Convenção de Clima (IPCC, 1997). Os inventários contam a biomassa da floresta perdida como uma forma de emissão de desmatamento para reservatórios encheidos durante o período do inventário, e a substituição de energia termelétrica será refletida na parte do inventário sobre combustíveis fósseis.

Nas comparações entre os impactos relativos a diferentes fontes de obtenção de energia, devem ser consideradas outras emissões fora às relacionadas nos inventários nacionais na categoria para



hidrelétricas. O fluxo mais importante é a emissão de CO<sub>2</sub> da decomposição aeróbia das árvores mortas que projetam para fora d'água. Isto é considerado uma forma de desmatamento, e seria considerado para os reservatórios enchidos durante o período de inventário. No caso do reservatório de Curuá-Una, que já estava cheio antes do período do inventário brasileiro (1988-1994), estas emissões não são contadas nos cálculos de emissões líquidas comprometidas que representam o desmatamento no inventário. Quantias maiores de emissões oriundas da decomposição acima d'água em Tucuruí (enchida de setembro de 1984 a março de 1985) também não são contadas, embora as emissões deste tipo são contadas de Samuel (enchida entre outubro de 1988 e julho de 1989) e parte dessas emissões de Balbina (enchida entre outubro de 1987 e julho de 1989).

O impacto líquido de barragens sobre o efeito estufa inclui ajustes para fluxos pré-represa dos ecossistemas anteriores e para as emissões dos combustíveis fósseis substituídos pela produção elétrica da barragem. Uma análise de energia de cadeia completa (FENCH), não tentada aqui, incluiria o impacto adicional do cimento, aço e combustível fóssil usados na construção da barragem.

Em 1990, Curuá-Una teve 3,7 vezes mais impacto que o combustível fóssil substituído (Tabela 6). Para fins de comparação, em 1990 a Hidrelétrica de Balbina (com 3 anos de idade) emitiu 22,6 vezes mais que o combustível fóssil substituído (Fearnside, 2005a), a Samuel Dam (com idade de 2 anos) emitiu 11,6 vezes mais (Fearnside, 2005b), enquanto a Tucuruí em 1990 (com idade de 6 anos) emitiu 1,8-2,6 vezes mais, considerando emissões de 7,0-10,1 milhões de t C em Tucuruí (Fearnside, 2002a), 2,5% de perda em transmissão (presumido ser igual a Balbina, como em Fearnside, 1997b), e as mesmas emissões de combustíveis fósseis por unidade de energia usadas nos cálculos para Curuá-Una.

## CONCLUSÕES

Barragens hidrelétricas em áreas de floresta tropical podem emitir quantidades significativas de gases de efeito estufa. A Hidrelétrica de Curuá-Una oferece um exemplo de uma represa onde as emissões são altas devido a fatores como um reservatório grande relativo à produção de energia da represa, uma área de desplecionamento grande na qual uma vegetação macia cresce rapidamente (para depois ser submergida e

decomposta sob condições anaeróbicas onde o metano é formado), e biomassa alta de árvores deixadas em pé no reservatório. As emissões de Curuá-Una foram maiores que a emissão do combustível fóssil substituído pela energia gerada pela represa: 3,7 vezes mais impacto em 1990 (13 anos depois de encher o reservatório), sendo esperado que esse nível de emissão permaneça estável por um longo período.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq AI 470765/01-1) e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA PPI 1-3620) que contribuíram com o apoio financeiro. Este trabalho é uma tradução de Fearnside (2005a). Agradeço a Alexandre Kemenes pelas correções do português.

## LITERATURA CITADA

- Barbosa, R.I. & P.M. Fearnside. 1996. Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of aboveground carbon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 101(D20): 25847-25857.
- Brasil, ANEEL. 2001. Mapa. <http://www.aneel.gov.br/defaultmapa.html>, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Brasília, DF.
- Brasil, CEPEL/ELETRORÁS. 1983. *Relatório Técnico final No. 963/83. Estudo comparativo de manutenção nas usinas de Curuá-Una e Moxotó*, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica-CEPEL, Centrais Elétricas Brasileiras (ELETRORÁS), Rio de Janeiro, RJ. 48 p.
- Brasil, ELETRONORTE. 1989. *Usina Hidrelétrica Tucuruí: Memória Técnica*, Diretoria Técnica (DT), Departamento de Projetos (TPR), Projeto Memória, Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE), Brasília, DF, 681 p.
- Brasil, ELETRONORTE. s/d [C. 1987], *UHE Samuel*, Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF, 22 p.
- Brasil, IBGE & IBDF. 1988. Mapa de Vegetação do Brasil. Escala de mapa: 1:5.000.000, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) & Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Brasília, DF.
- Brezny, O., I. Mehta & R.K. Sharma. 1973. Studies on evapotranspiration of some aquatic weeds. *Weed Science* 21(3): 197-204.
- CELPA. s/d [C. 1975]. *Usina Hidroelétrica de Curuá-Una*, Centrais Elétricas do Pará S.A. (CELPA), Belém, Pará, 8 p.

- de Lima, I.B.T. 2002. *Emissão de metano em reservatórios hidrelétricos amazônicos através de leis de potência*. tese de doutorado em energia nuclear, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, SP, 108 p.
- Duchemin, E., M. Lucotte, R. Canuel, A.G. Queiroz, D.C. Almeida, H.C. Pereira & J. Dezincourt. 2000. Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir with those of other reservoirs worldwide. *Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie* 27: 1-5.
- Fearnside, P.M. 1994. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. p. 95-124. In: *Anais do Seminário Emissão x Seqüestro de CO<sub>2</sub>*. Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio de Janeiro, RJ.
- Fearnside, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22: 7-19.
- Fearnside, P.M. 1996. Amazonia and global warming: Annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region, p. 606-617. In: J. Levine (ed.), *Biomass Burning and Global Change. Volume 2: Biomass Burning in South America, Southeast Asia and Temperate and Boreal Ecosystems and the Oil Fires of Kuwait*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, E.U.A.
- Fearnside, P.M. 1997a. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change* 35: 321-360.
- Fearnside, P.M.: 1997b, Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation* 24: 64-75.
- Fearnside, P.M. 2002a. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 133: 69-96.
- Fearnside, P.M. 2002b. Time preference in global warming calculations: A proposal for a unified index. *Ecological Economics* 41: 21-31.
- Fearnside, P.M. 2002c. Why a 100-year time horizon should be used for global warming mitigation calculations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 7: 19-30.
- Fearnside, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source, *Climatic Change* 66(2-1): 1-8. Doi: 10.1023/B:CLIM.0000043174.02841.23
- Fearnside, P.M. 2005a. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10(4): 675-691. doi: 10.1007/s11027-005-7303-7
- Fearnside, P.M. 2005b. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management* 35(1): 1-19. Doi: 10.1007/s00267-004-0100-3
- Fearnside, P.M., D.A. Lashof & P. Moura-Costa. 2000. Accounting for time in mitigating global warming through land-use change and forestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5: 239-270.
- Fearnside, P.M. & W.F. Laurance. 2004. Tropical deforestation and greenhouse gas emissions. *Ecological Applications* 14(4): 982-986. doi: 10.1890/03-5225
- Fearnside, P.M., N. Leal Filho & F.M. Fernandes. 1993. Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 98(D9): 16733-16743.
- Galy-Lacaux, C., R. Delmas, C. Jambert, J.-F. Dumestre, L. Labroue, S. Richard & P. Gosse. 1997. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: A case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles* 11: 471-483.
- Galy-Lacaux, C., R. Delmas, J. Kouadio, S. Richard & P. Gosse. 1999. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles* 13: 503-517.
- Gunkel, G., U. Lange, D. Walde & J.W.C. Rosa. 2003. The environmental and operational impacts of Curuá-Una, a reservoir in the Amazon region of Pará, Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 8(3-4): 201-216.
- Houghton, J.T., Y. Ding, D.G. Griggs, M. Noguer, R.J. Van der Linden & D. Xiaosu (eds.). 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 944 p.
- IPCC. 1997. *Revised 1996 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Bracknell, Reino Unido. 3 vols.
- IRN (International Rivers Network). 2002. *Flooding the Land, Warming the Earth: Greenhouse Gas Emissions from Dams*, International Rivers Network, Berkeley, California, E.U.A., 18 p.
- Junk, W.J. 1982. Zur entwicklung aquatischer makrophyten in Curuá-Una, dem ersten stausee in Zentralamazonien. *Arch. Hydrobiol.* 95: 169-180.
- Junk, W.J. & J.A.S. de Mello. 1987 Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. pp. 367-385 In: G. Kohlhepp & A. Schrader (eds.), *Homem e Natureza na Amazônia*. Tübinger Geographische Studien 95 (Tübinger Beiträge zur Geographischen Lateinamerika-Forschung 3). Geographisches Institut, Universität Tübingen, Tübingen, Alemanha.
- Junk, W.J., B.A. Robertson, A.J. Darwich & I. Vieira. 1981. Investigações limnológicas e ictiológicas em Curuá-Una, a primeira represa hidrelétrica na Amazônia Central. *Acta Amazonica* 11: 689-716.
- Martius, C., P.M. Fearnside, A.G. Bandeira & R. Wassmann. 1996. Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere* 33(3): 517-536.

- Nogueira, E. 2004. *Biomassa de árvores na Amazônia Central: Densidade de Madeira, Volume do Fuste e Ocorrência de Oco*. Dissertação de mestrado em ciência florestal tropical. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) & Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas. 96 p.
- Paiva, M.P. 1977. *The Environmental Impact of Man-Made Lakes in the Amazonian Region of Brazil*. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRÁS) Diretoria de Coordenação, Rio de Janeiro, RJ. 69 p.
- Polunin, N.V.C. 1984. The decomposition of emergent macrophytes in fresh water. *Advances in Ecological Research* 14: 115-168.
- Robertson, B.A. 1980. *Composição, Abundância e Distribuição de Cladocera (Crustacea) na Região de Água Livre da Represa de Curuá-Una, Pará*. Tese de mestrado em biologia de água doce e pesca do interior, Fundação Universidade do Amazonas (FUA) & Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, 105 p.
- Rosa L.P., M.A. dos Santos, B. Matvienko, E.O. dos Santos & E. Sikar. 2004. Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions. *Climatic Change* 66(1-2): 9-21
- Rosa, L.P., M.A. dos Santos, J.G. Tundisi & B.M. Sikar. 1997. Measurements of greenhouse gas emissions in Samuel, Tucuruí and Balbina Dams. p. 41-55. In: L.P. Rosa & M.A. dos Santos (eds.), *Hydropower Plants and Greenhouse Gas Emissions*, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, RJ.
- Rosa, L.P., B.M. Sikar, M.A. dos Santos & E.M. Sikar. 2002. *Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros*. Relatório de Referência, Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF. 119 p. ([http://www.mct.gov.br/clima/comunic\\_old/pdf/metano\\_p.pdf](http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/pdf/metano_p.pdf)).
- Schimmel, D. & 75 outros. 1996. Radiative forcing of climate change. p. 65-131 In: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg & K. Maskell (eds.), *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Timmer, C.E. & L.W. Weldon. 1967. Evapotranspiration and pollution of waterhyacinth. *Hyacinth Control Journal* 6: 34-37.
- van de Vate, J.F. 1996. Hydropower: Potential sources of greenhouse gases. In: *Assessment of Greenhouse Gas Emissions from the Full Energy Chain for Hydropower, Nuclear Power and Other Energy Sources. Papers Presented at an IAEA Advisory Group Meeting Jointly Organized by Hydro-Québec and the International Atomic Energy Agency, Hydro-Québec Headquarters, Montréal (Canada) 12-14 March 1996*. International Atomic Energy Agency (IAEA), Genebra, Suíça (II-AG-832.4), Paginação irregular.
- Vieira, I. 1982. *Aspectos Sinecológicos da Ictiofauna de Curuá-Una, Represa Hidroelétrica da Amazônia Brasileira*. Tese de livre docência em biologia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais. 107 p.
- Walker, I., R. Miyai & M.D.A. de Melo. 1999. Observations on aquatic macrophyte dynamics in the reservoir of the Balbina hydroelectric powerplant, Amazonas state, Brazil. *Acta Amazonica* 29: 243-265.





# Capítulo 31

---

## **Hidrelétricas como “Fábricas de Metano” e o Papel dos Reservatórios em Áreas de Floresta Tropical na Emissão de Gases de Efeito Estufa**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Publicação original:

Fearnside, P.M. 2008. Hidrelétricas como “fábricas de metano”: O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. *Oecologia Brasiliensis* 12(1): 100-115. doi: 10.4257/oeco.2008.1201.11

## RESUMO

Calcular as emissões de gases de efeito estufa de barragens hidrelétricas é importante para o processo de tomada de decisão em investimentos públicos nas várias opções para geração e conservação de energia elétrica. Reservatórios em áreas tropicais como a Amazônia frequentemente têm grandes áreas de deplecionamento, onde uma vegetação herbácea, de fácil decomposição, cresce rapidamente. Esta vegetação se decompõe a cada ano no fundo do reservatório quando o nível d'água sobe, produzindo metano. O metano oriundo da vegetação da zona de deplecionamento representa uma fonte permanente deste gás de efeito estufa, diferente do grande pulso de emissão oriunda da decomposição dos estoques iniciais de carbono no solo e nas folhas e liteira (serapilheira ou folhiço) da floresta original. As turbinas e vertedouros puxam água de níveis abaixo da termoclina, isto é, da barreira de estratificação por temperatura que isola a água do fundo do reservatório, rica em metano, da camada superficial que está em contato com o ar. Quando a água do fundo emerge das turbinas e dos vertedouros, grande parte da sua carga de metano dissolvido é liberada para a atmosfera. O gás carbônico oriundo da decomposição da parte superior das árvores da floresta inundada, que fica acima da lâmina d'água, representa outra fonte significativa de emissão de gás de efeito estufa nos primeiros anos depois da formação do reservatório.

Palavras-Chave: Aquecimento global, Barragens, Efeito estufa, Emissão de gases de efeito estufa, Metano, Represas

## INTRODUÇÃO

Embora hoje seja amplamente reconhecido que represas hidrelétricas emitem gases de efeito estufa, muita discordância permanece sobre as questões de quanto é emitido e quando, de que fontes são derivados os gases e quanto desta emissão é uma contribuição líquida ao efeito estufa. Estas diferenças têm implicações significativas para as políticas públicas e as diferenças conduzem a conclusões discrepantes, como se há um benefício climático para qualquer determinada represa hidrelétrica quando comparado com a eletricidade gerada por combustíveis fósseis.

Represas variam amplamente na quantidade de gases de efeito estufa que elas emitem. Considera-se que represas tropicais (o assunto deste trabalho)

emitem mais gases de efeito estufa do que represas em áreas temperadas e boreais, mas é um engano pensar que só represas tropicais emitem gases. Dentro dos trópicos há também variação em emissões. Recentemente, tem havido progresso significativo na medição de emissões ao longo do ciclo anual em represas individuais, especialmente em Petit Saut, na Guiana francesa (*e.g.*, Abril *et al.* 2005; Guérin *et al.* 2006) e em Balbina, no Brasil (Kemenes *et al.* 2007, 2008).

Além do monitoramento de perfis de metano e emissões de superfície durante um ou mais ciclos anuais em Petit Saut e Balbina, foram feitas medidas pontuais de emissões de superfície em outros reservatórios amazônicos: Tucuruí (de Lima 2005; Rosa *et al.* 2003), Samuel (de Lima 2005; Rosa *et al.* 2003) e Curuá-Una (Duchemin 2000). E também, foram feitas várias medidas de emissões de superfície para vários reservatórios não amazônicos no Brasil: Serra Mesa (de Lima, 2005), e Três Marias, Miranda, Barra Bonita, Xingó e Segredo (Rosa *et al.* 2004). Perfis de concentração de metano durante breves períodos de amostragem (campanhas de campo) têm sido medidas na Serra da Mesa e em Manso (Abe *et al.*, 2005) e, informações adicionais sobre ciclagem de carbono para estes dois reservatórios também foram obtidas (Abe *et al.* 2005; Sikar *et al.* 2005).

Uma vez que não é possível ter medidas diretas para mais do que alguns poucos dos reservatórios existentes e, que medidas diretas em reservatórios propostos são impossíveis, é importante ter um arcabouço de cálculo para estimar as emissões de gases de efeito estufa a partir de outros parâmetros dos reservatórios. Por falta de alternativas melhores, o método de aproximação mais utilizado até agora, é o de simplesmente fazer extrapolações a partir das poucas medidas diretas existentes. Essas extrapolações presumem emissões constantes por unidade de área de reservatório, ou alternativamente, emissões constantes por megawatt de capacidade instalada ou de eletricidade gerada (*e.g.*, Saint Louis *et al.* 2000). Tais extrapolações têm a vantagem de não requerer nenhuma informação detalhada sobre as características de cada represa.

Um método mais exigente inclui uma série de cálculos baseado no perfil de concentração de metano, ciclos sazonais em concentração, profundidade das turbinas e vertedouros, junto com informações sobre os níveis de água no reservatório e a posição das turbinas e vertedouros, e os respectivos

fluxos de água nessas estruturas. Este foi aplicado em Tucuruí, Curua-Una e Samuel (Fearnside 2002, 2005a,b). O ponto fraco desse método é a necessidade de ter ou um perfil medido de concentração de metano na coluna de água ou a aceitação da suposição de que o perfil de outro reservatório pode ser aplicado para o reservatório em questão. Para evitar esta suposição limitante, é necessário um método que calcule os valores de concentração de metano a partir de dados sobre o carbono vindo de várias fontes, tais como os estoques iniciais na biomassa e no solo e o carbono renovável introduzido por fotossíntese feito por macrófitas e pela vegetação na zona de deplecionamento.

O objetivo do atual trabalho é de prover um arcabouço melhor para estimar as emissões líquidas de represas, tanto para aquelas já construídas como para as futuras. Tais estimativas estão baseadas no princípio de que é necessário sempre fazer o melhor uso das informações disponíveis. Com o passar do tempo, estas informações poderão ser melhoradas em quantidade e confiabilidade, mas a cada momento no tempo, as decisões são fundamentadas no melhor uso das informações disponíveis.

## PRINCÍPIOS

### 1. Adicionalidade

Uma pergunta fundamental no cálculo de emissões de gás de efeito estufa de represas hidrelétricas, assim como para outros tipos de mudanças antropogênicas é se as emissões são “adicionais” àquelas que teriam sido emitidas na ausência da intervenção. Este não só é o princípio que guia ações de mitigação sob o Protocolo de Kyoto (*i.e.*, de diminuir emissões líquidas) como também é a base para entender o papel de fontes novas que acrescentam às emissões humanas.

Contabilizar todas as emissões de CO<sub>2</sub> de uma represa como adicionais ignora o fato que grande parte de qualquer CO<sub>2</sub> presente na água do rio, sem a barragem, teria sido emitida da mesma forma. Richey *et al.* (2002) encontraram uma emissão volumosa de CO<sub>2</sub> da água no rio Amazonas e, na realidade, nada desse volume poderia ter se originado em reservatórios hidrelétricos. Se uma represa é construída e, ao invés de ser emitido no rio Amazonas a emissão de CO<sub>2</sub> acontece na superfície do reservatório ou na saída das turbinas, isto não representa uma contribuição adicional ao efeito estufa.

O CO<sub>2</sub> foi contado integralmente em vários estudos de emissões por reservatórios (por exemplo, Saint Louis *et al.* 2000; Kemenes *et al.* 2007, 2008; Rosa *et al.* 2004). O autor do presente estudo não conta emissão de CO<sub>2</sub> da superfície ou das turbinas e vertedouros, mas conta a emissão de CO<sub>2</sub> pela decomposição acima da água das árvores mortas que se projetam para fora do lago.

### 2. Contar todas as fontes e sumidouros

Ao avaliar emissões de represas hidrelétricas deveria ser um princípio básico contar todas as fontes e sumidouros. A omissão de importantes caminhos de emissão foi a principal causa das conclusões de alguns grupos (por exemplo Rosa *et al.* 2004) de que represas produzem quantias pequenas de gases de efeito estufa e que as hidrelétricas quase sempre comparam muito favoravelmente com geração termelétrica, em termos de emissões (ver Fearnside 2004, 2006).

A dificuldade de medir as emissões que acontecem dentro das turbinas e logo abaixo da saída das turbinas faz com que alguns estudos calculem a emissão somente com base nos fluxos de superfície medidos a jusante após os primeiros metros de água turbulenta no rio, subestimando a emissão significativamente. As medidas de emissões das turbinas e dos vertedouros deveriam ser feitas levando-se em consideração a diferença entre as concentrações de gás na água acima da barragem ao nível da entrada dessa estruturas e, imediatamente abaixo do ponto de liberação. Medidas de fluxo a jusante têm um papel importante mostrando o destino dos gases dissolvidos que permanecem depois da passagem inicial pela barragem, mas estas medidas não substituem uma estimativa baseada na diferença antes e depois da própria barragem.

Todas as fontes pré-represa devem ser contabilizadas, inclusive a formação de poças, térmitas e fluxos de gases do solo. Deve ser lembrado que os locais de represas hidrelétricas normalmente não são áreas alagadas e sim áreas com cachoeiras, sendo que esses locais tem maior potencial para gerar energia. Portanto, as altas emissões de metano associadas com áreas alagadas não se aplicam à maioria da vegetação pré-represa, ao contrário das suposições de alguns estudos.

Podem se agrupar fontes de carbono para emissões de gases de efeito estufa em quatro categorias:

1. Estoques de carbono que estavam presentes na vegetação e no solo antes do enchimento do reservatório. Estes incluem os estoques preexistentes na zona de deplecionamento que só é inundada de acordo com a época e qualquer vegetação localizada próxima do reservatório que é afetada por alterações no lençol freático.

2. Carbono de forma dissolvida ou particulada que entra no reservatório provenientes dos rios e córregos que entram no lago. Este carbono vem de erosão do solo e de liteira e outros tipos de matéria orgânica da bacia hidrográfica. A parte particulada deste carbono é uma fonte de entrada ininterrupta de carbono fresco, facilmente degradada, que vai para os sedimentos do fundo do reservatório. Esta camada de sedimento é o local de metanogênese, fornecendo  $\text{CH}_4$  à coluna d'água por difusão e contribuindo para emissões da superfície por borbulhamento (Abe *et al.* 2005; Adams *et al.* 2005).

3. Carbono que é fixado dentro do reservatório ou no ecossistema aquático (plâncton, perifiton e macrofitas) ou em crescimento anual de vegetação terrestre na zona de deplecionamento, de acordo com a época inundada.

4. Carbono que é liberado aerobicamente das árvores que são mortas quando o reservatório é inundado. Este inclui decomposição acima d'água das porções das árvores mortas que projetam sobre a superfície do reservatório, decomposição aeróbica de troncos flutuantes que se movimentam e deriva até a beira do lago, e a decomposição de árvores na floresta circunvizinha que são mortas perto da margem do reservatório devido a alterações no lençol freático provocadas pelo reservatório. Além de decomposição, árvores mortas no reservatório podem liberar carbono em queimadas durante eventos de abaixamento extremos do nível d'água (como aconteceu em Balbina e Samuel durante o El Niño de 1997-1998).

## **HIDRELÉTRICAS E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

A tomada de decisão sobre desenvolvimento energético requer uma avaliação abrangente dos custos ambientais e dos benefícios de cada alternativa. Embora o benefício das hidrelétricas em substituir a queima de combustíveis fósseis em usinas termelétricas seja amplamente conhecido, a emissão de gases de efeito estufa tem recebido relativamente pouca atenção. As emissões de gases de efeito estufa são particularmente altas em áreas de

floresta tropical. As represas hidrelétricas em áreas tropicais, como a Amazônia brasileira, emitem gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) pela decomposição das árvores acima da lâmina d'água, que são deixadas em pé na hora de encher os reservatórios, e também libera metano ( $\text{CH}_4$ ) por decomposição sob condições anaeróbicas no fundo do reservatório. O metano é liberado através de vários caminhos, inclusive por bolhas e difusão pela superfície, e é liberado no transcurso da água pelas turbinas e vertedouros. A vegetação herbácea, de fácil decomposição, cresce rapidamente na zona de deplecionamento, ou de "drawdown", que é a área do fundo do reservatório que fica exposta quando o nível da água é periodicamente rebaixado. Quando o nível d'água sobe, a biomassa se decompõe no fundo do reservatório, produzindo metano.

Os reservatórios são termicamente estratificados, com uma faixa (termoclina) localizada entre 2 e 3 m de profundidade. A temperatura da água diminui abruptamente abaixo da termoclina, e a água abaixo desta camada não se mistura com a água da superfície. Esta água abaixo da termoclina (o hipolimnion) logo se torna anóxica e a vegetação herbácea da zona de deplecionamento que se decompõe sob essas condições produz  $\text{CH}_4$  em lugar de  $\text{CO}_2$ . Uma tonelada de  $\text{CH}_4$  provoca 25 vezes mais impacto sobre o efeito estufa que uma tonelada de  $\text{CO}_2$ , quando é utilizado o fator de conversão (potencial de aquecimento global, ou GWP) calculado para um período de 100 anos no Quarto Relatório de Avaliação (AR-4) do Painel Intergovernmental sobre Mudança do Clima (IPCC) (Forster *et al.* 2007, pág. 212). O valor do GWP de metano é crítico para o impacto de hidrelétricas no aquecimento global. O relatório AR-4 revisou este valor e o elevou em relação ao valor de 23 utilizado no Terceiro Relatório de Avaliação (Ramaswamy *et al.* 2001, pág. 388), que, por sua vez, já havia revisado e elevado o valor em relação ao valor de 21 usado no Segundo Relatório de Avaliação (Schimel *et al.* 1996, pág. 121). Este último valor, de 21, foi adotado pelo Protocolo de Kyoto para o período até 2012 e com relação a ele, o valor atual representa um aumento de 19% no impacto atribuído ao metano. O valor mais recente do GWP de metano, de 25, significa que uma tonelada de carbono em forma de  $\text{CH}_4$  tem 9,1 vezes mais impacto que uma tonelada de carbono em forma de  $\text{CO}_2$ . Ou seja, transformar o carbono do  $\text{CO}_2$  da atmosfera em metano multiplica por mais de nove o impacto no aquecimento global de cada tonelada (megagrama



= Mg) de carbono que é transformada e liberada para a atmosfera [Obs.: Em 2013 o AR-5 aumentou o GWP de metano para 28 se usado a mesma forma de cálculo (100 anos, sem retroalimentações), para 34 se retroalimentações hoje reconhecidas são incluídas, e 86 em uma base de 20 anos, mais relevante a evitar ultrapassar o limite de 2°C acordado em 2009.].

Não se acredita que a madeira das árvores submersas seja uma fonte significativa de carbono para a produção de metano porque o tecido vegetal lignificado (madeira) decompõe-se a uma taxa extraordinariamente lenta sob condições anaeróbicas. Árvores ainda são utilizáveis como madeira mesmo depois de permanecerem várias décadas submersas, como demonstrado pela experiência em Tucuruí onde, mais de duas décadas depois do enchimento em 1984, a represa ainda é cena de disputas entre vários pretendentes interessados na exploração do estoque de madeira subaquática. Em contrapartida, a vegetação herbácea decompõe-se rapidamente, liberando assim seu estoque de carbono na forma de gases, uma parte da qual é liberada para a atmosfera.

O recrescimento da vegetação na zona de deplecionamento do reservatório, a cada ano, remove gás carbônico da atmosfera pela fotossíntese, e reemite o carbono na forma de metano quando a vegetação é inundada. O reservatório, então, age como uma verdadeira fábrica de metano, convertendo continuamente o CO<sub>2</sub> em CH<sub>4</sub>. A fonte de carbono da inundação anual da zona de deplecionamento é permanente, diferente do carbono da liteira fina, folhas e carbono instável (lábil) orgânico do solo da floresta original. Estes estoques de carbono se decompõem durante os primeiros anos depois do enchimento do reservatório. Tapetes de macrófitas (plantas aquáticas), outra fonte de biomassa facilmente decomposta, diminuem a níveis reduzidos quando a fertilidade da água alcança um equilíbrio mais baixo depois de esgotar o pulso inicial de nutrientes que segue o enchimento do reservatório. Emissões de represas hidrelétricas são muito mais altas durante os primeiros anos, tanto de CH<sub>4</sub> gerado pela decomposição subaquática da biomassa herbácea do reservatório como de CO<sub>2</sub> oriundo da decomposição da parte acima d'água das árvores da floresta original deixada em pé no reservatório. Porém, a provisão ininterrupta de biomassa herbácea da zona de deplecionamento, e de macrófitas, garante certo nível de emissão permanente.

Estimativas anteriores de emissões de gases de efeito estufa de reservatórios amazônicos geralmente calcularam as emissões em um único momento no tempo, por exemplo, 1990, que é o ano padrão de referência para inventários nacionais de gases de efeito estufa sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC) (Fearnside 1995, 2002, 2005a, b). Um estudo incluiu o caminho de tempo de emissões de decomposição da biomassa da floresta original (Fearnside 1997a). Estimativas de emissões de metano geralmente confiaram na suposição que uma concentração medida em uma represa pode ser extrapolada diretamente para outras represas de idade semelhante. Precisa-se de um modelo explícito dos estoques de carbono e da sua degradação para poder calcular as emissões com o passar do tempo em um determinado reservatório e em reservatórios com diferentes idades, manejo da água e outras características. O modelo desenvolvido para este propósito é descrito nas seções seguintes. Em um trabalho separado, uma versão anterior deste modelo foi aplicado ao caso específico das hidrelétricas propostas de Belo Monte (anteriormente Kararaô) e Altamira (anteriormente Babaquara) no rio Xingu (Fearnside 2005c). A informação apresentada no presente trabalho é aplicável à represas em toda a região amazônica brasileira e para outras regiões tropicais com condições ambientais semelhantes. Porém, as características de cada represa determinarão as quantidades de gases de efeito estufa emitidas por cada caminho, e o impacto ou benefício líquido uma vez levado em conta a substituição de combustível.

## **FONTES DE CARBONO E CAMINHOS DE LIBERAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

### **Metano**

O metano produzido por decomposição subaquática pode ser liberado de vários modos, incluindo o borbulhamento (ebulição) e a difusão pela superfície do reservatório. O borbulhamento permite que o CH<sub>4</sub> atravesse a barreira da termoclina e é altamente dependente da profundidade da água em cada ponto no reservatório, com emissões de bolhas muito maiores a profundidades mais rasas. A difusão é importante no primeiro ano, porque as populações bacterianas na água de superfície (epilimnion) aumentam, com o resultado que qualquer metano que se difunde por esta camada seja oxidado para CO<sub>2</sub>

antes de alcançar a superfície (Dumestre *et al.* 1999; Galy-Lacaux *et al.* 1997). As emissões de superfície também são mais altas nos primeiros anos depois do enchimento porque o estoque de carbono nas folhas e folhiço da floresta original e na fração instável do carbono do solo está sendo liberado do fundo do reservatório na forma de metano. Estes estoques de carbono iniciais diminuirão na medida em que eles são progressivamente exauridos e, nos anos posteriores, o carbono somente estará disponível de fontes renováveis, tais como as macrófitas e o recrescimento na zona de deplecionamento (assim como também o carbono do solo que entra no reservatório oriundo da erosão rio acima).

Estão faltando estudos para quantificar o papel relativo de diferentes fontes de carbono. No caso do reservatório de Petit Saut, na Guiana francesa, Galy-Lacaux *et al.* (1999) acreditam que o carbono do solo é a fonte principal nos primeiros anos. O estoque de carbono instável do solo é relativamente grande, comparado aos outros estoques de carbono facilmente degradado. O presente cálculo usa o estoque de carbono instável (hidrolisável) do solo de 54 Mg C/ha medido nos 60 cm superficiais de um Ultisol (podzólico) amazônico típico (Trumbore *et al.* 1990, pág. 411). Suposições relativas à taxa de decomposição dos estoques produzem um total teórico para o carbono liberado na água na forma de CH<sub>4</sub>. Considerando o efeito de diluição pelos influxos de água para o reservatório, a quantidade de carbono que se decompõe anaerobicamente por km<sup>3</sup> (10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>) de água pode ser calculada. Esta quantidade foi calculada para dois reservatórios existentes em áreas de floresta tropical (Petit Saut e Tucuruí) e relacionado à concentração de CH<sub>4</sub> na água a uma profundidade padronizada (30 m) nos mesmos reservatórios.

A quantidade de carbono que se decompõe anaerobicamente é a soma das porções que se decompõe de folhas originais e folhiço, carbono instável do solo, macrófitas não encalhadas e vegetação inundada na zona de deplecionamento. A quantidade de água é o volume do reservatório ao final do mês, mais os influxos durante o referido mês e o mês anterior. A quantidade de carbono que se decompõe anaerobicamente (calculada de acordo com as suposições dadas acima) relacionada à concentração de CH<sub>4</sub> aos 30 m de profundidade é mostrada na Figura 1. Os dados de concentração são de Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.* 1999), com exceção do ponto extremo no lado esquerdo, com 6 mg CH<sub>4</sub>/litro aos 30 m de profundidade, que é de Tucuruí (J.G. Tundisi, citado por Rosa *et al.* 1997, pág. 43). A faixa de valores para a quantidade de carbono que se decompõe anaerobicamente é dividida em três segmentos para o cálculo da concentração de CH<sub>4</sub> aos 30 m de profundidade (equações 1-3).

Para decomposição anaeróbica ≤ 684,4 Mg C/ km<sup>3</sup> de água:

$$Y = 0,00877 X \quad (1)$$

Para decomposição anaeróbica entre 684,5 e 15.000 Mg C/ km<sup>3</sup> de água:

$$Y = 0,000978 X + 6 \quad (2)$$

Para decomposição anaeróbica > 15.000 Mg C/ km<sup>3</sup> de água:

$$Y = 20 \quad (3)$$

onde:

X = decomposição anaeróbica (Mg C/km<sup>3</sup> de água)  
 Y = concentração de CH<sub>4</sub> aos 30 m de profundidade (mg/litro)

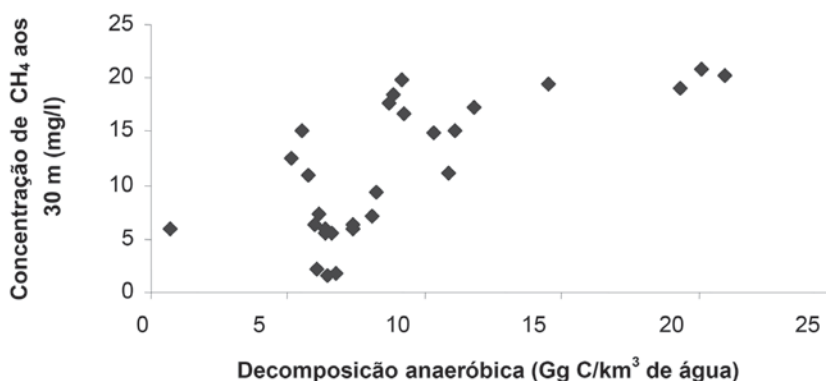


Figura 1. Concentração de metano a 30 m de profundidade contra carbono decomposto anaerobicamente. Dados de concentração a 30 m são de Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.* 1999) que é de Tucuruí (J.G. Tundisi, citado por Rosa *et al.* 1997, pág. 43).

A razão entre a concentração de metano a diferentes profundidades e a concentração aos 30 metros depende da idade do reservatório, já que esta razão muda com o passar do tempo à medida que as populações bacterianas nas águas de superfície se tornam mais capazes de degradar o metano para gás carbônico. Dados do reservatório de Samuel aos cinco meses de idade (J.G. Tundisi, citado por Rosa *et al.* 1997, pág. 43) são usados para representar reservatórios até 12 meses depois do enchimento; dados de Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.* 1999) são usados para representar reservatórios do 13º até o 36º mês, e dados de Tucuruí coletados 44 meses depois do enchimento (J.G. Tundisi, citado por Rosa *et al.* 1997, pág. 43) são usados para representar reservatórios depois do 36º mês. As razões são calculadas usando as equações na Tabela 1.

As emissões de borbulhamento e de difusão podem ser relacionadas à concentração de CH<sub>4</sub> a uma profundidade padronizada de 30 m. A Tabela 2 apresenta equações para estas emissões para água com profundidades diferentes. Estas razões resultaram de medidas em Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.* 1999). A concentração de CH<sub>4</sub> prevista aos 30 m de profundidade é estreitamente relacionada às emissões de borbulhamento observadas em cada faixa de profundidade nos dados de Petit Saut (0-3 m, 4-6 m e 7-8 m) (Figura 2a, b & c). As emissões de difusão em Petit Saut, independente da profundidade, também são estreitamente relacionadas à concentração de CH<sub>4</sub> predita aos 30 m (Figura 2d.).

**Tabela 1.** Razão das concentrações de CH<sub>4</sub> em diferentes profundidades para a concentração a 30 m

Faixa de profundidade (m)	Idade = 12 meses <sup>(a)</sup>	Idade 12,1-36 meses <sup>(b)</sup>	Idade > 36 meses <sup>(c)</sup>
0 – 0,9	0,33	0	0
1 – 1,9	0,50	0	0
2 – 4,9	0,75	0	0
5 – 9,9	0,83	0	0,34
10 – 14,9	0,67	0	0,63
15 – 19,9	0,75	0,33	0,71
20 – 24,9	0,83	0,50	0,79
25 – 29,9	0,92	0,83	0,89
30 – 30,0	1,00	1,00	1,00
≥ 31	(d)	(d)	(d)

(a) Dados do reservatório de Samuel 1,5 meses depois de encher (J.G. Tundisi, citado por Rosa *et al.* 1997, pág. 43).

(b) Dados de Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.* 1999).

(c) Dados de Tucuruí 44 meses depois de encher (J.G. Tundisi, citado por Rosa *et al.* 1997, pág. 43)

(d)  $Y = 1 + (0,0165 (X - 30))$

onde:

Y = Razão entre a concentração de CH<sub>4</sub> e a concentração aos 30 m de profundidade  
X = Profundidade abaixo da superfície (m)

Usando os dados derivados acima, as concentrações de CH<sub>4</sub> podem ser calculadas. A liberação de carbono calculada por decomposição anaeróbica é calibrada aos dados existentes sobre concentração de CH<sub>4</sub> em reservatórios semelhantes. Esta calibração é importante para reduzir qualquer possível viés oriundo das presunções relativas à magnitude das taxas de decomposição dos vários estoques subaquáticos de carbono. A água que entra em um reservatório a partir de córregos e do fluxo normal do rio não contém praticamente nada de CH<sub>4</sub>, como foi mostrado pelas medidas em Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.* 1997).

Durante cada mês, ao longo de um período de 50 anos, pode-se calcular a área de zona de deplecionamento que permanece exposta durante um mês, dois meses, e assim sucessivamente até um ano, e uma categoria separada que é mantida para área de deplecionamento exposta durante mais de um ano. A área que é submersa em cada classe de idade é calculada durante cada mês. Isto permite um cálculo da quantia de biomassa herbácea que é inundada, baseado em presunções relativas à taxa de crescimento da vegetação na zona de deplecionamento.

**Tabela 2.** Emissões por borbulhamento e difusão calculadas a partir da concentração de CH<sub>4</sub> a 30 m de profundidade<sup>(a)</sup>

Caminho de emissão	Faixa de profundidade (m)	Faixa de concentração de CH <sub>4</sub> a 30 m de profundidade (mg/litro)	Coefficiente angular	Intercepto
Borbulhamento	0-3 m	0-9,2	47,572	-54,214
		9,3-1,6	64,979	-216,344
		≥ 17,7	23,562	516,453
Borbulhamento	4-6 m	0-9,2	31,284	-77,499
		9,3-17,6	35,738	-118,989
		≥ 17,7	12,959	284,049
Borbulhamento	7-8 m	0-4,5	0	0
		4,6-9,2	2,468	43,680
		9,3-17,6	11,139	-37,087
		≥ 17,7	4,039	88,535
Difusão	Todas as profundidades	0-9,2	11,909	-35,860
		9,3-17,6	17,917	-91,822
		≥ 17,7	1,895	191,656

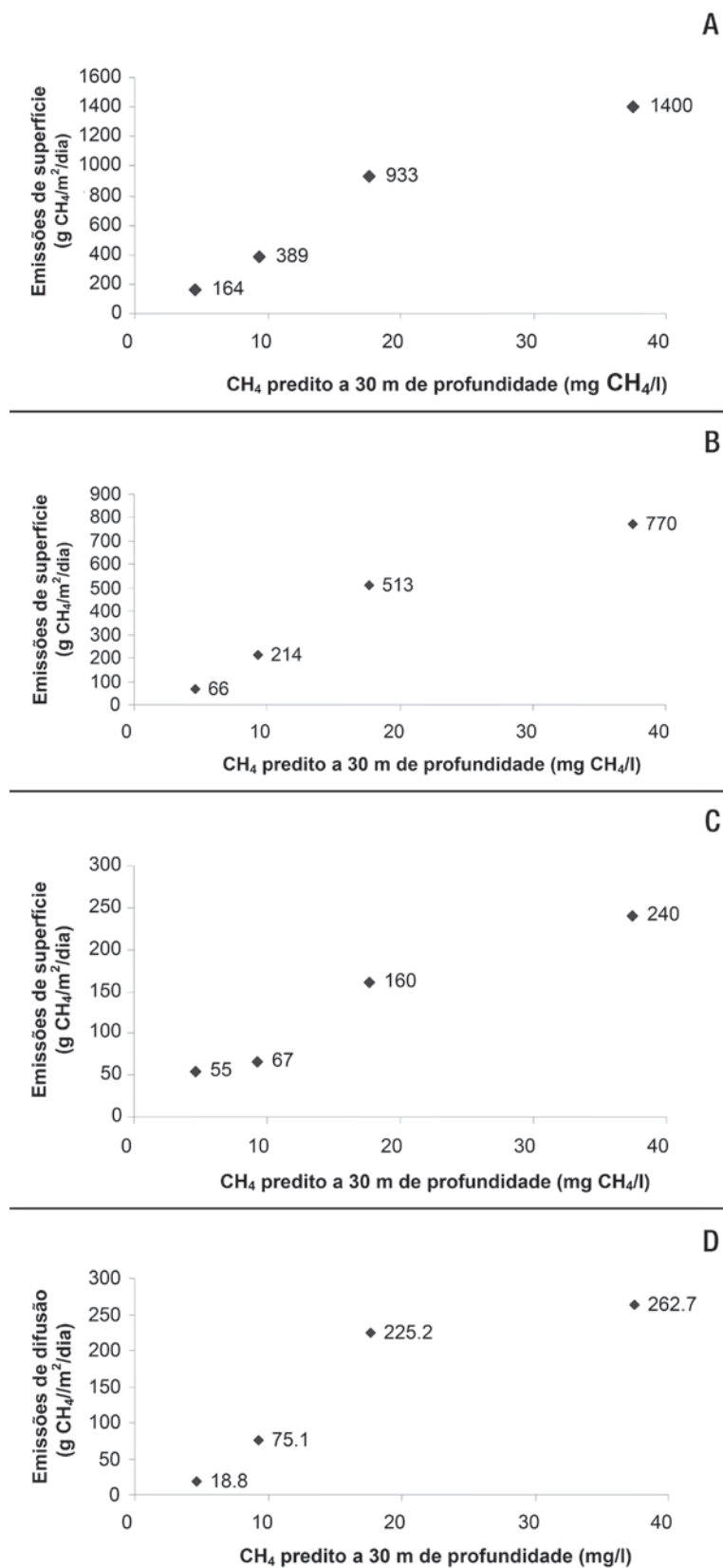
(a)  $Y = mX + b$

onde: Y = Emissão de CH<sub>4</sub> (mg/m<sup>2</sup>/dia)

X = Concentração de CH<sub>4</sub> a 30 m de profundidade (mg/litro)

m = Coeficiente angular

b = Intercepto (coeficiente linear)



**Figura 2.** Borbulhamento e emissões de difusão contra concentração de metano predita a 30 m de profundidade. Dados de emissões são de Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.* 1999). A.) Borbulhamento para locais 0-3 m de profundidade; B.) Emissões de borbulhamento para 4-6 m de profundidade; C.) Emissões de borbulhamento para 7-8 m de profundidade; D.) Emissões de difusão para todas as profundidades.



A categoria para vegetação com mais de um ano de idade contém biomassa mais lignificada, já que o crescimento depois do primeiro ano é, em grande parte, alocado à produção de madeira, em lugar de tecidos mais macios (a biomassa de folhas da floresta é usada para esta categoria).

As macrófitas são uma fonte importante de biomassa macia, facilmente decomposta. As populações destas plantas aquáticas aumentam com exuberância, cobrindo parte significativa de reservatórios novos, conforme observado em Brokopondo, no Suriname (Paiva 1977), Curuá-Una, no Pará (Junk *et al.* 1981), Tucuruí, no Pará (de Lima 2002), Balbina, no Amazonas (Walker *et al.* 1999) e Samuel, em Rondônia (Fearnside 2005a). Imagens de satélite LANDSAT indicam que as macrófitas em Tucuruí cobriram 40% da superfície do reservatório dois anos depois do enchimento, diminuindo para 10%, depois de uma década (de Lima *et al.* 2002). Baseado em monitoramento em Samuel e Tucuruí, Ivan Tavares de Lima (2002) desenvolveu uma equação (eq. 4) para descrever a evolução da cobertura de macrófitas, que é utilizada na presente análise:

$$Y = 0,2 X^{-0,5} \quad (4)$$

onde:

X = anos desde o enchimento  
Y = a fração do reservatório coberta por macrófitas.

As macrófitas morrem a uma determinada taxa no reservatório e a biomassa morta afunda. Em lagos de várzea, a mortalidade das macrófitas resulta em uma reposição da biomassa 2-3 vezes por ano (Melack & Forsberg 2001, pág. 248). O ponto central desta faixa (4,8 meses) implica que 14,4% da biomassa de macrófita morre em cada mês. Esta taxa foi adotada para mortalidade de macrófita nos reservatórios. Além desta mortalidade, uma parte da biomassa de macrófitas é encalhada quando o nível da água desce. Como os ventos prevalecentes (que sopram de leste para oeste) empurram as macrófitas flutuantes contra apenas uma margem, uma parte do tapete de plantas flutuantes necessariamente é posicionada onde será encalhada sempre que o nível d'água desce. As quantidades envolvidas são impressionantes, como é evidente em Tucuruí (veja Fearnside 2001). Como as macrófitas concentram-se ao longo de apenas uma margem do reservatório, somente a metade da zona de deplecionamento é considerada na computação das áreas de macrófitas encalhadas. Quando encalhadas, as macrófitas morrem e se decompõem aerobicamente. No

entanto, se o nível d'água sobe novamente antes do processo de decomposição ser completado, o estoque de carbono remanescente em macrófitas encalhadas é acrescentado ao estoque de carbono subaquático que pode produzir metano. Aqui se presume que, se uma área estiver exposta durante apenas um mês, então a metade das macrófitas encalhadas ainda estará presente quando estas áreas forem reinundadas.

A cobertura de macrófitas em reservatórios amazônicos passa por uma sucessão regular de espécies, começando com *Eichhornia* e terminando com *Salvinia*, como aconteceu em Curuá-Una (Vieira 1982) e Balbina (Walker *et al.* 1999). *Eichhornia* e outras macrófitas que predominam nos primeiros anos têm significativamente mais biomassa por hectare que *Salvinia*. Em Balbina a substituição de macrófitas de biomassa alta por *Salvinia* aconteceu entre o sétimo e o oitavo ano depois do enchimento (Walker *et al.* 1999, pág. 252). Nos presentes cálculos presume-se que a troca para *Salvinia* acontece sete anos depois de enchimento do reservatório. Macrófitas flutuantes como *Eichhornia* e *Salvinia* são muito comuns em reservatórios, mas algumas espécies enraizadas também ocorrem.

Presume-se que a biomassa de macrófitas é de 11,1 Mg/ha de peso seco durante os primeiros seis anos, baseado em um tapete de *Eichhornia* mensurado no Lago Mirití, um lago de várzea perto de Manacapuru, Amazonas (P.M. Fearnside, dados não publicados). Para comparação, em lagos de várzea, espécies de *Oryza* tiveram 9-10 Mg/ha de peso seco, enquanto que *Paspalum* teve 10-20 Mg/ha (T.R. Fisher, D. Engle & R. Doyle, dados inéditos citados por Melack & Forsberg 2001, pág. 248). Em lagos de várzea, nove medidas de macrófitas enraizadas foram tomadas depois de aproximadamente três meses de crescimento, resultando em uma média de 5,7 Mg/ha de biomassa seca (DP=1,7, variação=3,2-8,7) (Junk & Piedade 1997, pág. 170). Depois que ocorre a transição para *Salvinia*, a biomassa por hectare de macrófitas se torna mais baixa. O valor de biomassa usado no cálculo é de 1,5 Mg/ha de peso seco, que é a biomassa de tapetes de *Salvinia auriculata* (Junk & Piedade 1997, pág. 169).

O metano da água que é retido abaixo da termoclina será exportado dos reservatórios na água puxada pelas turbinas e pelo vertedouro. Esta é uma característica de represas hidrelétricas, que é completamente diferente dos corpos d'água naturais, tais como lagos de várzea, que são fontes globalmente significativas de CH<sub>4</sub> apenas com emissões de superfície. Abrir as

entradas para as turbinas e para o vertedouro é como tirar a tampa do ralo em uma banheira: a água é tirada do fundo, ou pelo menos da porção mais funda (hipolimnion) do reservatório. Debaixo da termoclina a concentração de  $\text{CH}_4$  aumenta à medida que se desce na coluna d'água. Uma observação importante de Petit Saut é que dentro de um mesmo reservatório, a concentração de  $\text{CH}_4$ , em qualquer ponto é aproximadamente constante a qualquer profundidade abaixo da superfície, independentemente da profundidade até o fundo do local em questão (Galy-Lacaux *et al.* 1997). No presente estudo é calculado para cada mês, a profundidade abaixo da superfície dos vertedouros e das entradas das turbinas, para então calcular a concentração de  $\text{CH}_4$  correspondente na água liberada por estas estruturas.

À medida que se desce pela coluna d'água, a pressão aumenta e a temperatura diminui. Ambos os efeitos agem para aumentar a concentração de  $\text{CH}_4$  a profundidades maiores. Pela Lei de Henry, a solubilidade de um gás é diretamente proporcional à pressão, enquanto o Princípio de Le Chatelier reza que a solubilidade de um gás é inversamente proporcional à temperatura. Embora ambos os efeitos sejam importantes, o efeito da pressão predomina (Fearnside 2004). Por exemplo, a pressão seria quase cinco atmosferas aos 48 m de profundidade da entrada das turbinas no nível operacional normal planejado na hidrelétrica de Altamira (Babaquara) (Fearnside 2005c). Quando a água emergir das turbinas, a pressão cai imediatamente para uma atmosfera. Quando a pressão cai são liberados gases dissolvidos, da mesma maneira que bolhas de  $\text{CO}_2$  emergem quando se abre uma garrafa de refrigerante. A facilidade com que cada gás sai da solução é determinada pelo constante da Lei de Henry do gás. Essa constante é mais alta para  $\text{CH}_4$  do que para  $\text{CO}_2$ , fazendo com que, também por esta razão, o metano seja liberado mais prontamente que as bolhas de gás carbônico. Em Petit Saut, por exemplo, a água que entrava nas turbinas em 1995 apresentava uma razão de  $\text{CO}_2$  para  $\text{CH}_4$  de 9:1, mas no ar imediatamente abaixo da barragem, a relação era de 1:1, significando assim que, proporcionalmente, muito mais metano dissolvido é liberado (Galy-Lacaux *et al.* 1997).

### Gás carbônico

Diferente do metano, o gás carbônico é retirado da atmosfera pela fotossíntese quando as plantas crescem. Portanto, o  $\text{CO}_2$  liberado pela

decomposição de biomassa herbácea que cresce no reservatório e na sua zona de deplecionamento não pode ser contado como um impacto no aquecimento global, já que este  $\text{CO}_2$  está sendo apenas reciclado repetidamente, entre a biomassa e a atmosfera. A biomassa nas árvores da floresta que foram mortas quando o reservatório foi criado é uma questão diferente, e o  $\text{CO}_2$  que elas liberam constitui um impacto líquido sobre o efeito estufa. Somente a porção acima d'água desta biomassa se decompõe a uma taxa apreciável.

A biomassa de madeira acima d'água é modelada com algum detalhe, baseado no que é conhecido a partir da experiência em Balbina (que foi enchida ao longo do período 1987-1989). Os troncos das árvores quebram no ponto atingido pelo nível alto da água, deixando tocos projetando fora da água quando o nível cai. Até oito anos depois de serem inundadas, aproximadamente 50% das árvores com diâmetro  $\geq 25$  cm e 90% das árvores com diâmetro  $< 25$  cm tinham quebrados (Walker *et al.* 1999), além disso, os galhos caem continuamente das árvores em pé. Aproximadamente 40% das árvores de terra firme flutuam em água (Fearnside 1997b), as árvores que afundam (as com densidade de madeira  $> 1$  g/cm<sup>3</sup> no estado verde) permanecem onde estão, ou seja, na zona permanentemente inundada ou nas áreas mais rasas que são periodicamente expostas na zona de deplecionamento. Os troncos que flutuam são empurrados pelo vento e pelas ondas até a margem e serão expostas à decomposição aeróbica na zona de deplecionamento quando o nível d'água descer. Os estoques e as taxas de decomposição para cada categoria são calculados. A decomposição aeróbica contribui para a emissão de  $\text{CO}_2$  da biomassa acima da água. Parâmetros para a dinâmica e decomposição aeróbica da biomassa acima d'água são apresentados na Tabela 3.

Outra fonte de emissões é de árvores perto da margem do reservatório, mortas quando o lençol d'água sobe e alcança suas raízes. Em Balbina, uma faixa de árvores mortas é evidente ao redor da margem do reservatório (Walker *et al.* 1999). Porque o formato do contorno da margem é extremamente tortuoso e inclui as margens das muitas ilhas criadas pelo reservatório, esta faixa de mortalidade da floresta afeta uma área significativa. As árvores mortas se decompõem, liberando  $\text{CO}_2$  e, ao longo de um período de décadas, uma floresta secundária se desenvolve, com uma absorção de carbono. A presente análise presume que a mortalidade é de 90% na faixa

**Tabela 3.** Parâmetros para a emissão de gases da biomassa acima da água

Parâmetro	Valor	Unidades	Fonte
Fração acima do solo	0,759	Fração	Fearnside 1997c, pág. 337
Profundidade média da zona de água de superfície	1	metro	Suposição, baseado na deterioração de madeira de valor comercial,
Taxa de decomposição de folhas na zona sazonalmente inundada	-0,5	Fração/ano	Presunção.
Taxa de decomposição acima d'água (0-4 anos)	-0,1680	Fração/ano	Presumido igual que em floresta derrubada (Fearnside 1996, pág. 611)
Taxa de decomposição acima d'água (5-7 anos)	-0,1841	Fração/ano	Presumido igual que em floresta derrubada (Fearnside 1996, pág. 611)
Taxa de decomposição acima d'água (8-10 anos)	-0,0848	Fração/ano	Presumido igual que em floresta derrubada (Fearnside 1996, pág. 611)
Taxa de decomposição acima d'água (>10 anos)	-0,0987	Fração/ano	Presumido igual que em floresta derrubada (Fearnside 1996, pág. 611)
Conteúdo de carbono de madeira	0,50	Fração	Fearnside <i>et al.</i> 1993
Biomassa inicial presente: folhas	2,23	% da biomassa total acima do solo	Fearnside (1995, pág. 12),
Biomassa inicial presente: madeira	89,24	% da biomassa total acima do solo	Fearnside (1995, pág. 12). Para cálculo da parte acima d'água, ver distribuição vertical na mesma fonte.
Liberação de metano por térmitas (cupins) em floresta	0,687	kg CH <sub>4</sub> /ha/ano	Martius <i>et al.</i> 1996, pág. 527
Liberação de metano por térmitas em biomassa acima d'água por Mg C, se deteriorado por térmitas	0,0023	Mg CH <sub>4</sub>	Martius <i>et al.</i> 1993
Percentual de decomposição por ação de térmitas acima do nível d'água máximo operacional normal	4,23	%	Martius <i>et al.</i> 1996, pág. 527 para biomassa derrubada
Percentual de decomposição por ação de térmitas abaixo da linha d'água do nível máximo operacional normal	0	%	Baseado em Walker <i>et al.</i> 1999.
Taxa de quebra de troncos na altura da linha d'água para árvores DAP > 25 cm	0,063	Fração do estoque original/ano	Baseado em Walker <i>et al.</i> 1999, pág. 245
Taxa de troncos que quebram na linha de água para árvores DAP < 25 cm	0,113	Fração do estoque original/ano	Baseado em Walker <i>et al.</i> 1999, pág. 245
Taxa de queda de galhos (e presumida queda de troncos acima do primeiro galho)	0,094	Fração do estoque original/ano	Baseado em Walker <i>et al.</i> 1999, pág. 245
Percentual da biomassa acima do solo de madeira viva em galhos e tronco acima do primeiro galho	30,2	%	Fearnside 1995, pág. 12 baseado em Klinge & Rodrigues 1973
Percentual da biomassa de madeira acima do solo em troncos	69,8	%	Fearnside, 1995, pág. 12 baseado em Klinge & Rodrigues 1973
Percentual da biomassa de tronco DAP > 25 cm	66,0	%	Calculado de Brown & Lugo 1992
10-25 cm DAP como percentual de biomassa de fuste total em árvores vivos DAP > 10 cm	22	%	Brown & Lugo 1992
0-10 cm DAP como percentual de biomassa vivo total acima do solo	12	%	Jordan & Uhl 1978
Tronco como percentual de biomassa total viva acima do solo em árvores vivas DAP > 10 cm	57,47	%	Baseado no fator de expansão de biomassa de 1,74 para biomassa de troncos (fustes) > 190 Mg/ha em árvores vivas de DAP > 10 cm (Brown & Lugo 1992).
Galhos como percentual de biomassa viva de troncos	51,4	%	Baseado em Brown & Lugo 1992
Fração das árvores que flutuam	0,4	Fração	Richard Bruce, comunicação pessoal 1993; veja Fearnside 1997b, pág. 61.
Fração de galhos originais em árvores restantes que caem por ano	0,094	Fração	Calculado de Walker <i>et al.</i> 1999.
Fração média de área de deplecionamento exposta anualmente	0,5	Fração	Estimativa aproximada baseado no nível do reservatório em 2000 em Balbina.

até 50 m além da margem do reservatório e de 70% na faixa entre 50 a 100 m dessa margem. A decomposição segue o mesmo curso que em áreas derrubadas para agricultura, e presume-se que a floresta secundária cresça à mesma taxa que as capoeiras em pousios de agricultura itinerante (Fearnside 2000).

## EMISSIONES DE ECOSISTEMAS PRÉ-REPRESA

As emissões dos ecossistemas presentes antes das represas serem construídas devem ser deduzidas das emissões das represas para se obter uma avaliação justa do impacto líquido do desenvolvimento hidrelétrico. Os parâmetros para emissões de metano pela floresta não inundada (floresta de terra firme) são apresentados na Tabela IV. Estes indicam um efeito mínimo sobre o metano, com a perda de um sumidouro pequeno no solo quando inundado. Emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) em solo florestado não inundado são pequenas: 0,0087 Mg de gás/ha/ano (Verchot *et al.* 1999, pág. 37), ou 0,71 Mg/ha/ano de carbono CO<sub>2</sub>-equivalente, considerando o potencial de aquecimento global de 298 (Forster *et*

*al.* 2007, pág. 212). Cálculos de óxido nitroso para floresta não inundada e para áreas inundadas também são apresentados na Tabela 4. Os parâmetros para os cálculos incluem o efeito da formação de poças temporárias em áreas de terra firme durante eventos periódicos de chuva pesada.

Para áreas inundadas (no ambiente pré-represa), é feita a suposição de que cada ponto inundado é submerso durante dois meses, em média, por ano. Claro que algumas partes da área ficariam submersas mais tempo e algumas durante períodos mais curtos, dependendo da altitude de cada ponto. O valor usado para emissões por hectare (103,8 mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/dia, DP=74,1, variação=7-230) é a média de cinco estudos em floresta de várzea (de água barrenta) revisada por Wassmann e Martius (1997). Um valor semelhante de 112 mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/dia (n=68, DP=261) foi encontrado durante inundações em florestas de igapós (água preta) ao longo do rio Jaú, um afluente do rio Negro. Nas florestas de igapó na bacia do rio Jaú estudadas por Rosenqvist *et al.* (2002, pág. 1323) a taxa de emissão de metano das áreas inundadas é muito mais alta durante o período curto quando o nível d'água está caindo do que durante

**Tabela 4.** Fluxo evitado de metano e fluxo de óxido nitroso da perda de floresta

Item	Valor	Unidades	Fonte
<b>FLUXO DO SOLO EM FLORESTA NÃO INUNDADA</b>			
Absorção anual média de CH <sub>4</sub>	-3,8	kg CH <sub>4</sub> /ha/ano	Potter <i>et al.</i> (1996) de 22 estudos
Emissão anual média de N <sub>2</sub> O		kg N <sub>2</sub> O/ha/ano	Verchot <i>et al.</i> 1999, pág. 37
Fração do ano que a floresta ripária é inundada naturalmente	0,17	Fração	Presumido ser 2 meses, em média
Absorção por ha por ano em floresta ripária	-3,17	kg CH <sub>4</sub> /ha/ano	Proporcional ao tempo não inundado
Emissão por ha por ano em floresta inundada		kg N <sub>2</sub> O/ha/ano	Proporcional ao tempo não inundado
<b>EMISSIONES DE TERMITAS DE FLORESTA</b>			
Emissão/ha/ano	0,5	kg CH <sub>4</sub> /ha/ano	Fearnside 1996
<b>EMISSIONES DE INUNDAÇÃO NATURAL DE FLORESTA INUNDADA PRÉ-REPRESA</b>			
Emissão de metano de floresta inundada durante inundação natural	103,8	mg CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /dia.	Media de cinco estudos em floresta de várzea de água barrenta (Wassmann & Martius 1997, pág. 140)
Emissão de N <sub>2</sub> O quando inundada	7,6	kg N <sub>2</sub> O/km <sup>2</sup> /dia	7.6 mg N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> /dia (médias dos reservatórios de Tucuruí e Samuel: de Lima <i>et al.</i> 2002)
Dias inundados por ano	59,4	dias	Presunção (representa a situação de Babaquara: Fearnside 2005c)
Emissão anual por km <sup>2</sup>	6,2	Mg CH <sub>4</sub> /ano/km <sup>2</sup> .	Calculado a partir de informações acima
<b>EMISSIONES DE EVENTOS PERIÓDICOS DE FORMAÇÃO DE POÇAS EM FLORESTA DE TERRA FIRME</b>			
Formação de poças em florestas de terra firme- porcentagem inundada	5	porcentagem da área que inunda por evento	Baseado em Mori & Becker 1991
Frequência de eventos de formação de poças	5	anos entre eventos	Presunção
Duração de cada evento de formação de poças	30	dias	Presunção
Emissão de CH <sub>4</sub> quando inundado ou com formação de poças	103,8	mg CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /dia.	Presumido ser o mesmo que em floresta de várzea (como acima).
Emissão de N <sub>2</sub> O quando inundado	7,6	kg N <sub>2</sub> O/km <sup>2</sup> /dia	Presumido ser o mesmo que em reservatórios (como acima).



o resto do tempo que a área está debaixo d'água. Isto tenderia a fazer a emissão anual um pouco independente do período de tempo que as áreas são inundadas, e torna o resultado relativamente robusto quando extrapolado para outras bacias hidrográficas na Amazônia se a quantidade emitida é expressa em termos de emissão por ciclo de inundação.

## INCERTEZAS

A magnitude dos picos sazonais altos de  $\text{CH}_4$  depende da relação entre a quantidade de carbono degradável e o estoque (e concentração) de  $\text{CH}_4$  quando estas variáveis estavam em níveis altos nos primeiros anos em Petit Saut (*i.e.*, dados de Galy-Lacaux *et al.* 1997, 1999). A natureza da fonte de carbono em Petit Saut durante esse período era diferente (acredita-se ter sido principalmente carbono do solo). A verdadeira quantidade de carbono degradada anaerobicamente em Petit Saut durante esse período é desconhecida, e, portanto, o escalamento que fornece confiabilidade aos resultados durante os anos iniciais após o enchimento do reservatório (quando as fontes de carbono eram do mesmo tipo) não fornece tanta confiança a estes resultados para os anos posteriores. Quantificar a relação entre a produção de  $\text{CH}_4$  e a quantidade de decomposição de biomassa macia (como as macrófitas e especialmente a vegetação da zona de deplecionamento) deveria ser uma prioridade para pesquisa. No entanto, o resultado geral, isto é, que a vegetação da zona de deplecionamento produz um pulso grande e renovável de  $\text{CH}_4$  dissolvido em reservatórios, explica o padrão observado em reservatórios reais.

Um caso relevante é a experiência na hidrelétrica de Três Marias, no Estado de Minas Gerais, onde uma flutuação vertical de 9 m no nível da água resultou na exposição e inundação periódica de uma zona de deplecionamento grande, com um pico grande subsequente de emissões de metano pela superfície do lago (Bodhan Matvienko, comunicação pessoal 2000). Até mesmo em idade muito avançada de 36 anos, o reservatório de Três Marias emite metano por borbulhamento em quantidades que excedem em muito as emissões de superfície de todos os outros reservatórios brasileiros que foram estudados, inclusive Tucuruí, Samuel e Balbina (Rosa *et al.* 2002, pág. 72). Um fator adicional no caso de Três Marias pode ser escoamento a partir de plantações de cana de açúcar, em parte da margem. Adubos presentes na água de escoamento, ou efluentes do processamento,

provocam eutroficação e conseqüente fixação de carbono atmosférico por fotossíntese de algas e outras plantas no reservatório. Deve ser mencionado que, na medida que essa fonte contribui com a emissão de metano observado no reservatório, diminui o benefício de mitigação de aquecimento global fornecido pelo etanol produzido da cana.

Um segundo caso que segue o padrão previsto pelo modelo é a hidrelétrica de Petit Saut. Presumindo que a fonte de carbono seria o estoque inicial presente no solo, a previsão era para uma emissão declinante até níveis muito baixos que caracterizaram um reservatório velho estudado na África (Galy-Lacaux *et al.* 1999, pág. 508). A amplitude das oscilações anuais de emissões seria reduzida ao longo do tempo até magnitudes muito pequenas. No entanto, medidas da concentração de  $\text{CH}_4$  na água ao longo dos primeiros 10 anos em Petit Saut mostraram um padrão diferente, com a continuação de grandes oscilações e os picos se mantendo altos (Ver Abril *et al.* 2005, pág. 6). Isto é mais consistente com uma fonte renovável de carbono, como a vegetação da zona de deplecionamento considerada no atual trabalho.

Um terceiro caso, também consistente com o atual modelo, é o da hidrelétrica de Balbina. Este tem uma grande zona de deplecionamento devido à topografia relativamente plana do reservatório (Feitosa *et al.* 2007). A concentração de metano a uma profundidade de 30 m sobe a valores altos durante os meses de nível de água mais alto no reservatório (julho-agosto) (Kemenes *et al.* 2007). Isto é consistente com uma fonte de carbono da inundação da vegetação na zona de deplecionamento.

## CONCLUSÕES

As relações derivadas aqui fornecem um arcabouço para avaliar as emissões de gases de efeito estufa liberados por represas hidrelétricas existentes e planejadas na Amazônia brasileira. Muitas das informações também podem ser aplicadas a outras áreas tropicais, embora serão maiores as incertezas e as necessidades de informações adicionais específicas a cada local. O arcabouço proposto aqui permite o cálculo das emissões líquidas das fontes principais de emissões, tais como os fluxos de metano pela superfície do lago por borbulhamento e difusão e pela água que passa nas turbinas e vertedouros, e a emissão de gás carbônico da decomposição acima d'água da biomassa da floresta original. Estes cálculos

indicam liberações significativas de gases de efeito estufa. Embora essas emissões sejam maiores nos primeiros anos após a formação de um reservatório, a entrada contínua de carbono no reservatório por meio da decomposição da vegetação herbácea na zona de deplecionamento quando inundada anualmente, indica que um nível apreciável de emissões será sustentado a longo prazo. Esta emissão se deve ao fato das hidrelétricas funcionarem como “fábricas de metano”, na transformação de carbono em CH<sub>4</sub> a partir da matéria orgânica presente ou aportada para o reservatório e do CO<sub>2</sub> retirado da atmosfera pela fotossíntese no reservatório e na sua zona de deplecionamento.

## AGRADECIMENTOS

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 470765/01-1; 305880/2007-1; 306031/2004-3, 557152/2005-4, 420199/2005-5, 474548/2006-6; 305880/2007-1), e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA: PRJ02.12; PPI 1-3620) contribuíram com apoio financeiro. Este trabalho é atualizado a partir de um cálculo de emissões e uma discussão mais ampla sobre as barragens no rio Xingu (Fearnside 2005c). Agradeço a P.M.L.A. Graça, N. Hamada e R.I. Barbosa e dois revisores anônimos pelos comentários. Esta é uma republicação de Fearnside (2008).

## LITERATURA CITADA

- ABE, D.S., ADAMS, D.D., SIDAGIS-GALLI, C., CIMBLERIS, A.P. & TUNDISI, J.G. 2005. Carbon gas cycling in the sediments of Serra da Mesa and Manso reservoirs, central Brazil. *Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie*, 29: 567-572.
- ABRIL, G., GUÉRIN, F., RICHARD, S., DELMAS, R., GALY-LACAUX, C., GOSSE, P., TREMBLAY, A., VARFALVY, L., dos SANTOS, M.A. & MATVIENKO, B. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles*, 19: GB 4007, doi:10.1029/2005GB002457.
- ADAMS, D.D. 2005. Theoretical diffuse flux of greenhouse gases (CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>) at the sediment-water interface of some lakes and reservoirs worldwide as related to their trophic conditions *Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie*, 29: 583-586.
- BROWN, S. & LUGO, A.E. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17(1): 8-18.
- DE LIMA, I.B.T. 2002. *Emissão de metano em reservatórios hidrelétricos amazônicos através de leis de potência*. Tese de doutorado em energia nuclear, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, SP. 108 p.
- DE LIMA, I.B.T. 2005. Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon reservoirs. *Chemosphere*, 59: 1697-1702.
- DE LIMA, I.B.T., VICTORIA, R.L., NOVO, E.M.L.M., FEIGL, B.J., BALLESTER, M.V.R. & OMERIO, J.M. 2002. Methane, carbon dioxide and nitrous oxide emissions from two Amazonian reservoirs during high water table. *Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie*, 28: 438-442.
- DUCHEMIN, É., LUCOTTE, M., CANUEL, R., QUEIROZ, A.G., ALMEIDA, D.C., PEREIRA, H.C. & DEZINCOURT, J. 2000. Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir with those of other reservoirs worldwide. *Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie*, 27: 1391-1395.
- DUMESTRE, J.F., GUEZENEC, J., GALY-LACAUX, C., DELMAS, R., RICHARD, S.A. & LABROUE, L. 1999. Influence of light intensity on methanotrophic bacterial activity in Petit-Saut reservoir, French Guiana. *Applied and Environmental Microbiology*, 65: 534-539.
- FEARNSIDE, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of ‘greenhouse’ gases. *Environmental Conservation*, 22: 7-19.
- FEARNSIDE, P.M. 1996. Amazonia and global warming: Annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil’s Amazon region. Pp. 606-617. In: J. Levine, (ed.), *Biomass Burning and Global Change. Volume 2: Biomass Burning in South America, Southeast Asia and Temperate and Boreal Ecosystems and the Oil Fires of Kuwait*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, E.U.A. 902 p.
- FEARNSIDE, P.M. 1997a. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil’s Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation*, 24: 64-75.
- FEARNSIDE, P.M. 1997b. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia *Forest Ecology and Management*, 90: 59-89.
- FEARNSIDE, P.M. 1997c. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change*, 35: 321-360.
- FEARNSIDE, P.M. 2000. Global warming and tropical land-use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change*, 46: 115-158.
- FEARNSIDE, P.M. 2001. Environmental impacts of Brazil’s Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Management*, 27: 377-396.

- FEARNSIDE, P.M. 2002. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution*, 133: 69-96.
- FEARNSIDE, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source. *Climatic Change*, 66: 1-8.
- FEARNSIDE, P.M. 2005a. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management*, 35: 1-19
- FEARNSIDE, P.M. 2005b. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 10: 675-691.
- FEARNSIDE, P.M. 2005c. Hidrelétricas Planejadas no Rio Xingu como Fontes de Gases do Efeito Estufa: Belo Monte (Kararaô) e Altamira (Babaquara). Pp. 204-241 In: A.O. Sevá Filho, (ed.), *Tenotã-mô: Alertas sobre as conseqüências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu, Pará, Brasil*. International Rivers Network, São Paulo, SP. 344 p.
- FEARNSIDE, P.M. 2006. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Reply to Rosa et al. *Climatic Change*, 75(1-2): 103-109.
- FEARNSIDE, P.M. 2008. Hidrelétricas como “fábricas de metano”: O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. *Oecologia Brasiliensis* 12(1): 100-115. doi: 10.4257/oeco.2008.1201.11
- FEARNSIDE, P.M., LEAL FILHO, N. & FERNANDES, F.M. 1993. Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 98(D9): 16.733-16.743.
- FEITOSA, G.S., GRAÇA, P.M.L.A. & FEARNSIDE, P.M. 2007. Estimativa da zona de deplecionamento da hidrelétrica de Balbina por técnica de sensoriamento remoto. Pp. 6713-6720 In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil 21-26 abril 2007*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP. (<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.15.55/doc/6713-6720.pdf>)
- FORSTER, P & 50 outros. 2007. Changes in Atmospheric Constituents and Radiative Forcing. Pp. 129-234. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller, (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 996 p.
- GALY-LACAUX, C., DELMAS, R., JAMBERT, C., DUMESTRE, J.-F., LABROUE, L., RICHARD, S. & GOSSE, P. 1997. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: A case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles*, 11: 471-483.
- GALY-LACAUX, C., DELMAS, R., KOUADIO, J., RICHARD, S. & GOSSE, P. 1999. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles*, 13: 503-517.
- GUÉRIN, F., ABRIL, G., RICHARD, S., BURBAN, B., REYNOUARD, C., SEYLER, P. & DELMAS, R. 2006. Methane and carbon dioxide emissions from tropical reservoirs: Significance of downstream rivers. *Geophysical Research Letters*, 33, L21407, doi:10.1029/2006GL027929.
- JORDAN, C.T. & UHL, C. 1978. Biomass of a “tierra firme” forest of the Amazon Basin. *Oecologia Plantarum*, 13: 387-400.
- JUNK, W.J. & PIEDADE, M.T.F. 1997. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. Pp. 147-185. In: W.J. Junk, (ed.), *The Central Amazon Floodplain – Ecology of a Pulsing System*. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha. 525 p.
- JUNK, W.J., ROBERTSON, B.A., DARWICH, A.J. & VIEIRA, I. 1981. Investigações limnológicas e ictiológicas em Curuá-Una, a primeira represa hidrelétrica na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 11: 689-716.
- KELLER, M. & STALLARD, R.F. 1994. Methane emission by bubbling from Gatun Lake, Panama. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 99(D4): 8.307-8.319.
- KEMENES, A., FORSBERG, B.R. & MELACK, J.M. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters*, 34: L12809, doi:10.1029/2007GL029479. 55.
- KEMENES, A., FORSBERG, B.R. & MELACK, J.M. 2008. As hidrelétricas e o aquecimento global. *Ciência Hoje*, 41(145): 20-25.
- KLINGE, H. & RODRIGUES, W.A. 1973. Biomass estimation in a central Amazonian rain forest. *Acta Científica Venezolana*, 24: 225-237.
- MARTIUS, C., FEARNSIDE, P.M., BANDEIRA, A.G. & WASSMANN, R. 1996. Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere*, 33: 517-536.
- MARTIUS, C., WASSMANN, R., THEIN, U., BANDEIRA, A.G., RENNENBERG, H., JUNK, W.J. & SEILER, W. 1993. Methane emission from wood-feeding termites in Amazonia. *Chemosphere*, 26: 623-632.
- MELACK, J. & FORSBERG, B.R. 2001. Biogeochemistry of Amazon floodplain lakes and associated watersheds. Pp. 235-274. In: M.E. McClain, R.L. Victoria & J.E. Richey, (eds.), *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*. Oxford University Press, New York, E.U.A. 365 p.
- MORI, S.A. & BECKER, P. 1991. Flooding affects survival of Lecythidaceae in terra firme forest near Manaus, Brazil. *Biotropica*, 23: 87-90.
- PAIVA, M.P. 1977. *The Environmental Impact of Man-Made Lakes in the Amazonian Region of Brazil*. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRÁS), Diretoria de Coordenação, Rio de Janeiro, RJ. 69 p.
- POTTER, C.S., DAVIDSON, E.A. & VERCHOT, L.V. 1996. Estimation of global biogeochemical controls and seasonality on soil methane consumption. *Chemosphere*, 32: 2219-2246.



- RAMASWAMY, V. & 40 outros. 2001. Radiative forcing of climate change. Pp. 349-416. *In*: J.T. Houghton, Y. Ding, D.G. Griggs, M. Noguer, R.J. Van der Linden & D. Xiaosu, (eds.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 944 p.
- RICHEY, J.E., MELACK, J.M., AUFDENKAMPE, A.K., BALLESTER, V.M. & HESS, L.L. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetland as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 416: 617-620.
- ROSA, L.P., DOS SANTOS, M.A., MATVIENKO, B., DOS SANTOS, E.O. & SIKAR, E. 2004. Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions. *Climatic Change*, 66(1-2): 9-21.
- ROSA L.P., DOS SANTOS, M.A., MATVIENKO, B., SIKAR, E., LOURENÇO, R.S.M. & MENEZES, C.F. 2003. Biogenic gas production from major Amazon reservoirs, Brazil. *Hydrological Processes*, 17(7): 1443-1450.
- ROSA, L.P., DOS SANTOS, M.A., TUNDISI, J.G. & SIKAR, B.M. 1997. Measurements of greenhouse gas emissions in Samuel, Tucuruí and Balbina Dams. Pp. 41-55. *In*: L.P. Rosa & M.A. dos Santos, (eds.), *Hydropower Plants and Greenhouse Gas Emissions*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ. 111 p.
- ROSA, L.P., SIKAR, B.M., DOS SANTOS, M.A. & SIKAR, E.M. 2002. *Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência*. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF. 119 p. [http://www.mct.gov.br/clima/comunic\\_old/pdf/metano\\_p.pdf](http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/pdf/metano_p.pdf)
- ROSENQVEST, A., FORSBERG, B.R., PIMENTEL, T.P., RAUSCH, Y.A. & RICHEY, J.E. 2002. The use of spaceborne radar data to model inundation patterns and trace gas emissions in the Central Amazon floodplain. *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1303-1328.
- SAINT LOUIS, V.C., KELLY, C., DUCHEMIN, E., RUDD, J.W.M. & ROSENBERG, D.M. 2000. Reservoir surface as sources of greenhouse gases to the atmosphere: A global estimate. *Bioscience*, 20: 766-775.
- SCHIMMEL, D. & 75 outros. 1996. Radiative forcing of climate change. Pp. 65-131. *In*: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell, (eds.), *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 572 p.
- SIKAR, E., SANTOS, M.A., MATVIENKO, B., SILVA, M.B., ROCHA, C.H., SANTOS, E., BENTES JUNIOR, A.P. & ROSA, L.P. 2005. Greenhouse gases and initial findings on the carbon circulation in two reservoirs and their watersheds. *Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie* 29: 573-576.
- TRUMBORE, S.E., BONANI, G. & WÖLFLI, W. 1990. The rates of carbon cycling in several soils from AMS <sup>14</sup>C measurements of fractionated soil organic matter. Pp. 407-414. *In*: A.F. Bouman, (ed.), *Soils and the Greenhouse Effect*. John Wiley & Sons, New York, E.U.A. 575 p.
- VERCHOT, L.V., DAVIDSON, E.A., CATTÂNIO, J.H. AKERMAN, I.L., ERICKSON, H.E. & KELLER, M. 1999. Land use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 13: 31-46.
- VIEIRA, I. 1982. *Aspectos Sinecológicos da Ictiofauna de Curuá-Úna, Represa Hidroelétrica da Amazônia Brasileira*. Tese de livre docencia em biologia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG. 107 p.
- WALKER, I., MIYAI, R. & de MELO, M.D.A. 1999. Observations on aquatic macrophyte dynamics in the reservoir of the Balbina hydroelectric powerplant, Amazonas state, Brazil. *Acta Amazonica*, 29: 243-265.
- WASSMANN, R. & MARTIUS, C. 1997. Methane emissions from the Amazon floodplain. Pp. 137-143. *In*: W.J. Junk, (ed.), *The Central Amazon Floodplain – Ecology of a Pulsing System*. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha. 525 p.



# Capítulo 32

---

## **Subestimação das emissões de gases de efeito estufa de represas tropicais**

**Philip M. Fearnside<sup>1</sup> & Salvador Pueyo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Av, André Araújo, 2936, CEP 69,067-375 Manaus, Amazonas, Brasil.

<sup>2</sup>Institut Català de Ciències del Clima (IC3), C / Doctor Trueta 203, 08005 Barcelona, Catalunya, Espanha; endereço atual: Departamento de Ecologia da Universidade de Barcelona, Catalunya, Espanha.

Tradução de:

Fearnside, P.M. & S. Pueyo. 2012. Underestimating greenhouse-gas emissions from tropical dams. *Nature Climate Change* 2(6): 382–384. doi:10.1038/nclimate1540

Emissões de hidrelétricas tropicais são frequentemente subestimadas e podem exceder as dos combustíveis fósseis durante décadas.

Hidrelétricas tropicais, como as da Amazônia, emitem quantidades significativas de gases de efeito estufa, especialmente o metano (Fearnside, 2002, 2009a; Abril *et al.*, 2005; Kemenes *et al.*, 2011). Essas emissões foram subestimadas ou ignoradas em muitas computações de gases-estufa em nível global e nacional. Se qualquer justificativa é dada para omitir todo ou parte dessas emissões, geralmente é que elas são “controversas”, “incertas” ou “sem consenso” (por exemplo, IPCC, 2012, p. 84). No entanto, enquanto a incerteza sobre as quantidades emitidas é substancial (Demarty & Bastien, 2011), precisam ser incluídos em toda a contabilidade com base nos melhores dados e métodos de cálculo disponíveis. Grande parte da variação nas emissões atribuídas a barragens tropicais resulta de omissões e erros na contabilidade, ao invés de ser variação nas medidas físicas (que também estão sujeitas a problemas metodológicos). O fato de que as emissões substanciais estão envolvidas dificilmente pode ser considerado “incerto”, tendo sido medido diretamente em reservatórios como Balbina (no Brasil) (Kemenes *et al.*, 2011), e Petit Saut, (na Guiana Francesa) (Abril *et al.*, 2005). Emissões de barragens são de dois tipos: de superfície do reservatório ou emissões “a montante” e emissões da água que passa pelas turbinas e vertedouros (“desgaseificação” ou emissões “a jusante”). Quando as emissões de barragens não são omitidas completamente, frequentemente são quantificadas considerando apenas as emissões da superfície do reservatório, como é o caso em estimativas da ELETROBRÁS (Brasil, ELETROBRÁS, 2000). O recente relatório especial do IPCC sobre energias renováveis apresenta avaliações do ciclo de vida para várias tecnologias, e para o caso típico (*ou seja.*, o percentil de 50%), as hidrelétricas são indicadas como tendo a metade ou menos do impacto em relação a qualquer outra fonte, incluindo energia do sol, do vento e dos marés (IPCC, 2012, p. 982). A base de dados utilizada para esta classificação otimista não é clara a partir do relatório.

O carbono que é emitido na forma de  $\text{CO}_2$  pode vir de dois tipos de fontes de: 1) fontes fixas que produzem uma emissão de uma só vez, tais como as árvores mortas por alagamento do reservatório e os estoques de carbono no solo (Fig. 1), e 2) de fontes renováveis, tais como o carbono que é retirado da atmosfera através da fotossíntese por macrófitas

(plantas aquáticas), o fitoplâncton ou algas no reservatório, árvores na bacia que produzem serapilheira que é arrastada para o reservatório pela água da chuva, ou vegetação no zona de deplecionamento (a área que é exposta temporariamente cada vez que o nível de água é rebaixado no reservatório). O  $\text{CO}_2$  oriundo de fontes fixas deve ser contado como uma contribuição ao aquecimento global, especialmente decomposição de árvores mortas que ficam projetadas para fora da água em reservatórios amazônicos (mas têm sido frequentemente omitidas). Em contraste, o  $\text{CO}_2$  a partir das fontes renováveis não é uma emissão líquida, sendo que esta quantidade de  $\text{CO}_2$  é exatamente a mesma que foi removida da atmosfera quando a biomassa foi formada (o que não foi incluído na contabilização). Por outro lado, toda a emissão de metano faz uma contribuição líquida para o aquecimento global. A função do reservatório na transformação de  $\text{CO}_2$  em metano de forma renovável dá às hidrelétricas a função de uma “fábrica de metano”, removendo continuamente o carbono da atmosfera, na forma de  $\text{CO}_2$ , e retornando-o na



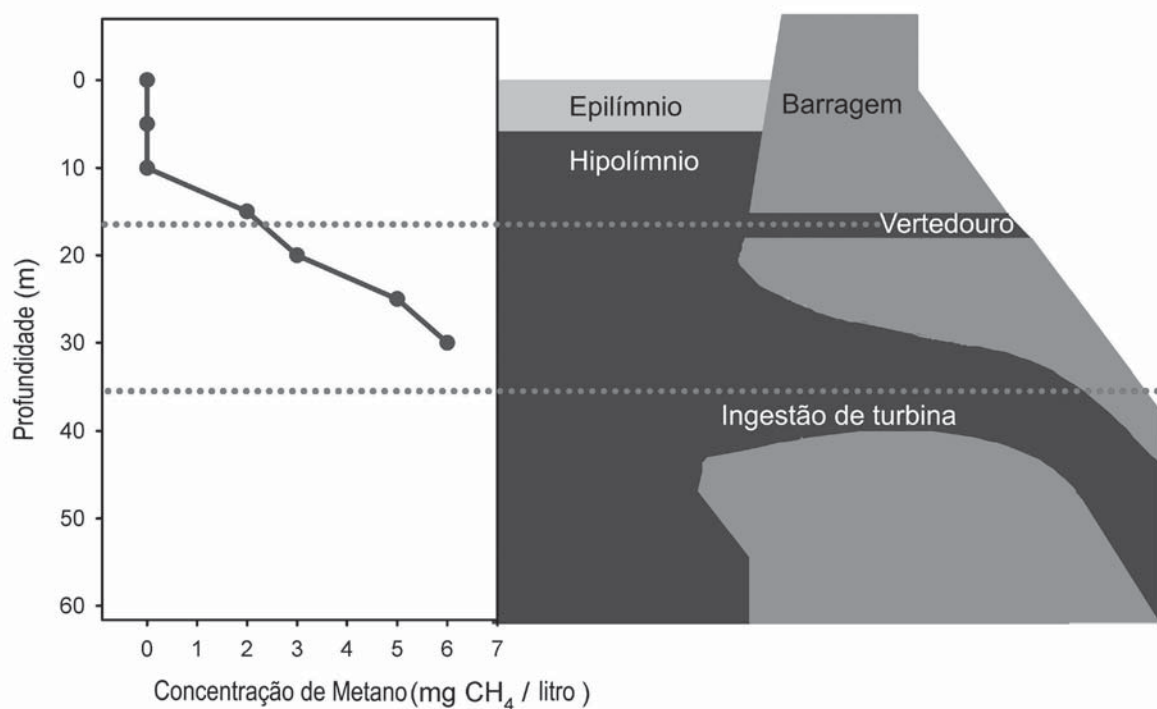
**Figura 1.** As árvores mortas no reservatório de Samuel, em Rondônia. A decomposição das árvores acima da água libera  $\text{CO}_2$  e representa uma fonte fixa (não renovável) de carbono.

forma de  $\text{CH}_4$ , com um impacto muito maior sobre o aquecimento global (Fearnside, 2008). O metano é formado quando a matéria orgânica se decompõe em condições de anoxia, tal como nos sedimentos do fundo de um reservatório. A vegetação mole que cresce quando a zona de rebaixamento é exposta irá decompor sobre condições anóxicas no fundo do reservatório, liberando metano.

A água num reservatório tropical estratifica termicamente, com uma camada de água morna (o epilímnio), nos 2-10 m superiores onde a água está em contato com o ar e que contém oxigênio, e uma camada mais fria (o hipolímnio), na parte inferior, onde qualquer oxigênio se esgota rapidamente e praticamente toda a decomposição produz o metano em vez de  $\text{CO}_2$ . A água que passa pelas turbinas e vertedouros sai a partir da camada inferior (Fig. 2). Emissões a jusante ocorrem quando a água é liberada sobre pressão abaixo da barragem. Assim como bolhas emergem quando é aberta uma garrafa de refrigerante, a liberação de pressão reduz a solubilidade dos gases, fazendo com que as bolhas se formam (lei de Henry) (Fearnside, 2004). Mais

lentamente, o aquecimento da água do rio abaixo da barragem provoca mais liberação. Emissões a jusante foram omitidas em uma série de compilações globais de estimativas de impactos de barragens, tais como as lideradas por St. Louis *et al.* (2002), Batsviken *et al.* (2011) e Barros *et al.* (2011). A proporção da emissão de metano a montante e a jusante depende da área do reservatório e a magnitude do fluxo do rio: emissão a montante é proporcional à área do reservatório, mas a emissão a jusante é proporcional à vazão do rio. Em Balbina, onde a área do reservatório é extraordinariamente grande (cerca de  $3.000 \text{ km}^2$ ) e a vazão média muito pequena ( $657 \text{ m}^3/\text{s}$ ), cerca da metade (53%) da emissão de metano é a jusante<sup>13</sup>. Em Tucuruí, com aproximadamente a mesma área como reservatório, mas com 17 vezes mais vazão que em Balbina, as emissões a jusante representam 88-93% do  $\text{CH}_4$  (Fearnside, 2002, p. 85).

Quando as emissões a jusante são incluídas nas estimativas, frequentemente têm sido subestimadas por métodos que deixam passar uma porção maior da emissão sem ser medida. Grande parte



**Figura 2.** Água rica em metano é extraída a partir de baixo da termoclina que divide a coluna de água em uma camada superficial (o epilímnio) e uma camada inferior anóxica (o hipolímnio). A termoclina impede que a água fria no fundo do reservatório alcançasse a superfície. Um desenho da barragem de Tucuruí (à direita) mostra as profundidades dos vertedouros e das turbinas no momento da medição de 1989 das concentrações de metano por José Tundisi (à esquerda; dados em 23). O nível da água foi levantado por 2 m adicionais desde 2002. A liberação da pressão e o contato com o ar com uma concentração muito menor de metano, quando a água emerge, permita que esse gás “desgaseifique” para a atmosfera.

do metano é liberado imediatamente, assim que a água emerge das turbinas, e até mesmo dentro das turbinas, fazendo com que estimativas baseadas em medições de fluxo por amostradores que flutuam na superfície da água do rio a alguma distância a jusante (por exemplo, dos Santos *et al.*, 2008), inevitavelmente, perdem muito desta emissão. O único meio prático de evitar esta distorção é calcular a emissão imediata da “degaseificação” a partir da diferença na concentração de  $\text{CH}_4$  na água no reservatório na profundidade da entrada da turbina e na água abaixo da barragem (por exemplo, Fearnside, 2008).

Um fator metodológico que afeta todas as estimativas baseadas em concentração até agora essencialmente duplica a emissão de metano de água que passa através dos vertedouros e turbinas em barragens típicas da Amazônia. O efeito é dependente da profundidade: a concentração de  $\text{CH}_4$  na água ao nível da turbina (normalmente perto do fundo do reservatório) é crítica, e esta concentração tem sido, tradicionalmente, medida na água, que é levada para a superfície em uma garrafa Ruttner, a partir do qual uma amostra é retirada com uma seringa e analisada quimicamente. Qualquer metano que saia da solução enquanto a garrafa está sendo emergida é perdido. Um dispositivo de amostragem apelidado de “garrafa Kemenes” captura e mede esse metano, gerando valores de concentração de  $\text{CH}_4$  a uma profundidade de turbina típica de 30 m que são aproximadamente o dobro daqueles de medições feitas usando garrafas Ruttner. No caso de Balbina, isso resulta em uma emissão média de degaseificação nas turbinas calculada a partir diferença de concentração (usando garrafas Kemenes) que é 116% maior do que a média com base em amostragem simultânea com garrafas Ruttner (Kemenes *et al.*, 2011).

A importância das emissões liberadas imediatamente na saída da turbina é ilustrada pelos resultados em Balbina<sup>2</sup>. Neste caso, a tomada de água das turbinas na barragem inclui uma estrutura em forma de funil, que capta a água na profundidade de 14 a 30 m. Considerando-se as concentrações de  $\text{CH}_4$  integradas ao longo de todo o perfil do hipólímnio, a quantidade liberada a jusante (por ebulição imediata nas turbinas, acrescida por difusão no rio a jusante) seria 2,2 vezes maior do que a emissão pela difusão jusante sozinha se a liberação imediata baseia-se em amostras de garrafa Ruttner, ou 3,4 vezes mais, se for com base em amostras de garrafa Kemenes. Se o cálculo baseia-se na localização da soleira da entrada da turbina a 30 m de profundidade, os multiplicadores

correspondentes seriam 7,8 e 15,6, respectivamente. Em outras palavras, as estimativas de emissões a jusante com base apenas em fluxos capturados por câmaras de superfície no rio a jusante da barragem incluem menos da metade, e, possivelmente, tão pouco quanto um dezesseisavo da emissão real a jusante.

Vários erros matemáticos resultaram pelas autoridades elétricas do Brasil para estimar a magnitude das emissões de superfície dos reservatórios em um nível de apenas um quarto do que deveria ser (ver explicação detalhada em Pueyo & Fearnside, 2011). A ELETROBRÁS calculou as emissões de superfície de  $\text{CH}_4$  por ebulição para cada uma das 217 grandes barragens existentes no Brasil em 2000, através da aplicação de uma correção de lei de potência para uma média dos valores medidos (em  $\text{g/m}^2/\text{d}$ ) baseado em medidas em sete reservatórios (Brasil, ELETROBRÁS, 2000). A lei de potência é usada para capturar o efeito de eventos raros, mas de grande impacto. Por exemplo, no caso de sismos ocorrem muitos pequenos tremores e apenas um pequeno número de grandes terremotos. Usando informações sobre a frequência de terremotos medidos em diferentes magnitudes, pode-se calcular a frequência de terremotos muito maiores que são, inevitavelmente, sub-representados nos dados disponíveis. O mesmo se aplica para as emissões de metano a partir de uma superfície de reservatório, onde a maioria das medições só irá encontrar uma emissão modesta, mas ocorre um pequeno número de eventos de emissão muito grandes. Em outras palavras, corrigindo para estes eventos raros com a lei de potência irá inevitavelmente aumentar a estimativa de emissão acima da média simples de um conjunto de medições. No entanto, o cálculo da ELETROBRÁS contém nada menos que cinco erros matemáticos, incluindo uma mudança de sinal de positivo para negativo (Pueyo & Fearnside, 2011). O cálculo da ELETROBRÁS reduz a estimativa de superfície do reservatório em 76% abaixo da média aritmética simples, enquanto uma correta aplicação da lei de potência para os mesmos dados tornaria a estimativa corrigida 345% maior do que a estimativa ELETROBRÁS (Pueyo & Fearnside, 2011). Reservatórios hidrelétricos no Brasil, em 2000, totalizaram  $33 \times 10^3 \text{ km}^2$ , uma área maior do que a Bélgica. A diferença entre a estimativa ELETROBRÁS da emissão de metano a partir desta superfície ( $0,22 \times 10^6 \text{ t/ano}$ ) e a correção do cálculo ( $0,98 \times 10^6 \text{ t/ano}$ ) é equivalente a  $7,0 \times 10^6 \text{ t}$  de carbono  $\text{CO}_2$ -equivalente por ano, ou uma emissão aproximadamente igual ao da Grande São Paulo



(Pueyo & Fearnside, 2011), se calculado utilizando um potencial de aquecimento global (GWP) de 34 em um horizonte de tempo de 100 anos (Shindell, D. T. *et al.*, 2009). A magnitude da subestimação no cálculo da ELETROBRÁS seria equivalente a  $5,2 \times 10^6$  t de carbono CO<sub>2</sub>-equivalente, se se usa o GWP mais baixo de 25 atualmente adotada pela Convenção do Clima para o período de 2013-2017, mas que omite os efeitos indiretos do metano [Obs. Essa magnitude seria muito maior se considerado o GWP de 86 para 20 anos do quinto relatório de IPCC, liberado em setembro de 2013].

O Plano Decenal de Expansão de Energia, do Ministério das Minas e Energia, abrangendo o período 2011-2020, prevê a construção de mais 48 grandes barragens, dos quais 30 seriam na Amazônia Legal (Brasil, MME, 2011, p. 285). Isto significa a construção de uma barragem a cada quatro meses na Amazônia. A construção de barragens está se deslocando para áreas tropicais em uma escala global, incluindo os planos da ELETROBRÁS para construir mais de uma dezena de barragens no Peru e em outros países da Amazônia. Represas tropicais emitem mais gases de efeito estufa do que as barragens em outras zonas (*e.g.*, Del Sontro *et al.*, 2010; Barros *et al.*, 2011).

Barragens na Amazônia estão sendo promovidas, em parte, com base em um suposto benefício para mitigar o aquecimento global (Brasil, CIMC, 2008, p. 32-33), incluindo a intenção de captação de recursos de mitigação em larga escala no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto (Brasil, CIMC, 2008, p. 118). Infelizmente, estas barragens podem vir a ter emissões cumulativas que excedem os de geração de combustível fóssil, durante períodos que podem se estender por várias décadas, tornando-as indefensáveis com base na mitigação do aquecimento global (Fearnside, 2013). No caso do Brasil, a floresta amazônica está sob risco das consequências do aquecimento global nesta escala de tempo (Fearnside, 2009b). O período de tempo é crítico para lidar com o aquecimento global: barragens produzem uma grande emissão nos primeiros anos, seguido por uma emissão inferior que é mantida indefinidamente, enquanto que a geração a partir de combustíveis fósseis produz emissões a uma taxa constante. A “dívida” de gás de efeito estufa criada pela barragem, nos primeiros anos, quando as emissões são muito mais elevadas do que os da geração de combustíveis fósseis, pode levar décadas para serem compensados depois

das emissões da barragem estabilizarem em um nível inferior ao da geração com combustíveis fósseis (Fearnside, 2009a). As consequências são graves de esperar décadas para começar a efetiva redução das emissões globais.

Controlar o aquecimento global exigirá medidas de mitigação que são suficientes para manter a concentração atmosférica de gases de efeito estufa abaixo de um nível definido como “perigoso”. Todas as emissões devem ser mitigadas, sejam ou não o resultado de ações humanas deliberadas, tais como a construção de represas, e independentemente de se é obrigatório ser informado nos inventários nacionais exigidos pela Convenção de Clima. Se qualquer uma dessas emissões for ignorada ou subestimada, em seguida, as quotas nacionais (quantidades atribuídas) negociados para reduzir as emissões serão insuficientes, e as temperaturas globais continuarão a aumentar, juntamente com todos os impactos que isso implica. Entre as questões a serem enfrentadas está a contagem de todas as emissões de barragens, e a inclusão obrigatória delas nos inventários nacionais. As emissões provenientes de hidrelétricas tropicais significam que esta não é energia “limpa” e que os países precisam se comprometer a fazer cortes mais profundos nas suas emissões de gases de efeito estufa antropogênicos do que eles estavam dispostos a considerar até agora.

## AGRADECIMENTOS

As pesquisas dos autores são financiadas exclusivamente por fontes acadêmicas: Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (proc. 304020/2010-9; 573810/2008-7, 575853/2008-5), pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) (proc. 708565) e pelo INPA (PRJ13.03). SP agradece ao “Centre de Recerca Matemàtica” (CRM) pela hospitalidade durante este trabalho. Agradecemos ao P.M.L.A. Gratos pelos comentários. Esta é uma tradução de Fearnside & Pueyo (2012).

## LITERATURA CITADA

Abril, G., F. Guérin, S. Richard, R. Delmas, C. Galy-Lacaux, P. Gosse, A. Tremblay, L. Varfalvy, M.A. dos Santos & B. Matvienko. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles* 19: GB 4007. doi: 10.1029/2005GB002457

- Barros, N., J.J. Cole, L.J. Tranvik, Y.T. Prairie, D. Bastviken, V.L.M. Huszar, P. del Giorgio & F. Roland. 2011. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nature Geoscience* 4: 593-596. doi: 10.1038/NGEO1211
- Bastviken, D., L.J. Tranvik, J.A. Downing, P.M. Crill & A. Enrich-Prast. 2011. Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink. *Science* 331: 50.
- Brasil, CIMC (Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima). 2008. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC – Brasil*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. 129 p. [Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq\\_climaticas/\\_publicacao/141\\_publicacao07122009030757.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_publicacao/141_publicacao07122009030757.pdf)]
- Brasil, ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras S/A). 2000. Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros: Relatório final. *Relatório Técnico*. ELETROBRÁS, DEA, DEEA, Rio de Janeiro, RJ. 176 p. Disponível em: <http://wwwq2.eletronbras.com/elb/services/eletronbras/ContentManagementPlus/FileDownload.ThrSvc.asp?DocumentID=%7BCAFECBF7-6137-43BC-AAA2-35181AAC0C64%7D&ServiceInstUID=%7B3CF510BA-805E-4235-B078-E9983E86E5E9%7D>.
- Brasil, MME (Ministério de Minas e Energia). 2011. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020*. MME, Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, DF. 2 vols.
- Del Sontro, T., D.F. McGinnis, S. Sobek, I. Ostrovsky & B. Wehrli. 2010. Extreme methane emissions from a Swiss hydropower reservoir: Contribution from bubbling sediments. *Environ. Sci. and Technol.* 44: 241-2425. doi: 10.1021/es9031369
- Demarty, M. & Bastien, J. (2011) GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH<sub>4</sub> emission measurements. *Energy Policy* 39: 4197-4206.
- dos Santos, M.A., L.P. Rosa, B. Matvienko, E.O. dos Santos, C.H.E. D'Almeida Rocha, E. Sikar, M.B. Silva & M.P.B. Ayr Júnior. 2008. Emissões de gases de efeito estufa por reservatórios de hidrelétricas. *Oecologia Brasiliensis* 12(1): 116-129.
- Fearnside, P.M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation* 24(1): 64-75. doi:10.1017/S0376892997000118
- Fearnside, P.M. 2002. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 133(1-4): 69-96.
- Fearnside, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source. *Climatic Change* 66(2-1): 1-8.
- Fearnside, P.M. 2008. Hidrelétricas como "fábricas de metano": O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. *Oecologia Brasiliensis* 12(1): 100-115.
- Fearnside, P.M. 2009a. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. *Novos Cadernos NAEA* 12(2): 5-56.
- Fearnside, P.M. 2009b. A vulnerabilidade da floresta amazônica perante as mudanças climáticas. *Oecologia Australis* 13(4): 609-618. doi: 10.4257/oeco.2009.1304.05
- Fearnside, P.M. 2013. Carbon credit for hydroelectric dams as a source of greenhouse-gas emissions: The example of Brazil's Teles Pires Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18(5): 691-699. doi: 10.1007/s11027-012-9382-6
- Fearnside, P.M. & S. Pueyo. 2012. Underestimating greenhouse-gas emissions from tropical dams. *Nature Climate Change* 2(6): 382-384. doi:10.1038/nclimate1
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2012. *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. O. Edenhofer, R.P. Madruga, Y. Sokona, Kristin Seyboth, P. Eickemeier, P. Matschoss, G. Hansen, S. Kadner, S. Schlomer, T. Zwickel & C. von Stechow (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 1076 p. [[http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_full_report.pdf)]
- Kemenes, A., B.R. Forsberg & J.M. Melack. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters* 34: L12809. doi: 10.1029/2007GL029479. 55.
- Kemenes, A., B.R. Forsberg & J.M. Melack. 2011. CO<sub>2</sub> emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). *Journal of Geophysical Research* 116, G03004, doi: 10.1029/2010JG001465
- Pueyo, S. & P.M. Fearnside. 2011. Emissões de gases de efeito estufa dos reservatórios de hidrelétricas: Implicações de uma lei de potência. *Oecologia Australis* 15(2): 114-127. doi: 10.4257/oeco.2011.1502.02
- Rosa, L.P., M.A. dos Santos, J.G. Tundisi & B.M. Sikar. 1997. Measurements of greenhouse gas emissions in Samuel, Tucuruí and Balbina Dams. p. 41-55. In: L.P. Rosa & M.A. dos Santos (eds.) *Hydropower Plants and Greenhouse Gas Emissions*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ. 111 p.
- Saint Louis, V.C., C. Kelly, E. Duchemin, J.W.M. Rudd & D.M. Rosenberg. 2002. Reservoir surface as sources of greenhouse gases to the atmosphere: a global estimate. *Bioscience* 20: 766-775.
- Shindell, D.T., G. Faluvegi, D.M. Koch, G.A. Schmidt, N. Unger & S.E. Bauer. 2009. Improved attribution of climate forcing to emissions. *Science* 326: 716-718.

# Capítulo 33



## **Emissões de Gases de Efeito Estufa dos Reservatórios de Hidrelétricas: Implicações de uma Lei de Potência**

**Salvador Pueyo<sup>1</sup> & Philip M. Fearnside<sup>2,\*</sup>**

<sup>1</sup> Institut Català de Ciències del Clima (IC3), C/ Doctor Trueta 203, Barcelona, 08005, Catalunya, Espanha;  
endereço atual: Departamento de Ecologia da Universidade de Barcelona, Catalunya, Espanha.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Avenida Andre Araujo, 2936, Manaus, AM, Brasil. CEP: 69067-375.  
Emails: spueyo@ic3.cat, pmfearn@inpa.gov.br

Publicação original:

Pueyo, S. & P.M. Fearnside. 2011. Emissões de gases de efeito estufa dos reservatórios de hidrelétricas: Implicações de uma lei de potência. *Oecologia Australis* 15(2): 114-127. doi: 10.4257/oeco.2011.1502.02

## RESUMO

Hidrelétricas emitem gases de efeito estufa, sobretudo metano ( $\text{CH}_4$ ), formado pela decomposição de matéria orgânica sob condições anóxicas no fundo dos reservatórios. Uma parte do metano é liberada por ebulição e difusão através da superfície do reservatório, enquanto a outra parte é liberada através da água que passa pelas turbinas e pelos vertedouros. A emissão de metano que ocorre a partir da superfície do reservatório tem sido calculada em estimativas do órgão do governo brasileiro responsável pelo planejamento energético. O cálculo oficial usou uma lei de potência, que resultou em uma estimativa de emissão de  $\text{CH}_4$  76% menor do que uma média corrigida “básica” que representa a média aritmética das medidas que serviram como a base do cálculo. Expresso em comparação com o valor oficial, a aproximação da média aritmética é 320% mais alta. Mostramos que o ajuste aplicado aos números oficiais estava baseado em vários erros matemáticos e que o valor real deve ser maior, e não menor, que a média aritmética. Comparamos vários possíveis métodos para gerar uma estimativa “corrigida”, todos com resultados muito acima dos valores oficiais. Um método melhor foi identificado que indica uma emissão de superfície 345% maior que o valor oficial. Para os 33.000  $\text{km}^2$  de reservatórios brasileiros, o impacto total da sub-estimativa das emissões de  $\text{CH}_4$  pela superfície da água dos reservatórios é próxima daquela gerada pela emissão da queima de combustível fóssil na grande São Paulo, enquanto a emissão total das superfícies de reservatório ultrapassa a emissão dessa cidade. Emissões da água que passa pelas turbinas e vertedouros representam um impacto adicional sobre o aquecimento global.

Palavras-Chave: Aquecimento global, Barragens, Brasil, Carbono, Efeito estufa, Metano.

## INTRODUÇÃO

Emissões de gases de efeito estufa de reservatórios, especialmente metano ( $\text{CH}_4$ ), foram identificadas primeiramente por Rudd *et al.* (1993) no Canadá. Desde então, uma sucessão de estudos tem estimado as emissões, com resultados e interpretações bastante variados (ver revisão em Fearnside 2008; ver também Ramos *et al.* 2006, DelSontro *et al.* 2010). Santos *et al.* (2008) publicaram um estudo nesta revista onde argumentaram que emissões

de gases de efeito estufa por hidrelétricas, embora existam, são de magnitude substancialmente menor do que as emissões indicadas por várias estimativas na literatura (ex.: Fearnside 2002, Kemenes *et al.* 2007). As estimativas apresentadas por Santos *et al.* (2008) são as mesmas usadas na publicação da ELETROBRÁS (2000) sobre os totais de emissões de metano das superfícies dos reservatórios do País. Os argumentos de Santos *et al.* (2008) e a sua conclusão geral de que as emissões são pequenas tem sido contestadas ao longo de um extenso debate (ex.: Fearnside 2004, 2006, 2008, 2009). No entanto, uma parte da argumentação de Santos *et al.* (2008) ainda necessita de uma investigação mais aprofundada. Isto é o cálculo que estes autores fazem da emissão de gases por ebulição (borbulhamento) e difusão (emanação) através da superfície dos reservatórios. Santos *et al.* (2008) usaram a distribuição da frequência de diferentes magnitudes de emissão (em  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1} = \text{kg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) nas medidas existentes, juntando as medidas de sete reservatórios brasileiros (Miranda, Três Marias, Barra Bonita, Segredo, Xingó, Samuel e Tucuruí). Esses autores aplicaram o cálculo usando uma lei de potência para ajustar a emissão média estimada **para baixo**, em relação ao valor indicado por uma média simples dos dados mensurados. Aqui, apontamos vários erros nos cálculos de Santos *et al.* (2008), e mostramos que o ajuste deve ser **para cima**, em relação à média simples. Isto implica que há maior impacto das emissões de gases de efeito estufa oriunda dos reservatórios.

Um fenômeno que é caracterizado por muitas ocorrências pequenas e algumas ocorrências grandes, tais como incêndios e terremotos, pode ser melhor representado pela lei de potência do que pela média aritmética das observações. Isto porque qualquer período de amostragem será inadequado para captar os eventos raros de magnitude muito grande. A dificuldade inerente de observar os valores muito grandes logicamente implica que o valor estimado pela lei de potência deva ser maior do que a média aritmética, a magnitude dessa diferença dependendo da distribuição de frequência dos eventos de diferentes tamanhos para cada fenômeno. A lógica da lei de potência, portanto, leva a um ajuste dos valores na direção oposta ao ajuste feito por Santos *et al.* (2008) e ELETROBRÁS (2000) para as emissões das hidrelétricas.



## O CÁLCULO DE SANTOS ET AL. (2008): PROBLEMAS E ALTERNATIVAS

Segundo Santos *et al.* (2008), o uso da média aritmética superestima as emissões da superfície de reservatórios de hidrelétricas. Entretanto, esta conclusão está baseada em erros matemáticos. A justificativa das afirmações de Santos *et al.* (2008) se encontra na tese de Santos (2000), e se repete em ELETROBRÁS (2000). Estes estudos presumem que o conjunto das medidas de emissões em distintos momentos e locais segue uma lei de potência. Para esta distribuição, a densidade de probabilidade  $f$  de uma medida de emissão de  $I \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  será:

$$f(I) \propto I^{-\lambda},$$

onde o expoente  $\lambda$  é uma constante (“ $\propto$ ” significa “proporcional”). Santos *et al.* (2008) presumiram limites mínimo  $I_{\min}$  e máximo  $I_{\max}$  da distribuição. Sendo que qualquer distribuição de probabilidade própria deva cumprir

$$\int_{I_{\min}}^{I_{\max}} f(I) dI = 1 \quad (1),$$

segue que

$$f(I) = \left[ \frac{\lambda - 1}{I_{\min}^{-\lambda+1} - I_{\max}^{-\lambda+1}} \right] I^{-\lambda} \quad (2)$$

(para  $\lambda \neq 1$ ; Pueyo 2007). A média teórica de uma distribuição se define como:

$$\bar{I} = \int_{I_{\min}}^{I_{\max}} If(I) dI \quad (3).$$

No caso da lei de potência, a partir das Eqs. 2 e 3:

$$\bar{I} = \left( \frac{\lambda - 1}{2 - \lambda} \right) \left( \frac{I_{\max}^{2-\lambda} - I_{\min}^{2-\lambda}}{I_{\min}^{-\lambda+1} - I_{\max}^{-\lambda+1}} \right) \quad (4).$$

Santos (2000) seguiu por outra via e chegou a um resultado diferente. No lugar de usar a densidade de probabilidade  $f(I)$  ele usou um número esperado de ocorrências  $N(I)$  para cada  $I$ :

$$N(I) = AI^{-\lambda} \quad (5),$$

onde  $A$  é uma constante.

Este formalismo não representaria nenhum problema se fosse usado corretamente. Partindo de que  $N(I)$  é proporcional a  $f(I)$ , segue das Eqs. 1, 3 e 5 que:

$$\bar{I} = \frac{\int_{I_{\min}}^{I_{\max}} IN(I) dI}{\int_{I_{\min}}^{I_{\max}} N(I) dI}$$

Entretanto, Santos (2000) usou uma expressão diferente:

$$\bar{I}_{Santos1} = \frac{\int_{I_{\min}}^{I_{\max}} IN(I) dN(I)}{\int_{I_{\min}}^{I_{\max}} N(I) dN(I)} \quad (6).$$

**Este é o primeiro erro: por definição, a média das emissões de gases resulta de integrar sobre os valores de emissão  $I$ , não sobre os valores de frequência  $N$ .**

O resultado da Eq. 6 é:

$$\bar{I}_{Santos1} = \frac{2\lambda (I_{\min}^{-2\lambda+1} - I_{\max}^{-2\lambda+1})}{(2\lambda - 1)(I_{\min}^{-2\lambda} - I_{\max}^{-2\lambda})} \quad (7).$$

Santos (2000) considerou que  $I_{\max}^{-2\lambda+1} \rightarrow 0$  e  $I_{\max}^{-2\lambda} \rightarrow 0$ , obtendo

$$\bar{I}_{Santos1} = \frac{2\lambda}{2\lambda - 1} I_{\min} \quad (8).$$

A eliminação de  $I_{\max}$  é aceitável na Eq. 7 (presumindo  $\lambda > 0,5$  e  $I_{\max}/I_{\min}$  possui valor muito grande), enquanto o termo com  $I_{\max}$  tem muito peso na verdadeira expressão da média, Eq. 4 (exceto para  $\lambda > 2$  e  $I_{\max}/I_{\min}$  “grande”; os valores de  $\lambda$  estimados por Santos (2000) foram menores).

**O segundo problema é que, ao fazer os cálculos, Santos (2000) introduziu os valores de  $\lambda$  com o sinal errado.** Assim, o autor implicitamente aplicou a equação:

$$\bar{I}_{Santos2} = \frac{2(-\lambda)}{2(-\lambda) - 1} I_{\min},$$

ou seja

$$\bar{I}_{Santos2} = \frac{2\lambda}{2\lambda + 1} I_{\min} \quad (9).$$

Nem a Eq. 8 encontrada por Santos (2000), nem a Eq. 9 que ele usou implicitamente, tem semelhança com a verdadeira média teórica na Eq. 4. Então, qual é a relação entre a verdadeira média teórica (Eq. 4) e a média amostral? Se atribuímos a  $I_{\max}$  o valor da maior emissão observada, as médias calculadas das duas maneiras devem coincidir, exceto pelo erro amostral inevitável, sem o desvio sistemático. Além do mais, esse erro afeta os dois métodos, uma vez que para aplicar a Eq. 4 deve-se estimar os parâmetros da distribuição. Entretanto, ao aumentar o tamanho da amostra aumenta-se também o maior valor observado, que, por sua vez, subestima o máximo teórico. Este não seria um problema para calcular a média de outras distribuições estatísticas, mas é um problema para a lei de potência (Pueyo 2007), onde os eventos mais extremos representam uma parte muito importante da emissão total. A consequência é que, na maioria dos casos, a média amostral subestima a média real, ao contrário da conclusão de Santos (2000), ELETROBRÁS (2000) e Santos et al. (2008).

Conhecendo as equações corretas, a lei de potência pode ser aplicada aos dados de emissões, mas ainda há outros problemas que devem ser considerados.

Santos (2000) estimou  $\lambda$  com uma regressão simples sobre o histograma com eixos logarítmicos. Este método dá um viés muito grande (Pueyo & Jovani 2006). Alguns procedimentos mais efetivos são: (1) aplicar a regressão sobre os dados agrupados em faixas multiplicativas (Pueyo & Jovani 2006), (2) obter o estimador de máxima verossimilhança (EMV, veja Caixa I), (White et al. 2008) ou (3) métodos bayesianos.

### Caixa I. Abreviações usadas

EMV: estimativa/estimador de máxima verossimilhança. (*maximum likelihood estimator*)

LEN: lei exponencial negativa.

LPGT: lei de Pareto generalizada truncada.

LPT: lei de potência truncada.

LPT-S: lei de potência truncada (com os parâmetros estimados por Santos).

A definição dos limites  $I_{\min}$  e  $I_{\max}$  também não é trivial. Santos (2000) usou o ponto médio da primeira e da última faixa do histograma. Segundo este critério os valores dependem da largura das faixas, que foi uma escolha arbitrária do autor. No caso de  $I_{\min}$ , uma pequena modificação produz uma grande mudança na média estimada: note-se que, na Eq. 4,  $\bar{I} \rightarrow 0$  quando  $I_{\min} \rightarrow 0$  (para  $\lambda > 1$ ). A gama de valores  $[I_{\min}, I_{\max}]$  em que a lei de potência é considerada válida deve estar baseada nos dados, não num critério arbitrário.

Por fim, há o problema dos valores que ficam fora da faixa de validade da lei de potência, que foram desconsiderados por Santos (2000). Nesta distribuição, a máxima concentração de dados está no extremo inferior  $I_{\min}$ , mas  $I_{\min}$  sempre é maior que zero. Provavelmente, existem dados de emissão no intervalo  $0 \leq I < I_{\min}$ . Estes dados também são relevantes para o cálculo da média. Há dois métodos para incorporá-los. O primeiro consiste em analisar separadamente a parte não potencial ( $0 \leq I < I_{\min}$ ) e a parte potencial ( $I_{\min} \leq I \leq I_{\max}$ ). O segundo consiste em usar uma única expressão que represente uma boa aproximação para as duas partes. Por exemplo, Ramos et al. (2006) usaram a lei de Pareto generalizada:

$$\lambda = \frac{1}{\xi} + 1, \quad \varphi = \frac{\sigma}{\xi} \quad (10),$$

Com a reparametrização  $\lambda = \frac{1}{\xi} + 1, \varphi = \frac{\sigma}{\xi}$ , a Eq. 10 se torna:

$$f(I) = (\lambda - 1)\varphi^{-1}(1 + \varphi^{-1}I)^{-\lambda} \quad (11).$$

Para valores grandes, a Eq. 11 corresponde a uma lei de potência:  $(\lambda - 1)\varphi^{-1}(1 + \varphi^{-1}I)^{-\lambda} \rightarrow [(\lambda - 1)\varphi^{-1}]I^{-\lambda}$  para  $I \rightarrow \infty$ .

Para valores pequenos, a lei de Pareto generalizada evita a singularidade que faz com que a lei de potência não possa estender-se a zero:  $\lim_{I \rightarrow 0} f(I) = \infty$  na Eq. 2, enquanto  $f(0) = (\lambda - 1)\varphi^{-1}$  na Eq. 11.

No caso de uma lei de potência com  $\lambda \leq 2, \bar{I} \rightarrow \infty$  quando  $I_{\max} \rightarrow \infty$  na Eq. 2. Por conseguinte, para estes valores de  $\lambda, I_{\max}$  sempre deve ser finito. A mesma regra é válida para a lei de Pareto generalizada. Para  $\lambda \leq 2$  deve-se usar a lei de Pareto generalizada truncada (LPGT):

$$f(I) = \left[ \frac{\lambda - 1}{\varphi(1 + \varphi^{-1}I_{\max})^{-\lambda+1}} \right] (1 + \varphi^{-1}I)^{-\lambda} \quad (12),$$

A partir das Eqs. 1 e 12, a média da LPGT é:

$$\bar{I} = \frac{\left(\frac{\varphi}{2-\lambda}\right) \left[ (1 + \varphi^{-1}I_{\max})^{-\lambda+2} - 1 \right] - I_{\max} (1 + \varphi^{-1}I_{\max})^{-\lambda+1}}{1 - (1 + \varphi^{-1}I_{\max})^{-\lambda+1}} \quad (13),$$

As Eqs. 2 e 13 permitem calcular a média depois de ajustar as respectivas distribuições. Entretanto, qualquer distribuição é uma simplificação da realidade. A média amostral é mais robusta ao não presumir uma distribuição concreta. Santos (2000) utilizou sua fórmula (Eq. 8) para calcular a emissão considerando apenas valores dentro dos limites observados. Mas, para um cálculo restrito a estes limites, o método mais seguro é a média amostral. No entanto, aplicada corretamente, a lei de potência (e a sua generalização na Eq. 11) é útil para dar um passo a frente e inferir os eventos extremos tão infrequentes que, geralmente, não são observados durante a amostragem (Pueyo 2007).

## REFAZENDO OS CÁLCULOS

Para obter uma alternativa às estimativas oficiais atuais, ajustamos diferentes distribuições estatísticas e comparamos as qualidades dos ajustes. A aproximação usada foi frequentista, como a de Santos (2000) e ELETROBRÁS (2000), para não desviar a atenção para o debate frequentista/bayesiano e os detalhes da aproximação bayesiana. Os resultados serviram de base para estimar as emissões médias.

Os parâmetros foram ajustados através da estimativa de máxima verossimilhança (EMV), exceto o ponto de truncagem superior  $I_{\max}$ , em que a EMV apresenta um viés sistemático (Pueyo 2007). Por não ter acesso aos dados originais, desenvolvemos uma versão da EMV que parte dos dados pré-agrupados em faixas (Apêndice). A EMV foi aplicada assumindo o valor de  $I_{\max}$  que chamamos de “básico”, que é o limite superior da faixa superior. Depois foi calculado o valor “extrapolado” de  $I_{\max}$  pelo método de Pueyo (2007), correspondendo a eventos tão extremos que não ficam inclusos na amostra.

As distribuições consideradas foram a lei de potência truncada (LPT), a lei de Pareto generalizada e truncada (LPGT) e a lei exponencial negativa (LEN), além da LPT com os parâmetros estimados por Santos (2000) (LPT-S), no lugar dos

parâmetros estimados por EMV. A LPGT foi estudada ao ser equivalente à LPT exceto no extremo inferior, onde é mais realista como foi explicado na seção anterior. A LEN foi estudada para comparar com uma distribuição também assimétrica, mas com eventos menos extremos do que numa lei de potência (corresponde ao limite  $\zeta \rightarrow 0$  da Eq. 10):

$$f(I) = \sigma^{-1} e^{-I/\sigma} \quad (14)$$

(inicialmente foi considerada uma versão truncada da LEN para que fosse mais comparável com a LPT, mas não levou a nenhuma diferença no resultado porque os limites estimados foram  $I_{\min} = 0$  e  $I_{\max} \rightarrow \infty$ ). As quatro distribuições foram comparadas mediante as razões de verossimilhança.

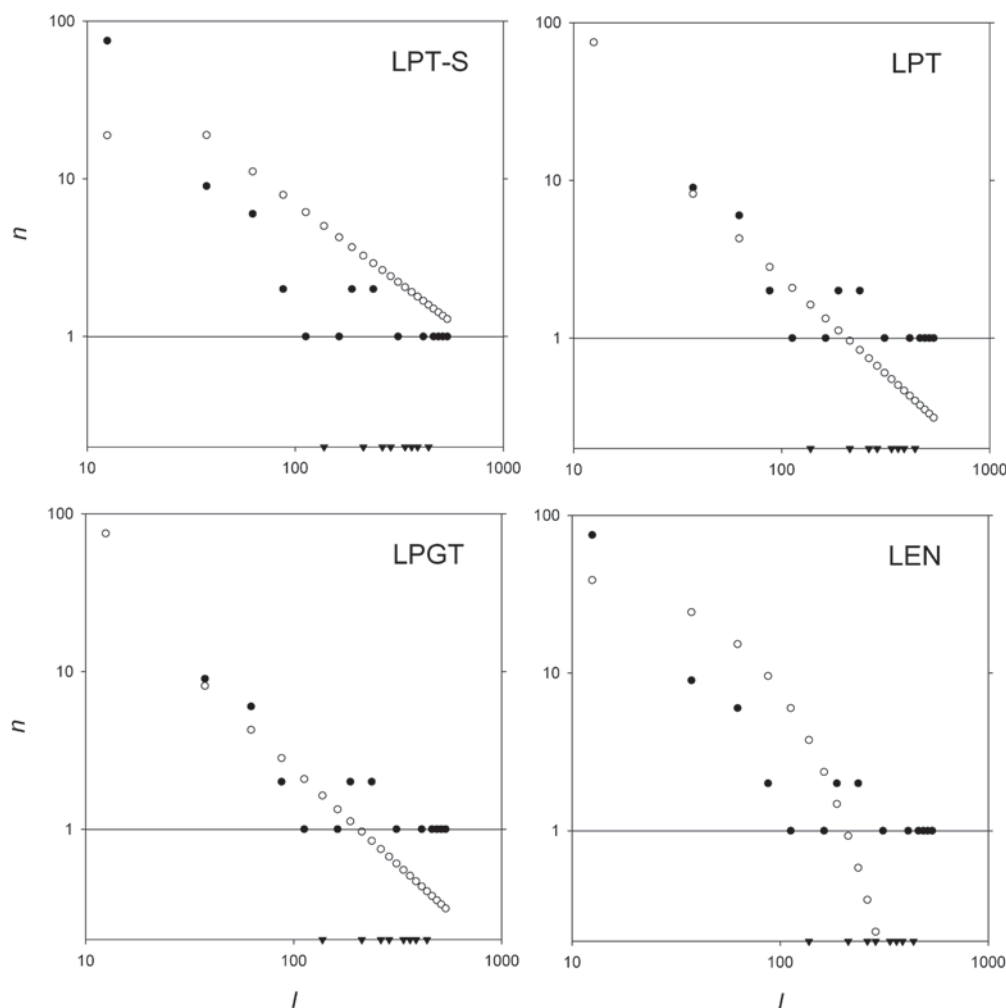
As emissões médias foram calculadas para a LPT e a LPGT. Como já foi argumentado, a média amostral é, provavelmente, o melhor estimador da média real para o  $I_{\max}$  básico, ao não assumir nenhuma distribuição concreta. Esta não pode ser calculada diretamente sem acesso os dados originais, mas pode ser aproximada com a equação:

$$\bar{I} = \sum_j n_j I_j \quad (15),$$

onde  $I_j$  é um valor de emissão representativo da faixa  $j$  e  $n_j$  é o número de dados nesta faixa. A opção mais imediata é atribuir a  $I_j$  o valor central da faixa (método não-paramétrico), mas representa uma sobre-estimativa porque, na lei de potência e distribuições similares, a média dos valores dentro de cada faixa é inferior ao valor central. Para compensar este viés, a Eq. 15 foi aplicada atribuindo a cada  $I_j$  a média da faixa segundo a LPGT (método semi-paramétrico). A média amostral assim reconstruída foi complementada com uma estimativa dos eventos extremos não detectados (usando de novo os parâmetros da LPGT). O Apêndice dá maior detalhe dos métodos.

Os resultados do ajuste das distribuições estão representados nas Figuras. 1-2, que comparam as frequências empíricas com as esperadas segundo cada hipótese, numa escala log-log.

No caso da ebulição, o expoente estimado por EMV foi  $\lambda = 1,21$  para a LPT e a LPGT, enquanto Santos (2000) estimou  $\lambda=0,99$ . Santos assumiu  $I_{\min}=12,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  enquanto o valor estimado por EMV na LPT é  $I_{\min}=0,53 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . O valor estimado para  $\varphi$  (equiparável a  $I_{\min}$ ) na LPGT é  $\varphi = 0,54$



**Figura 1.** Distribuição estatística das emissões de metano por ebulição. As abscissas ( $I$ ) são os valores centrais das faixas de emissão em que estão agrupados os dados, em  $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . As ordenadas ( $n$ ) são o número de dados em cada faixa. Os dois eixos estão em escala logarítmica. Os círculos vazios indicam a frequência teórica segundo cada modelo de distribuição. Os círculos cheios indicam a frequência empírica. Os triângulos cheios sobre o eixo das abscissas identificam as faixas sem nenhum dado. O grau de ajuste é mais difícil de apreciar para as faixas correspondentes a emissões maiores, onde as frequências empíricas são tipicamente 0 ou 1, enquanto as frequências teóricas dos modelos com bom ajuste são valores intermédios entre 0 e 1.

$\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . O limite superior extrapolado é  $I_{\text{max}} = 596 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  para a LPT e a LPGT.

Para a difusão, o expoente estimado por EMV foi  $\lambda = 2,08$  para a LPT e  $\lambda = 2,65$  para a LPGT, enquanto Santos (2000) estimou  $\lambda = 2,00$ . Santos assumiu  $I_{\text{min}} = 12,5 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , enquanto o valor estimado por EMV na LPT é  $I_{\text{min}} = 7,99 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . O valor estimado para  $\phi$  na LPGT é  $\phi = 21,82 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . O limite superior extrapolado é  $I_{\text{max}} = 714 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  para a LPT e  $I_{\text{max}} = 929 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  para a LPGT.

As Tabelas I e II mostram as razões de verossimilhança entre as diferentes distribuições. A LPT e a LPGT têm uma verossimilhança quase igual,

muitas ordens de magnitude acima da verossimilhança da LPT-S e da LEN.

Aplicando a Eq. 9, Santos (2000) obteve emissões médias de  $8,36 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (ebulição) e  $9,93 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (difusão). Aplicando a equação correta (Eq. 4) com os parâmetros que eles estimaram, as médias sobem para  $143 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (ebulição) e  $51,55 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (difusão). Entretanto, aplicando a mesma equação com os parâmetros da LPT estimados por EMV (com o  $I_{\text{max}}$  básico), os resultados são  $44,49 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (ebulição) e  $31,20 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (difusão). No caso da LPGT, os resultados são  $44,33 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (ebulição) e  $27,26 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (difusão). Usando o  $I_{\text{max}}$  extrapolado, a LPT dá  $47,22 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  para a ebulição e  $32,71 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$



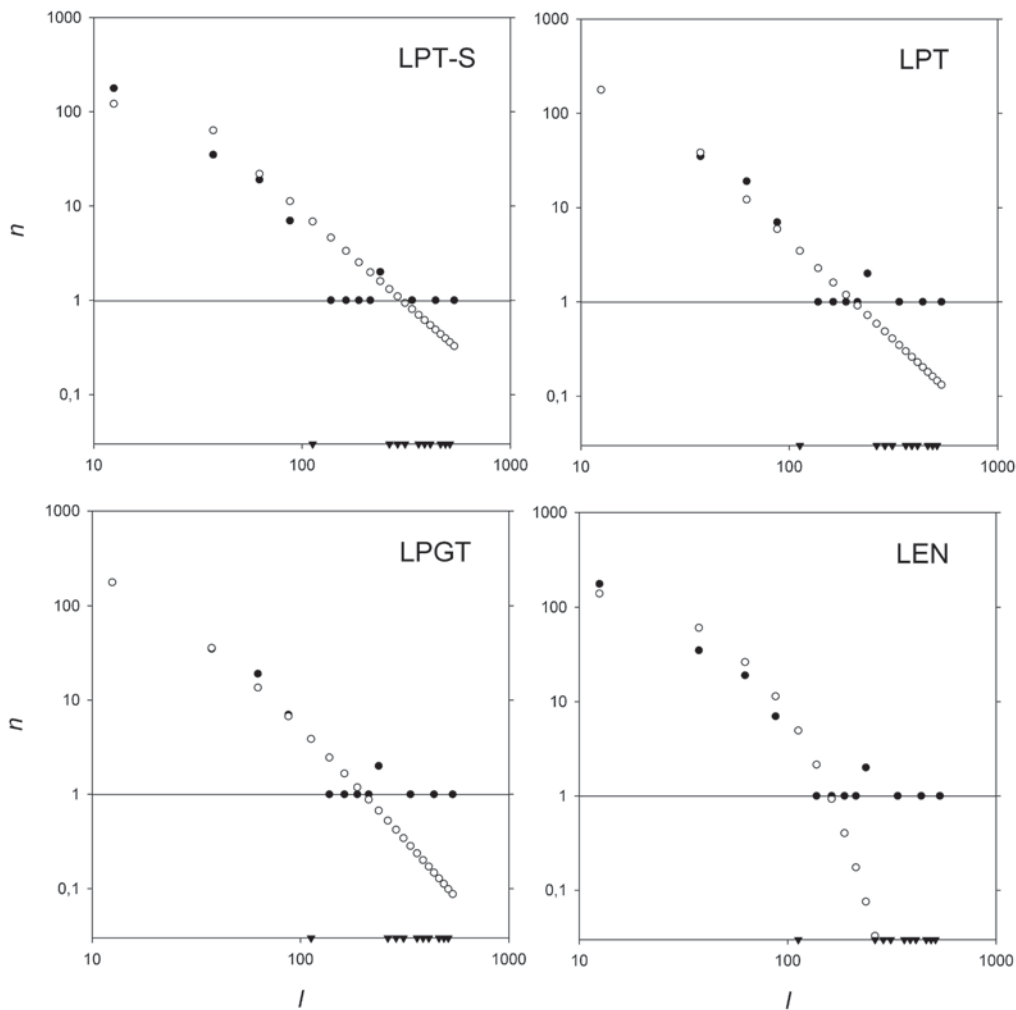


Figura 2. Distribuição estatística das emissões de metano por difusão. Ver a legenda da Figura 1 para detalhes.

Tabela I. Razões de verossimilhança entre as hipóteses consideradas (ebulição)<sup>a</sup>.

	LPT-S	LPT	LPGT	LEN
LPT-S	1,00	$4,15 \times 10^{31}$	$4,09 \times 10^{31}$	$7,66 \times 10^9$
LPT	$2,41 \times 10^{-32}$	1,00	0,99	$1,85 \times 10^{-22}$
LPGT	$2,44 \times 10^{-32}$	1,01	1,00	$1,87 \times 10^{-22}$
LEN	$1,31 \times 10^{-10}$	$5,42 \times 10^{21}$	$5,34 \times 10^{21}$	1,00

<sup>a</sup>Valores maiores que 1 significam que a hipótese da coluna explica os dados melhor do que a hipótese da linha, e vice-versa. Detalhes no Apêndice.

Tabela II. Razões de verossimilhança entre as hipóteses consideradas (difusão)<sup>a</sup>.

	LPT-S	LPT	LPGT	LEN
LPT-S	1,00	$2,19 \times 10^{11}$	$2,23 \times 10^{11}$	$1,43 \times 10^{-5}$
LPT	$4,57 \times 10^{-12}$	1,00	1,02	$6,53 \times 10^{-17}$
LPGT	$4,49 \times 10^{-12}$	0,98	1,00	$6,41 \times 10^{-17}$
LEN	$7,00 \times 10^4$	$1,53 \times 10^{16}$	$1,56 \times 10^{16}$	1,00

<sup>a</sup>Valores maiores que 1 significam que a hipótese da coluna explica os dados melhor do que a hipótese da linha, e vice-versa. Detalhes no Apêndice.

para a difusão, enquanto a LPGT dá  $47,05 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para a ebulição e  $29,03 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para a difusão.

Aplicando o método não-paramétrico, os resultados são  $54,57 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para a ebulição e  $31,63 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para a difusão. O método semi-paramétrico, provavelmente o mais realista, dá  $48,67 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (ebulição) e  $28,21 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (difusão), ou  $76,88 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  no total, ou seja 10,9%, 10,7% e 10,8% mais baixos, respectivamente. Considerando eventos extremos que não foram detectados, as médias sobem moderadamente para  $51,37 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (ebulição),  $29,97 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (difusão) e  $81,34 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  no total, ou seja, aumentos de 5,5%, 5,2% e 5,8%, respectivamente.

Essas análises reforçam a ideia de que as emissões de metano são bem caracterizadas por uma lei de potência. As duas variantes estudadas da lei de potência, a LPT e a LPGT, mostram o mesmo

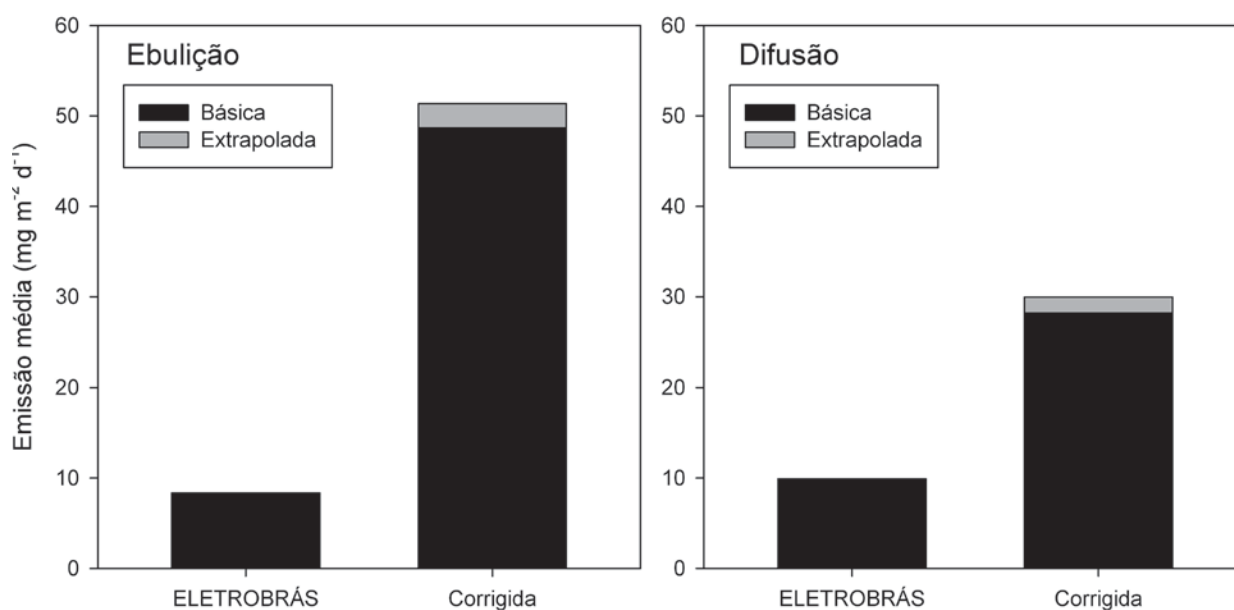
desempenho, mas isso é consequência do uso de dados pré-agrupados em faixas. Acredita-se que a LPGT é mais adequada para dados que não sejam agrupados. Todas as aproximações realistas (LPT com parâmetros estimados por EMV, LPGT com parâmetros estimados por EMV, não-paramétrica e semi-paramétrica) dão valores médios de emissão similares entre eles e claramente superiores aos valores estimados por Santos (2000) e ELETROBRÁS (2000). Enquanto estes trabalhos estimam  $8,36 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para a ebulição e  $9,93 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para a difusão, a nossa melhor estimativa é  $51,37 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para a ebulição e  $29,97 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para a difusão (Figura 3). Comparado às estimativas oficiais, nossa melhor estimativa é 514% maior para ebulição, 202% maior para difusão, e 345% maior para as duas juntas, ou seja, para a emissão total da superfície dos reservatórios (sem considerar o efeito dos números oficiais omitirem as emissões da água que passa pelas turbinas e vertedouros).

## COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Santos *et al.* (2008) mencionaram que o cálculo que utilizaram resultou em um valor menor que a média aritmética simples das medidas de emissão,

mas não mencionaram a magnitude desta diferença. Calculando as emissões das duas maneiras, constata-se que a diferença é enorme (Figura 3 e Tabela III). Essas diferenças existem tanto para  $\text{CO}_2$  quanto para  $\text{CH}_4$ . Embora ELETROBRÁS (2000) e Santos *et al.* (2008) fizeram cálculos para ambos os gases, vamos considerar somente o  $\text{CH}_4$ , que representa um impacto sobre o aquecimento global, pois, no caso de  $\text{CO}_2$  emitido pela água do reservatório, quase a totalidade é oriunda da decomposição de matéria biótica derivada dos produtos de fotossíntese no reservatório ou nos arredores, que retiram da atmosfera a mesma quantidade de  $\text{CO}_2$ . Em contraste, o papel do reservatório em transformar  $\text{CO}_2$  em  $\text{CH}_4$  representa um impacto líquido sobre o aquecimento global (com exceção da pequena parte que representa a ação do carbono que, de outra forma, teria sido emitido em forma de  $\text{CO}_2$ , este impacto evitado sendo contado apenas ao longo dos aproximadamente dez anos que cada molécula de  $\text{CH}_4$  permanece, em média, na atmosfera).

O valor de Santos *et al.* (2008) para emissões de  $\text{CH}_4$  (somando ebulição e difusão) é 78% mais baixo que a nossa melhor estimativa (a média corrigida com ajuste pela lei de potência: Tabela III),



**Figura 3.** Comparação das emissões médias de metano segundo diferentes critérios. O critério “ELETROBRÁS” corresponde a Santos (2000) e ELETROBRÁS (2000) e está baseado em erros matemáticos. A emissão “corrigida” básica é a média amostral dos dados usados nestes mesmos trabalhos (inferida a partir dos dados pré-agrupados em faixas). A emissão “corrigida” extrapolada acrescenta o efeito provável de eventos extremos que não foram incluídos na amostra. A emissão corrigida extrapolada (nossa melhor estimativa) excede o valor “ELETROBRÁS” em 514% para ebulição, em 202% para difusão, e em 345% para a soma das duas.

ou, expresso em relação ao valor de Santos *et al.* (2008), nosso valor é 345% maior. A importância se torna evidente quando aplicado ao conjunto dos reservatórios brasileiros, como foi feito em ELETROBRÁS (2000) usando as equações de Santos (2000). A ELETROBRÁS (2000) fez este cálculo para cada um dos 223 reservatórios no Brasil, totalizando 32.975,48 km<sup>2</sup>, uma área maior que a Bélgica. Quando as emissões de CH<sub>4</sub> assim calculadas são comparadas às emissões calculadas pela nossa melhor estimativa (Tabela IV) a diferença é de 4,4 milhões de toneladas de carbono equivalente ao carbono na forma de CO<sub>2</sub> por ano, quando calculado usando o potencial de aquecimento global (GWP), de 21 para metano que o Protocolo de Kyoto usou para o período 2008-2012. A diferença sobe para 5,2 milhões de toneladas usando o valor de 25 para o GWP, obtida do relatório mais recente do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (Forster *et al.* 2007). A diferença sobe ainda mais, para 7,0 milhões de toneladas quando calculado com um GWP de 34 de um estudo subsequente ao relatório

do IPCC, incorporando efeitos indiretos omitidos nos cálculos anteriores (Shindell *et al.* 2009). Esta diferença está próxima da emissão anual pela queima de combustíveis fósseis na Grande São Paulo. O Município de São Paulo emitiu 4,3 milhões de toneladas de carbono em 2003 com uma população de 10,7 milhões (COPPE 2005). Considerando toda a área metropolitana hoje, a população é aproximadamente o dobro disto, e a emissão presumivelmente em torno de 8 milhões de toneladas de carbono. A emissão das superfícies dos reservatórios das hidrelétricas brasileiras, considerando nossa melhor estimativa (81,4 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) e a estimativa mais recente do GWP de metano (34), já ultrapassa este valor, com 9,08 milhões de toneladas de carbono CO<sub>2</sub>-equivalente por ano.

As emissões da superfície dos reservatórios constituem apenas uma parte do impacto das hidrelétricas sobre o aquecimento global, sendo que, frequentemente, a emissão de metano oriunda da água que passa pelas turbinas e pelos vertedouros mais que duplica o impacto total (ex.: Fearnside 2002, 2009).

**Tabela III.** Comparação dos cálculos de emissões de CH<sub>4</sub> de reservatórios hidrelétricas.

Processo	Valores para emissões ( $\bar{I}$ ) em mg.m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup>				Porcentagem de diferença entre resultados		
	Média corrigida básica <sup>a</sup>	Média corrigida "extrapolada" com a lei de potência	Santos <i>et al.</i> (2008)	Santos <i>et al.</i> (2008) comparado à média corrigida básica	Média corrigida básica comparada a Santos <i>et al.</i> (2008)	Santos <i>et al.</i> (2008) comparado à média corrigida "extrapolada" com a lei de potência	Média corrigida "extrapolada" com a lei de potência comparada a Santos <i>et al.</i> (2008)
Ebulição	48,7	51,4	8,36	-83	+482	-83	+514
Difusão	28,2	30,0	9,93	-65	+184	-67	+202
Total da superfície	76,9	81,4	18,29	-76	+320	-78	+345

<sup>a</sup>Média corrigida pelo método semi-paramétrico (vide Apêndice).

**Tabela IV.** Impacto da emissão de CH<sub>4</sub> da superfície (ebulição + difusão) dos reservatórios brasileiros, calculada por diferentes métodos considerados neste estudo (média corrigida "básica" e média corrigida pela lei de potência), e pelos métodos de Santos *et al.* (2008).

	Média corrigida "básica"	Média corrigida pela lei de potência	Santos <i>et al.</i> (2008)
Emissão (kg km <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	76,9	81,3	18,29
Emissão anual em 32.975,48 km <sup>2</sup> (milhões de toneladas)	0,93	0,98	0,22
Carbono de CO <sub>2</sub> -equivalente <sup>a</sup> , considerando um GWP de CH <sub>4</sub> de 21 <sup>b</sup> (milhões de toneladas ano <sup>-1</sup> )	5,30	5,61	1,26
Carbono de CO <sub>2</sub> -equivalente <sup>a</sup> , considerando um GWP de CH <sub>4</sub> de 25 <sup>c</sup> (milhões de toneladas ano <sup>-1</sup> )	6,31	6,68	1,50
Carbono de CO <sub>2</sub> -equivalente <sup>a</sup> , considerando um GWP de CH <sub>4</sub> de 34 <sup>d</sup> (milhões de toneladas ano <sup>-1</sup> )	8,59	9,08	2,04

<sup>a</sup> O carbono de CO<sub>2</sub>-equivalente é calculado, primeiro, pela multiplicação da emissão de CH<sub>4</sub> (em toneladas de gás) vezes o GWP (*global warming potential* = potencial de aquecimento global) para obter o equivalente em toneladas de gás de CO<sub>2</sub>, e depois é convertido em peso de carbono multiplicando por 12 (peso atômico de carbono) e dividindo por 44 (peso molecular de CO<sub>2</sub>). GWP se refere ao efeito sobre aquecimento causado pela emissão de uma tonelada de gás (neste caso CH<sub>4</sub>) comparado ao impacto de uma tonelada de CO<sub>2</sub>. Assim como no Protocolo de Kyoto, os GWPs usados possuem um horizonte de tempo de 100 anos, sem aplicar uma taxa de desconto para o tempo.

<sup>b</sup> Schimel *et al.* (1996). Valor usado para o primeiro período de compromisso (2008-2012) do Protocolo de Kyoto.

<sup>c</sup> Forster *et al.* (2007).

<sup>d</sup> Shindell *et al.* (2009).

## CONCLUSÃO

Os valores oficiais para a emissão de metano da superfície de reservatórios hídrelétricos brasileiros têm subestimado em muito essas emissões. A nossa melhor estimativa é mais de três vezes mais alta. Para os 33.000 km<sup>2</sup> de reservatórios brasileiros, a sub-estimativa das emissões anuais de CH<sub>4</sub> pela superfície da água dos reservatórios nos números oficiais está próxima à emissão da queima de combustível fóssil na região metropolitana de São Paulo. Apenas o impacto das superfícies dos reservatórios no Brasil ultrapassa a emissão da grande São Paulo, e a emissão pela água que passa pelas turbinas e vertedouros (não incluída nos números oficiais) representa um impacto substancial adicional.

## APÊNDICE

Este apêndice adiciona alguns detalhes matemáticos dos métodos usados na seção *Refazendo os cálculos*.

Para estimar os parâmetros, exceto  $I_{\max}$ , e para contrastar as hipóteses, foi usada a função de verossimilhança  $L$ . Esta função se define como

$$L = f(\mathbf{I} | \theta; H_d) \quad (16),$$

onde,  $\mathbf{I}$  é o vetor dos dados,  $\theta$  é o vetor dos parâmetros e  $H_d$  é a hipótese do tipo de distribuição. Neste caso os dados originais não estavam acessíveis diretamente, somente sendo apresentados pré-agrupados em  $K$  faixas. Por conseguinte, a função de verossimilhança usada foi

$$L = f(\mathbf{n} | \theta; H_d) \quad (17),$$

onde  $\mathbf{n}$  é o vetor  $(n_1, \dots, n_j, \dots, n_K)$  do número de dados na faixa  $j$ . Neste caso,  $L$  representa uma distribuição multinomial,

$$L = \frac{N!}{n_1! \dots n_j! \dots n_K!} p_1^{n_1} \dots p_j^{n_j} \dots p_K^{n_K} \quad (18),$$

onde  $N$  é o número total de dados  $N = \sum_{j=1}^K n_j$ ,

e  $p_j(\theta; H_d)$  é a probabilidade esperada de um dado pertencer à faixa  $j$ .

Esta probabilidade tem a seguinte forma para a lei potencial truncada (LPT) (Eq. 2):

$$p_1 = \frac{I_{\min}^{-\lambda+1} - c_1^{-\lambda+1}}{I_{\min}^{-\lambda+1} - I_{\max}^{-\lambda+1}} \quad (19),$$

$$p_j = \frac{c_{j-1}^{-\lambda+1} - c_j^{-\lambda+1}}{I_{\min}^{-\lambda+1} - I_{\max}^{-\lambda+1}}, 1 < j \leq K \quad (20),$$

onde  $c_j$  é o limite superior da faixa  $j$  e assumimos  $I_{\max} = c_K$  (segundo o critério do  $I_{\max}$  básico, descrito embaixo). Para a lei de Pareto generalizada truncada (LPGT):

$$p_j = \frac{(1 + \varphi^{-1} c_{j-1})^{-\lambda+1} - (1 + \varphi^{-1} c_j)^{-\lambda+1}}{1 - (1 + \varphi^{-1} I_{\max})^{-\lambda+1}} \quad (21).$$

Para a lei exponencial negativa (LEN):

$$p_j = e^{-c_{j-1}/\sigma} - e^{-c_j/\sigma}, 1 \leq j \leq K \quad (22).$$

A função  $L$  foi usada para duas finalidades. Primeiro, para ajustar as distribuições calculando o estimador de máxima verossimilhança, que é o vetor de parâmetros  $\theta$  que maximiza  $L$ ; em todos os casos, os parâmetros foram ajustados numericamente. Segundo, esta função foi usada para comparar as diferentes hipóteses mediante a razão de verossimilhança, que se obtém dividindo a  $L$  de uma hipótese pela  $L$  de outra hipótese.

O único parâmetro que não foi ajustado pelo método do EMV foi  $I_{\max}$ . O EMV de  $I_{\max}$  é o maior valor observado, que é sempre uma sub-estimativa do maior valor possível. No trabalho foram considerados dois valores de  $I_{\max}$ . Primeiro, o valor "básico", que foi usado para calcular  $L$ . Consiste no limite superior da faixa superior. Depois de estimar os outros parâmetros da distribuição, foi calculado o valor de  $I_{\max}$  "extrapolado", que é um estimador do verdadeiro  $I_{\max}$  seguindo o método de Pueyo (2007). No caso da LPT,

$$\hat{I}_{\max} = \left( I_{\min}^{-\lambda+1} - 2^{\frac{1}{N}} [I_{\min}^{-\lambda+1} - \max(I)^{-\lambda+1}] \right)^{-\frac{1}{\lambda-1}} \quad (23),$$

onde  $\max(I)$  é o maior valor da amostra. Para os dados pré-agrupados, o valor atribuído a  $\max(I)$  foi o valor central da maior faixa com dados. No caso da LPGT,

$$\hat{I}_{\max} = \varphi \left( 1 - 2^{\frac{1}{N}} [1 - (1 + \varphi^{-1} \max(I))^{-\lambda+1}] \right)^{-\frac{1}{\lambda-1}} - \varphi \quad (24).$$

A média foi estimada para a LPT e a LPGT aplicando as Eqs. 4 e 13. Também foi estimada mediante um método não-paramétrico e um semi-paramétrico, baseados na Eq. 15. No caso do método não-paramétrico, os valores  $I_j$  correspondem ao ponto central de cada faixa,  $I_j = (c_{j-1} + c_j) / 2$ . Para



o método semi-paramétrico,  $I_j$  corresponde ao valor médio esperado da faixa  $j$  segundo a LPGT:

$$I_j = \frac{\left(\frac{\varphi}{2-\lambda}\right) \left[ (1+\varphi^{-1}c_j)^{\lambda+2} - (1+\varphi^{-1}c_{j-1})^{\lambda+2} \right] - c_j (1+\varphi^{-1}c_j)^{\lambda+1} + c_{j-1} (1+\varphi^{-1}c_{j-1})^{\lambda+1}}{(1+\varphi^{-1}c_{j-1})^{\lambda+1} - (1+\varphi^{-1}c_j)^{\lambda+1}} \quad (25).$$

## AGRADECIMENTOS

Ao Ministério de Ciência e Tecnologia: Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq (Proc.573810/2008-7, 305880/2007-1). Agradecemos P.M.L.A. Graça, S. Couceiro e dois revisores anônimos por seus comentários. Esta é uma republicação de Pueyo & Fearnside (2011).

## LITERATURA CITADA

- COPPE (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia). 2005. Inventário de emissões de gases de efeito estufa do município de São Paulo: Síntese. *Relatório Técnico*. Centro Clima/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 20p. <[http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/meio\\_ambiente/Sintesedoinventario.pdf](http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/meio_ambiente/Sintesedoinventario.pdf)>. (Acesso em 05/03/2010).
- DelSONTRO, T.; MCGINNIS, D.F.; SOBEK, S.; OSTROVSKY, I. & WEHRLI, B. 2010. extreme methane emissions from a Swiss hydropower reservoir: contribution from bubbling sediments. *Environmental Science and Technology*, 44, 2419–2425
- ELETOBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras S/A). 2000. Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros: relatório final. *Relatório Técnico*. ELETOBRÁS, DEA, DEEA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 176p. <<http://wwwq2.eletobras.com/elb/services/eletobras/ContentManagementPlus/FileDownload.ThrSvc.asp?DocumentID=%7BCAFECBF7-6137-43BC-AAA2-35181AAC0C64%7D&ServiceInstUID=%7B3CF510BA-805E-4235-B078-E9983E86E5E9%7D>>. (Acesso em 05/03/2010).
- FEARNSIDE, P.M. 2002. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution*, 133(1-4): 69-96.
- FEARNSIDE, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly 'clean' energy source. *Climatic Change*, 66: 1-8.
- FEARNSIDE, P.M. 2006. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: reply to Rosa et al. *Climatic Change*, 75(1-2): 103-109.
- FEARNSIDE, P.M. 2008. Hidrelétricas como "fábricas de metano": O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. *Oecologia Brasiliensis*, 12(1): 100-115.
- FEARNSIDE, P.M. 2009. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. *Novos Cadernos NAEA*, 12(2): 5-56.
- FORSTER, P. & 50 outros. 2007. Changes in atmospheric constituents and radiative forcing. Pp. 129-234. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 996p.
- KEMENES, A.; FORSBERG, B.R. & MELACK, J.M. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters*, 34:L12809, doi: 10.1029/2007GL029479.55.
- PUEYO, S. 2007. Self-organised criticality and the response of wildland fires to climate change. *Climatic Change*, 82: 131-161.
- PUEYO, S. & FEARNSIDE, P.M. 2011. Emissões de gases de efeito estufa dos reservatórios de hidrelétricas: Implicações de uma lei de potência. *Oecologia Australis* 15(2): 114-127. doi: 10.4257/oeco.2011.1502.02
- PUEYO, S. & JOVANI, R. 2006. Comment on "A keystone mutualism drives pattern in a power function". *Science*, 313: 1739c.
- RAMOS, F.M.; LIMA I.B.T.; ROSA R.R.; MAZZI, E.A.; CARVALHO, J.C.; RASERA, M.F.F.L.; OMETTO, J.P.H.B.; ASSIREU, A.T. & STECH, J.L. 2006. Extreme event dynamics in methane ebullition fluxes from tropical reservoirs. *Geophysical Research Letters*, 33:L21404.
- RUDD, J.W.M.; HARRIS, R.; KELLY, C.A. & HECKY, R.E. 1993. Are hydroelectric reservoirs significant sources of greenhouse gases? *Ambio*, 22: 246-248.
- SANTOS, M.A. 2000. Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivadas de hidrelétricas. *Tese de doutorado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 148p. <<http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/masantos.pdf>>. (Acesso em 05/03/2010).
- SANTOS, M.A.; ROSA, L.P.; MATVIENKO, B.; SANTOS, E.O.; D'ALMEIDA ROCHA, C.H.E.; SIKAR, E.; SILVA, M.B. & JUNIOR, A.M.P.B. 2008. Emissões de gases de efeito estufa por reservatórios de hidrelétricas. *Oecologia Brasiliensis*, 12: 116-129.
- SCHIMMEL, D. & 75 outros. 1996. Radiative forcing of climate change. Pp. 65-131. In: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg & K. Maskell. (eds.). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 572p.
- SHINDELL, D.T.; FALUVEGI, G.; KOCH, D.M.; SCHMIDT, G.A.; UNGER, N. & BAUER, S.E. 2009. Improved attribution of climate forcing to emissions. *Science*, 326: 716-718.
- WHITE, E.P.; ENQUIST, B.J. & GREEN, J.L. 2008. On estimating the exponent of power-law frequency distributions. *Ecology*, 89: 905-912.



# Capítulo 34

---

## **Emissões de hidrelétricas tropicais e o IPCC**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2015. Emissions from tropical hydropower and the IPCC. *Environmental Science & Policy* 50: 225-239. doi: 10.1016/j.envsci.2015.03.002

## RESUMO

As emissões de hidrelétricas tropicais são subestimadas em inventários nacionais de gases de efeito estufa no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), dando-lhes um papel em minar a eficácia de limites, ainda não decididos, sobre emissões. As emissões de hidrelétricas tropicais são também em grande parte, deixadas fora do Relatório Especial sobre Fontes Renováveis de Energia e Mitigação das Mudanças Climáticas, do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), e foram excluídas de uma revisão das orientações do IPCC sobre zonas úmidas. O papel das hidrelétricas em inventários de emissões e na mitigação tem sido sistematicamente ignorado.

*Palavras-chave:* Amazônia; aquecimento global; emissões de gases de efeito estufa; hidrelétricas; metano; mitigação

## EMISSIONES DE BARRAGENS TROPICAIS

Barragens da Amazônia produzem gases de efeito estufa, especialmente durante seus primeiros dez anos de operação (e.g., Abril et al., 2005; Delmas et al., 2005; Fearnside, 2002a, 2005a, 2008a, 2009, 2013; Fearnside & Pueyo, 2012; Galy-Lacaux et al., 1997, 1999; Guerin et al., 2006; Gunkel, 2009; Kemenes et al., 2007, 2008, 2011; Pueyo & Fearnside, 2011). Os números publicados para emissões de hidrelétricas variam muito, mas a maior parte desta variação pode ser explicada por diferenças conhecidas entre as barragens em questão, por omissões conhecidas e por problemas na metodologia de medição, particularmente para os valores baixos. A existência de incerteza tem sido usada repetidamente como justificativa para não levar as emissões de hidrelétricas em conta. Entre os exemplos desta prática é o atual conjunto de diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) para os inventários nacionais, que optou por não fornecer valores padrão (*default*) para as grandes fontes de emissões de hidrelétricas através de desgaseificação nas turbinas, de ebulição (bolhas) da superfície do reservatório e de ebulição e difusão no rio a jusante da barragem (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3).

## BARRAGENS NOS RELATÓRIOS E DIRETRIZES DO IPCC

### Relatório especial sobre energias renováveis

O Relatório Especial do IPCC sobre Fontes Renováveis de Energia e a Mitigação da Mudança Climática (IPCC, 2012) resumiu as suas conclusões sobre as emissões de hidrelétricas assim: “atualmente não há consenso sobre se os reservatórios são emissores líquidos ou sumidouros líquidos” (Arvizu et al., 2012, p. 84). O relatório classificou as hidrelétricas como tendo metade ou menos impacto por kWh de eletricidade gerada em comparação a qualquer outra fonte, incluindo eólica e solar (Moomaw et al., 2012, p. 982) (Figura 1). Um fator que pode, em parte, explicar a conclusão do relatório que as hidrelétricas têm emissões muito baixas é a preponderância de locais temperados e boreais entre as barragens existentes. Embora o quadro-resumo indique que três valores foram usados de barragens tropicais, nenhuma das 11 fontes utilizadas no estudo de todas as zonas climáticas (Moomaw et al., 2012, p. 986) parece dizer respeito a represas tropicais (Tabela 1). Apenas uma fonte listada diz respeito ao Brasil (Ribeiro & da Silva, 2010). Esta é uma análise de ciclo de vida da hidrelétrica de Itaipu, que está localizada na fronteira entre Brasil e Paraguai (Figura 2) e não é uma represa tropical. As estimativas de gases de efeito estufa usadas no estudo de Itaipu são os números oficiais que omitem a emissão a partir das turbinas e que subestimam as emissões de superfície do reservatório por um fator de três devido a erros matemáticos (Pueyo & Fearnside, 2011; ver também Fearnside & Pueyo, 2012). Apenas quatro das 11 fontes utilizadas no relatório especial do IPCC são de literatura publicada com avaliação pelos pares (Tabela 1).

A literatura utilizada no relatório especial então é reduzida porque o processo de seleção que foi adotado restringe a consideração para barragens onde as emissões havia sido reportadas de forma “facilmente conversível para a unidade funcional escolhida para este estudo: gramas de CO<sub>2</sub>e por kWh gerado” (Moomaw et al., 2012, p. 981) (ver também crítica por CO2list, 2011, que também lista numerosas omissões nos poucos estudos que foram usados nas estimativas globais do relatório especial). “CO<sub>2</sub>e”, ou “equivalentes de dióxido de carbono”, expressa os impactos sobre o aquecimento global de todos os gases, incluindo o metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), em termos dos pesos de CO<sub>2</sub> que teriam o mesmo efeito, com base



Tabela 1. Trabalhos sobre emissões de hidrelétricas usados no relatório especial do IPCC

Nº Referência	Locais das barragens	Nomes das barragens	Emissões incluídas								Total g de CO <sub>2</sub> e/kWh	Notas		
			Energia e materiais de construção	Perda de carbono da vegetação & solo	Energia e materiais de operação	Superfície do reservatório	Desgaseificação em turbinas e vertedouros	Rio a jusante	Energia e materiais de remoção no fim da vida útil	Liberação de carbono dos sedimentos após o fim da vida útil				
1	Barnthouse et al., 1994	E.U.A.: Estado de Washington	Rocky Creek, Diobsud Creek, Boulder Creek, Jordan Creek, Irene Creek, Jackman Creek	x		x							8,7	(a)
2	Denholm & Kulcinski, 2004	E.U.A.: South Carolina, California, Virginia, Missouri, Colorado, Georgia, Tennessee	Bad Creek, Balsam Meadow, Clarence, Fairfield, Helms, Mt. Elbert, Raccoon Mtn., Rocky Mtn.	x		x							5,6	(b)
3	Dones et al., 2005	Suíça	Dados sobre materiais e energia de “mais de 50 usinas hidrelétricas de reservatório na Suíça”	x	x	x	x				x		3,77	(c)
4	Dones et al., 2007	Suíça	Dados sobre materiais e energia de “mais de 50 usinas hidrelétricas de reservatório na Suíça”	x	x	x	x				x		3,77	(d)
5	Horvath, 2005	U.S.A.: Arizona	Glen Canyon		x							x	35	(e)
6	IEA, 1998	No data on specific dams.												
7	Pacca, 2007	E.U.A.: Arizona, Nevada, North Dakota, South Dakota, Montana	Hoover, Glen Canyon, Garrison, Oahe, Fort Peck, Fort Randall									x	35-380	(f)
8	Rhodes et al., 2000	E.U.A.: Estado de Washington	Chelan	x		x							1,592	(g)
9	Ribeiro & da Silva, 2010	Brasil/Paraguai	Itaipu	x		x	x						4,86	(h)
10	Vattenfall, 2008	Suécia	Seitevare, Harsprånget, Porsi, Boden, Juktan, Umluspen, Stornorrfors, Stalon, Bergforsen, Älvkarleby, Olidan, Hojum, Pamilo, Upperud	x	x	x							4,5	(i)
11	Zhang et al., 2007	China	Baseado em relatórios “nominalmente confidenciais” sobre dois projetos, denominados “A” e “B”.	x		x							25,05	(j)

(a) Projetos são para adição de canais de diversão a pequenas barragens planejadas (emissões de construção de barragem não são incluídas).

(b) Barragens de armazenamento de hidro bombeado (PHS). As emissões dos gases individuais e valores de GWP utilizados para as conversões não são apresentados.

(c) Versão anterior das estimativas em Dones *et al.*, 2007.

(d) Emissões de reservatório “presumidas para condições gerais alpinas” estimadas “utilizando informações limitadas disponíveis sobre lagos naturais suíços” (Dones *et al.*, 2007, p. 10). Emissões para barragens suíças de armazenamento são 4,0 gCO<sub>2</sub>e/kWh (54% da produção total de energia hidrelétrica) e 3,5 gCO<sub>2</sub>e/kWh para usinas a fio d’água (46%). A publicação extrapola a partir de barragens suíças para estimar as emissões para usinas de reservatório em regiões alpinas no resto da Europa (4,5 g CO<sub>2</sub>e/kWh), áreas não-alpinas europeias (10,0 g CO<sub>2</sub>e/kWh) e Finlândia (34,0 gCO<sub>2</sub>e/kWh) e para usinas a fio d’água no resto da Europa (3,5 g CO<sub>2</sub>e/kWh). Valores de GWP são para 100 anos do terceiro relatório de avaliação do IPCC.

(e) Este documento de trabalho não avaliado por pares parece conter erros matemáticos na conversão de CH<sub>4</sub> em CO<sub>2</sub>e; o GWP usado não é apresentado, embora seja descrito como sendo um GWP de 20 anos, mas os cálculos não são reproduzíveis com quaisquer valores do IPCC.

(f) Usa GWPs de 100 anos do terceiro relatório de avaliação do IPCC.

(g) Usa GWPs de 100 anos do primeiro relatório de avaliação do IPCC.

(h) Baseado em 100 anos de vida, a construção + operação liberam 0,132 g CH<sub>4</sub> e 1,56 g CO<sub>2</sub>/kWh, totalizando 4,9 g CO<sub>2</sub>e/kWh, se calculado usando GWPs de 100 anos do quarto relatório de avaliação do IPCC.

(i) A versão de 2011 do relatório (não usada pelo IPCC) eleva esta estimativa para 8,6 g CO<sub>2</sub>e/kWh.

(j) O projeto “A” = 44 g CO<sub>2</sub>e/kWh; Projeto “B” = 6,1 g CO<sub>2</sub>e/kWh.

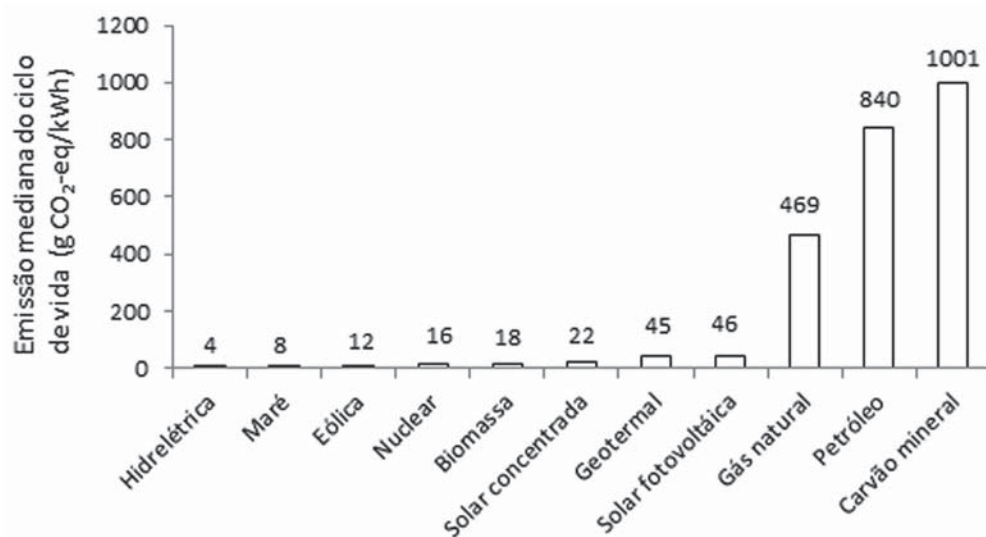


Figura 1. Emissões medianas de ciclo de vida de diferentes fontes de eletricidade, de acordo com o Relatório Especial do IPCC sobre Fontes Renováveis de Energia e Mitigação da Mudança Climática (dados para o percentil 50% de Moomaw et al., 2012, p. 982).

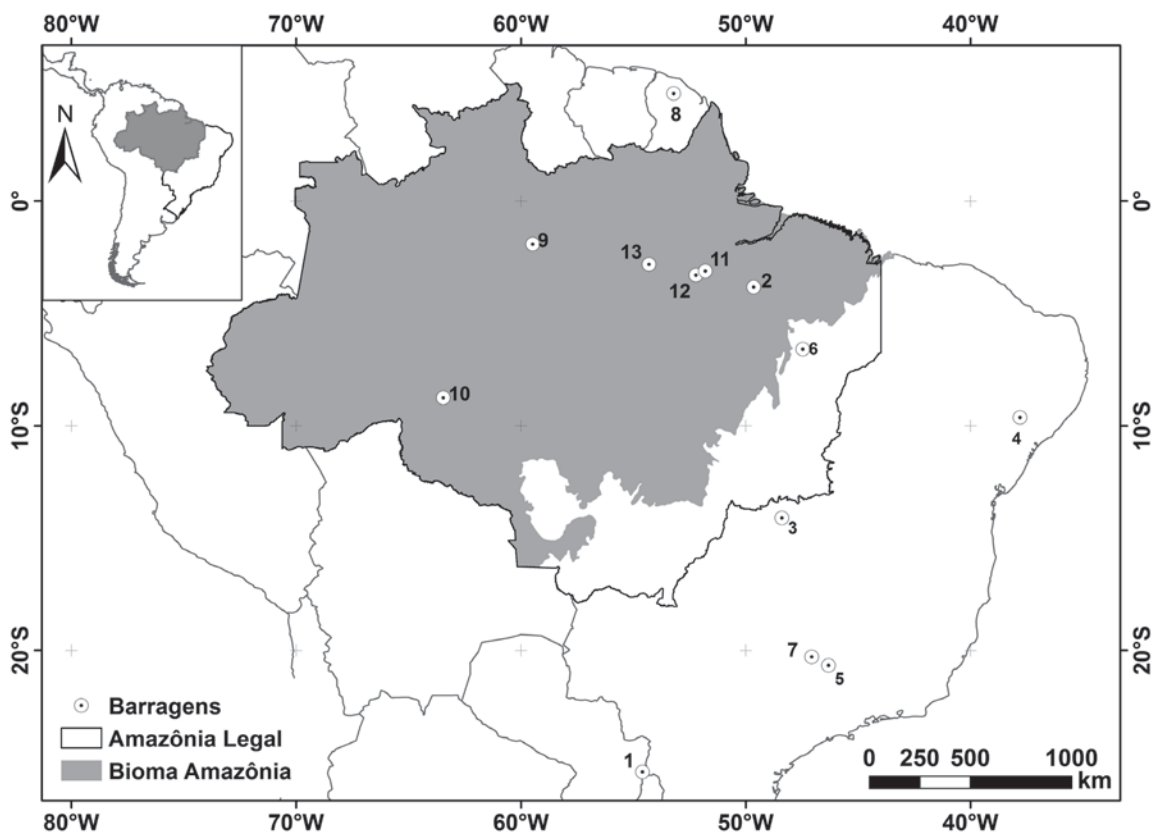


Figura 2. Barragens sul-americanas mencionadas no texto: 1 = Itaipu, 2 = Tucuruí, 3 = Serra da Mesa, 4 = Xingó, 5 = Furnas, 6 = Estreito, 7 = Peixoto, 8 = Petit Saut, 9 = Balbina, 10 = Samuel, 11 = Belo Monte, 12 = Babaquara/Altamira, 13 = Curuá-Una. “Amazônia Legal” e “Bioma Amazônia” do Brasil também são mostrados.

no potencial de aquecimento global (GWP) de cada gás (veja Seção 3.6).

Uma fonte de emissões explicitamente excluída pelos autores do IPCC foi a mudança do uso da terra (Moomaw et al., 2012, p. 981), mas barragens em áreas de floresta tropical, muitas vezes, provocam desmatamento com emissões significativas (e.g., Barreto et al., 2011). Os resultados também tiveram que se encaixar em uma análise de ciclo de vida, e para estes foram usados o relatório especial “da forma publicada”, sem qualquer avaliação de precisão ou padronização, para os estudos que passaram pelos critérios de seleção (Moomaw et al., 2012, p. 980). A maioria dos 11 estudos de hidrelétricas presumiu uma vida útil de 100 anos, um fator que pesa a favor da energia hidrelétrica em cálculos como estes sem nenhum desconto por tempo (ver Seção 3.7). Observe que as análises de ciclo de vida são, muitas vezes, incompletas, com fontes de emissões diferentes sendo omitidas em estudos individuais (Tabela 1). Para inclusão no relatório, os estudos tiveram que incluir pelo menos duas fases do ciclo de vida, mas poderiam omitir outras fases sem quaisquer ajustes para estas omissões (Moomaw et al., 2012, p. 980). Uma fase frequentemente omitida é a desativação de uma barragem no fim da sua vida útil. Justificativas para isso revelam a natureza seletiva das escolhas sobre o valor do tempo: a escolha virtualmente universal da indústria hidrelétrica é de não dar nenhum valor ao tempo, considerando a emissão de uma tonelada de carbono no primeiro ano, por exemplo, ter o mesmo valor que uma tonelada emitida um século no futuro (ver Seção 3.7). Mas, no caso de desmantelamento de uma barragem no final da vida o argumento oposto é usado: por exemplo, o estudo realizado por Denholm & Kulcinski (2004, p. 2158) usado no relatório especial do IPCC afirma que “embora não considerado na presente avaliação, a energia e as emissões relacionadas ao desmantelamento podem potencialmente ser descontadas devido a seus impactos em uma data futura”.

Embora o relatório especial seja dominado por represas não tropicais, a atual expansão de hidrelétricas concentra-se em regiões tropicais como a Amazônia, onde barragens emitem quantidades muito maiores de gases de efeito estufa do que em locais temperados e boreais. Exceções importantes para os trópicos como o local do atual *boom* de construção de barragens são: a China e locais de alta altitude nos Himalaias e Andes. As barragens nos trópicos úmidos dominam no Brasil, onde o Plano

Decenal de Expansão de Energia do país para 2013-2022 prevê 18 “grandes” barragens até 2022 na região da Amazônia Legal (Brasil, MME, 2013). No Brasil, “grandes” barragens são aquelas com mais de 30 MW de potência instalada.

Barragens tropicais, especialmente aquelas nos trópicos úmidos, emitem substancialmente mais gases de efeito estufa do que aquelas em outras zonas climáticas (ver extensa revisão por Barros et al., 2011). Isto se reflete nos estudos de ciclo de vida: uma revisão por Steinhurst et al. (2012) conclui que barragens tropicais emitem 1.300-3.000 g CO<sub>2</sub>e/kWh contra 160-250 g CO<sub>2</sub>e/kWh para barragens boreais, com termelétricas, utilizando gás natural, petróleo e carvão emitindo 400-500, 790-900 e 900-1.200 g CO<sub>2</sub>e/kWh, respectivamente.

Como ilustração, as emissões podem ser calculadas para a barragem de Petit Saut, na Guiana Francesa, que é a barragem tropical mais bem estudada para emissões de gases de efeito estufa. Um cálculo de 20 anos está apresentado na Tabela 2, incluindo uma comparação com a produção da mesma quantidade de eletricidade a partir de uma usina de ciclo combinado a gás natural. O período de 20 anos é o período de tempo relevante para manter a temperatura média global, dentro do limite de 2° C acima da média pré-industrial (ver Seção 3.7). A comparação indica 22 vezes mais emissões (g CO<sub>2</sub>e/kWh) da barragem em comparação com o gás natural, com base em um GWP de 20 anos para a conversão de metano em CO<sub>2</sub>e (ver Seção 3.6). Mesmo se for usado o GWP de 100 anos, a represa tem 19 vezes mais emissões nos primeiros 20 anos.

Dois componentes de impacto líquido da hidrelétrica de Petit Saut são omitidos no cálculo na tabela 2: a perda das emissões do solo sob a floresta natural que é inundada e o acréscimo da emissão do solo na zona de deplecionamento. Petit Saut tem uma zona de deplecionamento de 100 km<sup>2</sup> (Abril et al., 2005, p. 4), ou 18% da área de 560 km<sup>2</sup> de floresta original que foi inundada. A zona de deplecionamento é exposta a cada ano, quando o nível de água no reservatório é abaixado e o solo encharcado pode ser esperada emissão de metano durante parte do ano. Em contraste, solos bem drenados sob florestas tropicais úmidas são geralmente sumidouros de metano em vez de fontes: 22 estudos revisados por Potter et al. (1996) indicam uma absorção média de 3,8 kg CH<sub>4</sub>/ha/ano). Alguma formação de poças ocorre durante a estação chuvosa em florestas tropicais de

**Tabela 2.** Emissões estimadas ao longo de 20 anos para a barragem de Petit Saut, na Guiana Francesa, e comparação com a geração a partir de gás natural.

	CO <sub>2</sub>		N <sub>2</sub> O		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		Total de CO <sub>2</sub> e		Emissões em 20 anos /kWh (b)	
	(Gg CO <sub>2</sub> )	(Gg CH <sub>4</sub> )	(Gg N <sub>2</sub> O)	CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		N <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub>		
				GWP 20 anos (a)	GWP 100 anos (a)	GWP 20 anos (a)	GWP100 anos (a)	GWP 20 anos (a)	GWP 100 anos (a)	GWP 20 anos (a)	GWP 100 anos (a)	
			(Gg CO <sub>2</sub> e)	(Gg CO <sub>2</sub> e)	(Gg CO <sub>2</sub> e)	(Gg CO <sub>2</sub> e)	(Gg CO <sub>2</sub> e)	(Gg CO <sub>2</sub> e)	(g CO <sub>2</sub> e/kWh)	(g CO <sub>2</sub> e/kWh)		
<b>Barragem de Petit Saut</b>												
Construção (c)								277	277	36	36	
Reservatório, degaseificação & a jusante (d)	9,675	693	9	59,598	23,562	2,506	2,515	69,273	33,237	9,112	4,372	
Decomposição das árvores mortas acima da água (e)	9,814	220		18,92	7,48			28,734	17,294	3,78	2,275	
<b>Total</b>	<b>19,489</b>	<b>913</b>	<b>9</b>	<b>78,518</b>	<b>31,042</b>	<b>2,506</b>	<b>2,515</b>	<b>98,285</b>	<b>50,809</b>	<b>12,928</b>	<b>6,683</b>	
<b>Gás natural de ciclo combinado</b>												
Construção (c)	6							6	6	0,8	0,8	
Operação (combustão de combustível) (g)	1.535,40	0,03	0,003	2,6	1	0,8	0,8	1.538,70	1.537,20	202,4	202,2	
Produção de gás (h)		2,14		184	72,7			184	72,7	24,2	9,6	
Processamento de gás, transporte e distribuição (i)					120,7			305,2	120,7	40,1	15,9	
Emissões fugitivas (vazamento de CH <sub>4</sub> ) (j)		27,67		2.379,90	940,9			2.379,90	940,9	313	123,8	
<b>Total</b>	<b>1.541,40</b>	<b>33,39</b>	<b>0,003</b>	<b>2.871,70</b>	<b>1.135,30</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>4.413,90</b>	<b>2.677,50</b>	<b>580,6</b>	<b>352,2</b>	
										<b>22,2673</b>	<b>18,97624</b>	

- (a) CH<sub>4</sub> GWP 20 anos = 86; GWP 100 anos = 34; N<sub>2</sub>O GWP 20 anos = 264; GWP 100 anos = 265 (Myhre *et al.*, 2013, p. 714).  
 (b) Produção de energia de 1994 a 2005 da ADEME Guyane (s/d). Produção de 2006 a 2013 presumido ser igual à média de 2001 a 2005 (416 GWh/ano). Total de vinte anos = 7.602 GWh.  
 (c) Com base de um estudo de cinco barragens propostas no Chile (Burrall *et al.*, 2009); as quantidades são feitas proporcionais ao Petit Saut (560 MW instalado; 7.602 GWh gerados em 20 anos).  
 (d) CH<sub>4</sub> de Delmas *et al.*, 2005, p. 996; ver também Delmas *et al.*, 2001. Medições estendem até 2003 e tendências são extrapoladas pelos autores para os anos subsequentes. N<sub>2</sub>O de Guérin *et al.*, 2008.  
 (e) Com base na estimativa para Petit Saut para 100 anos por Abril *et al.* 2013; aqui, presume-se 2/3 das emissões ocorrem nos primeiros 20 anos, como uma estimativa aproximada com base em Balbina depois de 23 anos (veja Abril *et al.*, 2013).  
 (f) Consumo de gás 561 Gg CH<sub>4</sub>, ou uma entrada de 30,1 × 10<sup>6</sup> GJ em 20 anos (ver nota i). Fator de emissão 15,3 tC/TJ (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.24), fator de conversão 0,0036 MWh/TJ [1 kWh = 3,6 MJ], conteúdo de energia de gás 53,6 MJ/kg (Australian Gas Networks, 2007), fator de emissão de CH<sub>4</sub> para indústrias 1 kg CH<sub>4</sub>/TJ de consumo de energia (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.35). Fator de emissão de N<sub>2</sub>O 0,1 kg/TJ [g/GJ] (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.36). CO<sub>2</sub> da fração de C oxidado de 0,995 (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.8).  
 (g) Produção de gás necessária para fornecer a usina é calculado em 589 Gg CH<sub>4</sub> em 20 anos, com base no consumo de 561 Gg CH<sub>4</sub>, derivado de 53,6 MJ/kg [TJ/Gg] conteúdo de energia de gás (CH<sub>4</sub>) (Australian Gas Networks, 2007) e a fração de C oxidado 0,995 (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.8).  
 (h) Produção de gás necessária para fornecer a planta é calculado em 589 Gg CH<sub>4</sub> em 20 anos, com base no consumo de 561 Gg CH<sub>4</sub>, derivado de 53,6 MJ/kg [TJ/Gg] conteúdo de energia de gás (CH<sub>4</sub>) (Australian Gas Networks, 2007), fração de C oxidado de 0,995 (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.8), eficiência de 57,5% (ponto médio da faixa de valores brasileiros de 55-60% (Corrêa Neto & Tolmasquim, 2001) e geração em 20 anos de 27,4 × 10<sup>6</sup> GJ (1 kWh = 3,6 MJ). Fator de emissão para a produção de gás: 288 × 10<sup>3</sup> kg CH<sub>4</sub>/PJ gás produzido (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.121).  
 (i) Fator de emissão 118 × 10<sup>3</sup> kg CH<sub>4</sub>/PJ de gás consumido (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.121).  
 (j) Com base na estimativa de vazamento de 4,7% no Brasil: dados de Petrobrás de 1999 (dos Santos *et al.*, 2006, p. 486). A produção de gás a qual esta percentagem é aplicada é calculada em 589 Gg CH<sub>4</sub> em 20 anos, com base no consumo de 561 Gg CH<sub>4</sub>, derivado do conteúdo de energia de gás (CH<sub>4</sub>) de 53,6 MJ/kg [TJ/Gg] (Australian Gas Networks, 2007), fração de C oxidado de 0,995 (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.8), eficiência de 57,5% (Neto de Corrêa & Tolmasquim, 2001) e geração em 20 anos de 27,4 × 10<sup>6</sup> GJ (1 kWh = 3,6 MJ).

terra firme, mas a porcentagem de área total não é grande: em florestas perto de Manaus, Brasil, essas áreas representam 5% da superfície inundada em cada evento (Mori & Becker, 1991); no entanto, eventos de inundação não ocorrem todo ano. Delmas *et al.* (2001) dão uma estimativa alta para emissões evitada do solo de floresta; outras estimativas são muito mais baixas (e.g., Fearnside, 2009). Acredita-se que a emissão do solo na zona de deplecionamento seja maior do que a emissão do solo de floresta evitada, fazendo

a Tabela 2 conservadora como estimativa do impacto líquido de Petit Saut.

### Emissões de gases de efeito estufa nos inventários nacionais

As emissões de barragens tropicais representam uma lacuna significativa nos inventários nacionais de gases de efeito estufa compilados para a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Pelas diretrizes do IPCC,



informações para cada item podem ser relatadas em um de três “*tiers*”, ou níveis de complexidade metodológica. Tier 1 é o nível básico, que é projetado de modo que pode ser aplicado por todos os países, incluindo aqueles com poucos dados e pessoal qualificado; Tier 2 é um nível intermediário que permite maior resolução fatores específicos a cada país; Tier 3 é o nível mais alto e oferece flexibilidade para métodos específicos de cada país, incluindo medições diretas e estimativas por modelagem, ou para um maior nível de desagregação. As diretrizes revistas de 1996 (“*1996 revised guidelines*”) do IPCC, que estavam em vigor até o final de 2014 para ambos os países do Anexo I e os não abrangidos pelo Anexo I [ou seja, os países com e sem limites sobre emissões nacionais] omitem inteiramente os reservatórios (IPCC, 1997). As diretrizes do IPCC sobre “boas práticas” (“*good practice guidelines*”), que estavam em vigor o final de 2014 como um suplemento para países do Anexo I, fornecem algumas informações para comunicação voluntária, mas a parte sobre reservatórios (Apêndice 3a.3) é intitulada como uma mera “base para futuro desenvolvimento metodológico” (IPCC, 2003). Este apêndice afirma que “devido à ligação estreita entre as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O e as metodologias, todas as três espécies de gases são tratadas nesta seção e nenhuma distinção para emissões de terras alagadas é feita com base na idade do reservatório” (IPCC, 2003, Apêndice 3a.3, p. 3.286). Isso é estranho, dado que o pico muito grande das emissões de metano nos primeiros anos depois de criar um reservatório dos trópicos já era conhecido há pelo menos uma década na época e havia sido documentado em alguns dos trabalhos citados no relatório. Nenhuma sugestão é feita para relatar as emissões no nível de detalhamento de Tier 1, e o relatório sugere que os países podem desenvolver seus próprios parâmetros se eles desejam relatar nos Tiers 2 ou 3. Intervalos de estimativas publicadas são dadas para difusão e ebulição de CH<sub>4</sub> das superfícies de reservatórios tropicais. Não há comentários sobre as emissões a jusante.

O IPCC produziu um novo conjunto de diretrizes em 2006, que fornece informações para as emissões de reservatório em um apêndice. A 17<sup>a</sup> Conferência das Partes (COP-17), realizada em Durban em 2011, decidiu que as diretrizes de 2006 do IPCC seriam usadas para os inventários nacionais começando em 2015 para os países de Anexo I (Decisão 15/CP.17: UNFCCC, 2012). Para relatar emissões de metano, o Tier 1 é especificado para

incluir apenas as emissões relativamente modestas que ocorrem por meio de difusão da superfície do reservatório. Os países podem optar para relatar as emissões de ebulição das superfícies do reservatório no Tier 2, mas as grandes emissões de metano a partir das turbinas são relatadas somente no Tier 3, raramente utilizado (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3). O apêndice sobre reservatórios nas orientações de 2006 (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3) é identificado como uma atualização das orientações de boas práticas, do IPCC (IPCC, 2003, Apêndice 3a.3), mas nem todas as alterações representam adições: a tabela de dados sobre as emissões de ebulição desapareceu (IPCC, 2003, Apêndice 3a.3, p. 3.290, Tabela 2A.3.4 *versus* IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3, p. Ap.3.5, Tabela 2A.2). A reunião-chave que resultou nesta seção das orientações foi descrita da seguinte maneira por um dos participantes: “a nossa última reunião (Sydney [Austrália], em dezembro passado) foi muito difícil. Conclusão política: Emissões de CO<sub>2</sub> devem permanecer no corpo principal das orientações de 2006 do IPCC, mas o CH<sub>4</sub> será num anexo... as emissões de bolhas e desgaseificação só são consideradas, respectivamente, sob as abordagens dos Níveis 2 e 3. O perito da Hydro-Quebec argumenta que nós não temos conhecimento suficiente para emissões difusivas de CH<sub>4</sub>...” (Duchemin, 2006).

O apêndice (“anexo”) às diretrizes de 2006 do IPCC fornecem um valor padrão (“*default*”) para o fluxo de difusão de metano a partir de superfícies reservatórios tropicais (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3, p. Ap.3.5). Isso é calculado como o valor mediano de uma série de medições publicadas para diferentes reservatórios. A mediana é usada em vez da média, porque a distribuição de valores é altamente distorcida. A mediana é frequentemente usada em vez da média como uma forma de minimizar o efeito de valores “*outlier*” (valores fora da faixa esperada) que são o resultado de erros de medição. No entanto, a distribuição desigual dos valores de fluxo de metano não é o resultado de erro de medição, mas sim uma característica do próprio sistema. Na maioria dos dias, a taxa de emissão será modesta, mas menos frequentemente haverá grandes explosões de emissão. Uma situação similar aplica-se aos dados de diferentes reservatórios. Sendo que o objetivo do valor padrão do IPCC é para a estimativa de um total anual de emissões, a métrica necessária não é aproximada melhor pela mediana, mas sim pela média. Usando uma mediana efetivamente descarta o efeito

dos reservatórios de alta emissão (i.e., casos como Balbina, mesmo se eles tivessem sido incluídos), mas isto não pode ser feito sem enviesar o resultado.

O apêndice das diretrizes do IPCC de 2006 (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3, p. Ap3.5) cita os seguintes documentos como base para seu valor padrão para a difusão de  $\text{CH}_4$  das superfícies de reservatórios nos trópicos úmidos [ou seja, Tier 1]: Abril et al., 2005; de Lima, 2002, 2005; Duchemin et al., 2000; Galy-Lacaux, 1996; Galy-Lacaux et al., 1997; Keller & Stallard, 1994; Rosa et al., 2006a, e Therrien, 2004. Não há valores padrão fornecidos para ebulição [ou seja, Tier 2], mas o apêndice afirma que “informações úteis podem ser obtidas das seguintes referências”: Abril et al., 2005; de Lima, 2002; Delmas et al., 2005; Duchemin, 2000; Duchemin et al., 1995, 1999, 2006; Huttunen et al., 2002; Rosa et al., 1996, 2004; Soumis et al., 2004; Therrien, 2005 (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 2, p. Ap2.2). Nem as referências bibliográficas nem os valores padrão são dados para desgaseificação nas turbinas [ou seja, Tier 3], embora um conselho muito bom e amplamente ignorado (veja Seção 3.3) é dado que “concentrações de  $\text{CH}_4$  a montante e a jusante das barragens seriam necessárias para estimar as emissões a partir da desgaseificação” (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3, p. Ap3.5). Observe-se que nenhum dos documentos listados acima foi usado no relatório especial do IPCC (ver Tabela 1).

O IPCC classifica os reservatórios como “áreas úmidas” (“*wetlands*”), mas uma revisão da seção de áreas úmidas das orientações do IPCC 2006 realizada entre 2011 e 2013 excluiu explicitamente da revisão a parte sobre emissões de reservatórios (IPCC, 2014, p. O.4). Os autores foram instruídos que: “terras alagadas (reservatórios) são especificamente excluídas sendo que a TFI [força tarefa sobre inventários nacionais de gases de efeito estufa] não considera a ciência subjacente a ser suficientemente desenvolvida” (IPCC, 2011, p. 3). Esta posição significa que, na prática, as emissões de hidrelétricas continuarão sendo consideradas como zero ou próximo de zero, apesar de evidências substanciais de que barragens tropicais emitem quantidades significativas de gases de efeito estufa (por exemplo, Abril et al., 2005; Fearnside, 2002a, 2013; Fearnside & Pueyo, 2012; Kemenes et al., 2007). Embora as estimativas das quantidades emitidas sejam sujeitas à incerteza, como é o caso para todas as formas de emissão, a resposta apropriada é de usar os melhores dados científicos disponíveis em cada ponto no

tempo. Se uma posição conservadora é desejada para a formulação de políticas sobre mudança climática, isso significaria usar valores do lado alto das estimativas disponíveis, e não, essencialmente, atribuir um valor de zero para esta fonte.

Como o metano foi relegado a um apêndice nas diretrizes, relatar essas emissões continuará sendo algo voluntário, mesmo após estas diretrizes ter entrado em vigor em 2015 (Mäkinen & Khan, 2010). O resultado será, provavelmente, que as emissões de hidrelétricas tropicais permanecem praticamente ausentes das contas globais.

## RAZÕES PARA EMISSÕES SEREM SUBESTIMADAS

### 1. Turbinas ignoradas

Quando a água é liberada a partir das turbinas está sob pressão considerável – por exemplo, no caso Tucuruí, a pressão é de aproximadamente quatro atmosferas devido ao peso da água no nível das entradas das turbinas (atualmente em 40 m de profundidade), além de uma atmosfera de pressão devido ao peso do ar acima do reservatório. Esta pressão é reduzida de repente para uma atmosfera na hora que a água emerge das turbinas, causando uma imediata emissão de gases. Grande parte desta emissão ocorrerá quase que imediatamente. Muitas estimativas das emissões de hidrelétricas simplesmente ignoram as emissões das turbinas e dos vertedouros, inclusive as estimativas no primeiro inventário nacional do Brasil de emissões de gases de efeito estufa (Brasil, MCT, 2004). O Segundo Inventário Nacional Brasileiro e o relatório sobre emissões que foi lançado como prelúdio ao terceiro inventário nacional ignoraram as emissões de hidrelétricas por completo (Brasil, MCT, 2010; Brasil, MCTI, 2013). A maioria dos outros países também tem ignorado essas emissões, sendo que reportá-las é, atualmente, opcional.

### 2. Árvores ignoradas

Outra fonte de emissão, muitas vezes ignorada é dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da decomposição de madeira de árvores em pé deixadas acima da água no reservatório (por exemplo, nas comparações no relatório especial do IPCC sobre as energias renováveis). Isto pode ser substancial em reservatórios amazônicos (e.g., Abril et al., 2013; Fearnside, 1995, 2009). As emissões provenientes da decomposição

de árvores ocorrem nos primeiros poucos anos da vida do reservatório, fazendo com que esta emissão seja particularmente importante do ponto de vista dos interesses da sociedade humana (veja Seção 3.7).

### 3. Contagem incompleta das emissões a jusante

O que se entende por “emissões a jusante” varia entre autores, o termo às vezes é usado para referir-se à emissão da desgaseificação quando a água emerge das turbinas e para a emissão da superfície da água no rio a jusante da barragem, e, às vezes, o termo é usado somente para o fluxo da superfície do rio a jusante. Medições de fluxo no rio muito abaixo da saída da barragem perderão a maior parte das emissões, que ocorrem predominantemente nos primeiros metros abaixo das turbinas.

Um influente estudo foi realizado por FURNAS (uma empresa que gera 40% de energia elétrica do Brasil, principalmente em barragens fora da Amazônia). A empresa lançou uma constatação de que as barragens são 100 vezes melhores do que os combustíveis fósseis do ponto de vista das emissões de gases de efeito estufa (Garcia, 2007). A omissão das emissões provenientes da desgaseificação nas turbinas e vertedouros é uma das principais razões por que o estudo (Ometto et al., 2011, 2013) produziu valores tão baixos para as emissões. As medições dos fluxos a jusante nas barragens de Serra da Mesa e Xingó começaram 500 m abaixo das barragens (da Silva et al., 2007), enquanto para as barragens de Furnas, Estreito e Peixoto medições começaram 50 m a jusante (dos Santos et al., 2009, p. 835). O estudo FURNAS também encontrou emissões relativamente baixas da superfície do rio, em parte, porque as barragens estudadas estão localizadas no Cerrado, onde se espera que as emissões sejam menores do que na Amazônia. Medições por Guérin et al. (2006) nos rios a jusante de três represas tropicais úmidas (Petit Saut na Guiana Francesa e Balbina e Samuel na Amazônia brasileira) mostraram altas emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) no rio a jusante das barragens, apesar da desgaseificação das turbinas não ter sido incluída.

Obter medições de fluxo próximas às turbinas não é suficiente para uma estimativa confiável das turbinas como fonte de emissões, independente de quão perto se chega para amostrar. A única forma prática para avaliar as emissões provenientes da água que passa através das turbinas é usar medições de concentração em amostras de água colhidas nas

profundidades apropriadas acima e abaixo da barragem e calcular as emissões por diferença. A emissão na saída das turbinas é suficientemente rápida que só haveria um efeito mínimo de bactérias na água para converterem parte do  $\text{CH}_4$  em  $\text{CO}_2$  antes de atingir a atmosfera. Quando os cálculos baseiam-se em diferenças na concentração, a quantidade de metano emitida é grande, levando à conclusão de que as emissões são maiores do que seria liberada por combustíveis fósseis durante um número considerável de anos depois que os reservatórios foram formados. Isto é o caso em várias barragens da Amazônia, tais como Tucuruí (Fearnside, 2002a), Curuá-Una (Fearnside, 2005a), Samuel (Fearnside, 2005b) e Balbina (Kemenes et al., 2007, 2008), bem como para emissões calculadas para projetos planejados, tais como o complexo de Altamira composto pelas barragens de Belo Monte e Babaquara/Altamira (Fearnside, 2009).

Outra maneira em que a contagem das emissões a jusante pode ser incompleta é de cortar a consideração de fluxos, para além de uma determinada distância a jusante, por exemplo, 1 km no estudo de FURNAS (e.g., Ometto et al., 2011). Infelizmente, as emissões continuam além desta distância; elas têm sido medidas nas barragens de Balbina, Samuel e Petit Saut (Gosse et al., 2005; Guérin et al., 2006; Kemenes et al., 2007).

### 4. As concentrações subestimadas de metano

As estimativas das emissões das turbinas (incluindo as minhas) que usam dados sobre a concentração de  $\text{CH}_4$  na água à profundidade das turbinas com base em medições em amostras coletadas usando garrafas tradicionais de Ruttner têm subestimado estas concentrações, e conseqüentemente as emissões, quando a água é liberada abaixo da barragem. A subestimativa é aproximadamente por um fator de dois. Isso ocorre porque parte do metano que é dissolvido na água sai da solução quando a garrafa Ruttner é trazida para a superfície e, conseqüentemente, a amostra de água extraída com uma seringa para análise química tem uma concentração de  $\text{CH}_4$  mais baixa do que a água na parte inferior do reservatório. Outro tipo de garrafa, projetada para capturar e medir este metano, resultou em valores de concentração 116% mais elevados do que os valores para as amostras obtidas simultaneamente com garrafas Ruttner da água a 30 m de profundidade



no reservatório de Balbina, no estado do Amazonas (Kemenes *et al.*, 2011).

## 5. Extrapolação a partir de reservatórios não tropicais

Os reservatórios nos trópicos úmidos emitem muito mais metano do que aqueles em outras zonas climáticas (Barros *et al.*, 2011; Demarty & Bastien, 2011). Muitas reivindicações de baixas emissões de hidrelétricas são baseadas em estudos fora dos trópicos úmidos. No Brasil, importantes exemplos incluem o estudo de impacto ambiental (EIA) para a barragem de Belo Monte, que está em construção em uma área de floresta tropical no Rio Xingu, no Estado do Pará (Brasil, ELETROBRÁS, 2009, Vol. 5, p. 47; Ver Fearnside, 2011). Neste caso, a estimativa para futuras emissões do reservatório foi uma média de medição de fluxo por metro quadrado medido em dois reservatórios: Tucuruí e Xingó. No caso de Xingó, a represa está localizada no nordeste semiárido do Brasil e claramente tem emissões muito menores do que uma represa da Amazônia como Belo Monte.

## 6. Potencial de Aquecimento Global (GWP) desatualizado de metano

Na contabilização das emissões sob a UNFCCC, gases de efeito estufa não-CO<sub>2</sub> são convertidos em CO<sub>2</sub>-equivalentes (CO<sub>2</sub>e) multiplicando o número de toneladas emitido de cada gás por um potencial de aquecimento global (GWP). Cada gás tem um forçamento radiativo característico, que representa a sua eficácia em bloquear a passagem de radiação infravermelha pela atmosfera de forma quase instantânea: forçamento radiativo é o saldo do fluxo de energia na tropopausa (a divisão entre a troposfera e a estratosfera, em aproximadamente 10 km de altitude) causado por uma determinada quantidade de gás após uma demora de “alguns meses” para equilibrar a temperatura estratosférica (Shine *et al.*, 1995, p. 170). Incluindo efeitos indiretos, o metano tem um forçamento radiativo muito maior que o CO<sub>2</sub> em uma base de massa: 595 vezes mais por cada tonelada de gás presente na atmosfera de hoje (Hartmann *et al.*, 2013, Material complementar, Apêndice 2, p. 2SM-4; Myhre *et al.*, 2013, Material complementar, Anexo 8, p. 8SM-13). Cada gás tem também uma característica vida atmosférica média (o número de anos que uma tonelada do gás permanece na atmosfera, causando global aquecimento).

Uma tonelada de metano tem um impacto elevado, enquanto ele permanece na atmosfera, mas tem uma vida média de apenas 12,4 anos (Myhre *et al.*, 2013, p. 714). Uma tonelada de CO<sub>2</sub> tem um efeito muito mais fraco em cada ano em que esteja presente, mas o tempo médio de vida é longo: aproximadamente 40% de uma emissão permanece na atmosfera depois de um século (Myhre *et al.*, 2013, Material complementar, Apêndice 8, p. 8SM-16). O GWP representa uma integração ao longo de um horizonte de tempo, tais como 20 anos ou 100 anos, do forçamento radiativo de uma tonelada do gás emitida no início do período, em comparação com uma tonelada de CO<sub>2</sub> emitida simultaneamente. O uso de GWPs pelo IPCC é explicado por Albritton *et al.* (1995, p. 215-219). Na medida em que o horizonte de tempo para o GWP alonga, a importância do metano declina em relação ao CO<sub>2</sub>.

O valor do GWP mais frequentemente usado para converter o impacto das emissões de metano para CO<sub>2</sub>-equivalentes é 21, significando que uma tonelada de gás de CH<sub>4</sub> tem o mesmo impacto sobre o aquecimento global que 21 toneladas de CO<sub>2</sub> em um horizonte de tempo de 100 anos sem nenhum desconto por tempo. Este é o valor de GWP do Segundo Relatório de Avaliação do IPCC, de 1995 (Schimel *et al.*, 1996) que foi adotado pelo Protocolo de Quioto para uso até o final de 2012 e foi usado em toda a contabilidade de gases nos inventários nacionais até esse mesmo ano. No entanto, as estimativas para o GWP do metano desde então foram sucessivamente revistas para cima: para 23 no Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC em 2001 (Ramaswamy *et al.*, 2001) e para 25 no Quarto Relatório de Avaliação em 2007 (Forster *et al.*, 2007). O quinto relatório de avaliação, de 2013, revisa isto para 28 se as mesmas suposições fossem mantidas (ou seja, ignorando todas as retroalimentações), mas apresenta um valor de 34 para metano que inclui efeitos indiretos não considerados nos relatórios anteriores do IPCC (Myhre *et al.*, 2013). Se um horizonte temporal de 20 anos é usado em vez de 100 anos, esse valor aumenta para 86 (Myhre *et al.*, 2013, p. 714). Uma redução rápida e sustentada em emissões de metano é parte necessária de qualquer estratégia para manter a temperatura média abaixo do limite de 2° C para o aumento acima da média pré-industrial, conforme acordado em Copenhague em 2009 sob decisão 2/CP.15 (Shindell *et al.*, 2012). Uma vez que o metano é a principal emissão da energia hidrelétrica e este gás é quase ausente das



emissões de combustíveis fósseis, estas revisões fazem uma diferença substancial no impacto atribuído à energia hidrelétrica em comparação aos combustíveis fósseis. Se um valor GWP de 34 for usado em vez do valor de 25 que será usado até 2017, o impacto é 36% maior. Se um valor de 86 é usado o impacto de metano a partir de barragens é 244% maior.

As decisões sobre que valores de GWP serão usados na contabilidade no âmbito da UNFCCC são feitas por representantes de governos nacionais nas conferências anuais das partes (COPs). Na 16ª Conferência das Partes da UNFCCC em Cancún (COP-16), em 2010, o Brasil teve um papel proeminente na argumentação de manter o uso de um valor mais baixo de GWP para metano ao invés do valor indicado pelo relatório mais recente do IPCC na época (ver: CAN, 2010). A matriz energética do Brasil se baseia em hidrelétricas para quase 80% da sua eletricidade, e o governo brasileiro tem grandes planos para construção de barragens na região amazônica (e.g., Brasil, MME, 2013).

O uso de GWPs mais antigos apesar da existência de estimativas mais recentes do IPCC estende-se à toda a contabilidade sob a UNFCCC, não apenas para barragens. Em 2011, na COP-17, foi tomada a decisão de usar o GWP do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC, de 2007, a partir de 2015, e os atuais valores do Quarto Relatório (de 2013), portanto, ainda ficam sem efeito na UNFCCC.

## 7. Ignorando o valor do tempo

O valor do tempo é, talvez, o fator mais fundamental que leva à subavaliação da importância para o aquecimento global das emissões de hidrelétricas. Uma ampla gama de opiniões existe sobre a questão de quanto valor, se houver algum, deve ser dada ao tempo na apreciação do valor dos gases de efeito estufa que são emitidos ou impedidos de serem emitidos. Se uma tonelada de carbono emitida hoje tem o mesmo valor que uma tonelada emitida um século ou mais no futuro é fundamental para decidir o que fazer sobre o aquecimento global, especialmente para as decisões sobre barragens.

O valor é atribuído ao tempo de duas maneiras. Uma é definir um horizonte de tempo após o qual nenhuma consideração é dada (por exemplo, que o horizonte de tempo de 100 anos para o potencial de aquecimento global utilizado no âmbito do Protocolo de Quioto). Isto significa que adiar

uma emissão, parte do impacto é empurrada para além do final do horizonte de tempo e é anulada. Quanto mais longo o horizonte de tempo, menos o valor dado ao tempo. A outra maneira é dar um peso diminuindo aos custos e benefícios (nesses casos, as emissões e as emissões evitadas) a cada ano no futuro (Fearnside *et al.*, 2000). O meio mais comum de ponderação é através da aplicação de uma taxa de desconto a cada ano, onde o peso atribuído diminui por uma percentagem fixa a cada ano futuro sucessivo. Tanto um horizonte de tempo como uma taxa de desconto maior que zero podem ser usados juntos. Existem várias alternativas para horizontes temporais e ponderação de preferência temporal (Fearnside, 2002b,c). O valor atribuído ao tempo é uma decisão ética e política, não um resultado científico. No entanto, um valor presumido para o tempo está presente em todas as comparações de emissões, mesmo que esta hipótese não seja admitida explicitamente.

As opiniões sobre a taxa de desconto adequada para emissões variam enormemente. Por um lado, há os que advogam um valor de zero ao longo de um período de 100 anos (Kirschbaum, 2006; ver Dornburg & Marland, 2008; Fearnside, 2008b) e mesmo os que dariam um valor de zero ao longo de um período infinito, como implícita no apelo de Greenpeace para permanência do sequestro de carbono em escalas de tempo “geológicas”. Por outro lado, há economistas que advogam por um valor igual ao desconto utilizado para decisões financeiras, ou seja, em torno de 10% ao ano em termos reais (e.g., Van Kooten *et al.*, 1997). Este autor defende o equivalente a uma taxa de desconto da ordem de 1-2% ao ano (Fearnside, 2002b), ou seja, um valor pequeno, mas diferente de zero. Um valor diferente de zero para o tempo para o aquecimento global não depende de uma perspectiva egoísta para a geração atual ou em traduzir todos os impactos em termos monetários: o aquecimento global deverá resultar em muitas mortes humanas, que é uma forma inteiramente separada de impacto comparado às perdas monetárias, e adiar o aquecimento por um determinado número de anos salva vidas durante o período em que foi postergado (Fearnside, 1998).

O horizonte de tempo utilizado é pelo menos tão importante quanto a escolha de uma taxa de desconto, na derivação valores de GWP e na contabilização das emissões. O Quinto Relatório de Avaliação do IPCC deixa claro que “não há nenhum argumento científico para a seleção de 100 anos, em

comparação com outras opções (Fuglestedt et al., 2003; Shine, 2009). A escolha do horizonte de tempo é um juízo de valor porque depende do peso relativo atribuído aos efeitos em momentos diferentes” (Myhre et al., 2013, p. 711-712).

Quanto mais longo o horizonte de tempo usado, maior a distorção se uma taxa de desconto zero for aplicada (como no caso dos valores atuais de GWP de 100 anos, derivados pelo IPCC). Uma maneira que estudos de contabilidade muitas vezes justificam longos horizontes de tempo sem desconto é de basear os cálculos em um ciclo de vida completo, com a suposição comum de que uma barragem será útil durante 100 anos. Deve-se notar que estes cálculos, muitas vezes, não são verdadeiramente análises de ciclo de vida devido à omissão do desmantelamento (remoção) da barragem no final do ciclo. Para a comparação de opções de geração diferentes, tais como combustíveis fósseis e barragens, é essencial que o mesmo horizonte de tempo seja usado se um peso não-zero para o valor do tempo fosse incluído (por exemplo, através de uma taxa de desconto). A comparação de uma barragem com uma suposta vida útil de 100 anos com uma usina termelétrica com uma suposta vida de 50 anos produzirá um resultado distorcido.

Uma usina hidrelétrica emite grandes quantidades de gases de efeito estufa nos primeiros anos após a sua construção, que cria uma “dívida” de aquecimento global que é lentamente paga na medida em que a eletricidade gerada pela barragem desloca combustíveis fósseis nos anos subsequentes; em contraste com isto, a geração de eletricidade a partir dos combustíveis fósseis emite gases em uma taxa constante, com a emissão ocorrendo ao mesmo tempo em que a eletricidade é gerada. Esta diferença é fundamental em comparações entre barragens e combustíveis fósseis, com qualquer valor atribuído ao tempo pesando fortemente contra as represas (Fearnside, 1996, 1997). O perfil completo de emissões de uma barragem é um complexo conjunto de créditos de emissões e débitos de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e outros gases ao longo do tempo. Em contraste, usinas de combustível fóssil liberam emissões principalmente quando o combustível é queimado para gerar eletricidade. O fato de que barragens emitem metano, com um impacto de curta duração mas intenso, enquanto que os combustíveis fósseis emitem principalmente CO<sub>2</sub>, com um impacto suave mas longo, também é muito importante. Observe, no entanto, que em muitos países, inclusive no Brasil, a maioria

das novas usinas termelétricas queimam gás natural ao invés de carvão ou petróleo, e há vazamentos nos gasodutos que fornecem o metano às usinas.

A indústria hidrelétrica não gostaria que nenhuma forma de ponderação por preferência de tempo seja aplicada às emissões neste século: a Associação Internacional de Energia Hidrelétrica (IHA) defende que todo cálculo seja em um horizonte de tempo de 100 anos sem nenhum desconto (e.g., Goldenfum, 2012). Infelizmente, não temos 100 anos para tomar medidas eficazes na mitigação do aquecimento global, e serão as emissões dentro dos próximos poucos anos que determinarão se a mudança climática «perigosa» pode ser evitada. Planos de construção de barragens na Amazônia brasileira, por exemplo, implicam na liberação de grandes quantidades de gases de efeito estufa, precisamente na janela de tempo quando o aquecimento global precisa ser controlado.

## 8. “Cherry picking” de barragens

O “*cherry picking*” [“catação de cerejas”], ou seja, selecionar apenas os casos que confirmam a conclusão, é uma forma que as estimativas das emissões de hidrelétricas podem ser minimizadas. No Brasil, a hidrelétrica de Balbina, que tem emissões muito altas de metano, não foi incluída na tabulação de barragens no primeiro inventário nacional do país (Brasil, MCT, 2004, p. 154; Ver também Rosa *et al.*, 2004), embora os autores do estudo tivessem publicado anteriormente dados da emissão da superfície da barragem (Rosa *et al.*, 1997). Balbina representava aproximadamente 40% da área inundada pelos reservatórios em áreas de floresta tropical amazônica do Brasil na época do inventário. Balbina foi excluída de uma série de discussões sobre represas amazônicas alegando-se que é atípica e representa um erro que nunca seria cometido novamente. Infelizmente, Balbina tem muitos paralelos com barragens que são susceptíveis de serem construídas nas próximas décadas, especialmente Babaquara (renomeada para Altamira), rio acima de Belo Monte (Fearnside, 2006a, 2012).

## 9. A suposição de que barragens são construídas em zonas úmidas

O efeito líquido de uma barragem é a emissão dela, menos o que teria sido emitido pelo ecossistema sem a barragem, incluindo a floresta na área inundada pelo reservatório. A Associação Nacional

de Hidrelétricas dos EUA (US-NHA) reagiu à primeira publicação deste autor com resultados indicando emissões elevadas de barragens da Amazônia (Fearnside, 1995), declarando “é bobagem e é muito exagerado... O metano é produzido de forma substancial na floresta tropical e ninguém sugere derrubar a floresta tropical” (ver McCully, 2001). A Associação Internacional de Hidrelétricas (IHA) alegou ainda que as barragens são um “problema de soma zero, novas zonas úmidas substituindo antigas zonas úmidas” (Gagnon, 2002). No entanto, as barragens não são construídas em pântanos planos que emitem metano, já que locais com corredeiras ou cachoeiras resultam na geração de muito mais energia. Os solos sob florestas de terra firme na Amazônia são considerados sumidouros de metano (e.g., Keller *et al.*, 1991).

A suposição de emissões pré-barragem irrealisticamente altas não foi restrita às recusas iniciais do setor hidrelétrico de um impacto de barragens sobre o aquecimento global. No Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para a controversa barragem de Belo Monte, a estimativa de emissão pré-barragem foi amplamente baseada em medições nos solos alagados que recentemente havia sido expostos pela queda dos níveis do rio, tal que os cálculos efetivamente assumiram que a área do reservatório como um todo estaria emitindo quantidades substanciais de metano (veja Fearnside, 2011).

## 10. A suposição que a sedimentação do reservatório cancela as emissões

A Associação Internacional de energia hidrelétrica tem argumentado que barragens podem ter um efeito positivo através da captura de carbono nos sedimentos depositados em reservatórios, impedindo assim que este carbono seja emitido para a atmosfera (e.g., Gagnon, 2002). Os sedimentos no reservatório contém carbono (Sikar *et al.*, 2009). No entanto, o carbono em sedimentos é uma espada de dois gumes, pois esta também é a fonte de carbono para metanogênese nas condições anóxicas no fundo de um reservatório. O balanço de carbono não deve ser confundido com o impacto sobre o aquecimento global. As barragens liberam carbono na forma de metano, com um impacto muito maior por cada tonelada de carbono do que o CO<sub>2</sub> que seria liberado se, em vez do carbono depositado em sedimentos, estes fossem permitidos serem carregados pelo rio e serem oxidado a jusante. Deve ser lembrado, também, que uma parte deste carbono não seria oxidada

no rio, mas em vez disso, seria depositada em sedimentos do oceano. No caso da Amazônia, uma parte deste carbono seria transferida para os depósitos de sedimentos que continuam a ter um acúmulo líquido na várzea amazônica. Um percentual maior do carbono depositado em sedimentos é liberado mais tarde na forma de gases em um reservatório do que no oceano, um fator que aumenta as emissões líquidas globais de gases de efeito de estufa (Mendonça *et al.*, 2011, p. 63). Embora a água no Rio Amazonas, também, seja conhecida por lançar grandes quantidades de CO<sub>2</sub> (Richey *et al.*, 2002), indicando a oxidação do carbono realizada no rio, há também altas emissões de CO<sub>2</sub> nos reservatórios amazônicos pelas turbinas e vertedouros de barragens na Amazônia (e.g., Kemenes *et al.*, 2011).

## 11. Pressuposto de que as emissões diminuem a zero

A ideia de que emissões hidrelétricas declinam inexoravelmente até zero é enganosa. Um forte declínio nas emissões de gases de efeito estufa nos primeiros anos de vida de um reservatório é um padrão bem conhecido, mas isso não significa que as emissões sempre continuam a declinar até que atinjam um nível praticamente zero. As emissões podem estabilizar em um nível bem acima de zero em casos onde existe uma fonte renovável de carbono, tal como a inundação anual de vegetação herbácea na zona de deplecionamento, quando o nível da água é elevado na estação chuvosa. Reservatórios diferentes podem ter regimes de gestão da água diferentes, diferindo na quantidade de variação vertical do nível de água e na área da zona de deplecionamento que é exposta quando o nível da água é baixo. No primeiro inventário nacional do Brasil, o reservatório de Três Marias, em uma área de Cerrado, no Estado de Minas Gerais, foi o “campeão” das emissões de metano, emitindo mais do que as represas amazônicas que foram incluídas no estudo (Brasil, MCT, 2004; Rosa *et al.*, 2004). Na época das medições, o reservatório de Três Marias tinha 36 anos de idade e, portanto, havia passado em muito o pico inicial em emissões de metano. A variação vertical de 9 m no nível de água em Três Marias é uma provável explicação de como as emissões de CH<sub>4</sub> podem ser mantidas ao longo do tempo. O cronograma das emissões de metano, com um grande pico inicial seguido de uma estabilização em um nível inferior, em longo prazo, acrescenta muito ao impacto de barragens em termos de interesses humanos.



## A SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA E AS EMISSÕES DE BARRAGENS

Tanto a pesquisa científica quanto a sua interpretação para políticas públicas são feitas por seres humanos que agem dentro do contexto de seus ambientes sociais e institucionais. A revista *Climatic Change* organizou um debate sobre as emissões hidrelétricas entre este autor (Fearnside, 2004, 2006b) e o então presidente da ELETROBRÁS (Rosa *et al.*, 2004, 2006). O debate foi arbitrado por Cullenward e Victor (2006), que apontou que “uma grande proporção do trabalho publicado neste campo vem diretamente de pesquisadores ligados a empresas de hidroeletricidade, como a Eletrobrás ou Hydro-Québec”, e como resultado sugeriu que “um mecanismo é necessário para remover qualquer mancha de interesse para que projetos de MDL [mecanismo de desenvolvimento limpo] e inventários nacionais possam ganhar confiança. A comunidade internacional tem um mecanismo prontamente à mão para corrigir o problema: um relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).” Um relatório especial especificamente sobre emissões de hidrelétricas não foi realizado, mas em 2011, o IPCC lançou o Relatório Especial sobre Fontes Renováveis de Energia e Mitigação de Mudança Climática (SRREN), que incluía a energia hidrelétrica (Kumar *et al.*, 2012). As listas dos autores das seções sobre hidrelétricas incluem funcionários da Eletrobrás e de Hydro-Québec (Kumar *et al.*, 2012; Moomaw *et al.*, 2012). Nas diretrizes IPCC de 2006, ambos os dois apêndices lidando com reservatórios (Apêndices 2 e 3) têm autores da Hydro-Québec e da Eletrobrás (IPCC, 2006, Volume 4, Capítulo 7, p. 7.2). McCully (2006) documentou a predominância de longa data da indústria em pesquisas acerca das emissões das barragens hidrelétricas.

O relatório especial do IPCC tem sido criticado pela organização não governamental (ONG) Rios Internacionais por não discutir as altas emissões de metano dos reservatórios tropicais, que simplesmente está listado em uma tabela, em contraste com a maior atenção dada às baixas emissões em regiões temperadas e boreais (Pereira, 2011). A crítica também aponta que, ao contrário da prática normal do IPCC, um quarto da seção sobre as emissões de hidrelétricas é dedicado a apresentar os resultados preliminares de um trabalho exploratório (“*scoping paper*”) sem revisão científica que foi liderado pela Associação

Internacional de Energia Hidrelétrica (IHA), um grupo da indústria (IHA, 2008). O relatório especial também destaca o trabalho mais recente do grupo IHA sobre procedimentos para quantificar as emissões, que estava em andamento na época, mas que tem sido, desde então, concluído. O acesso ao relatório IHA requer um compromisso de sigilo, tornando o relatório impróprio para uso pelo IPCC ou para citação em literatura científica.

A contabilidade adequada das emissões das hidrelétricas tropicais é essencial para conter a mudança climática. Negociações internacionais no âmbito da UNFCCC são destinadas a estabelecer quotas (montantes atribuídos) para emissões nacionais, tal que a emissão líquida global de todas as fontes (incluindo fontes “naturais”) é consistente com o objetivo de impedir que as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa atinjam níveis que causem “interferência perigosa no sistema climático” (UNFCCC, 1992, Artigo 2), agora definido como um aumento da temperatura média em 2° C acima da média pré-industrial. Se inventários nacionais apresentados por cada país não refletem a verdadeira quantidade de emissão porque emissões tropicais de hidrelétricas foram omitidas ou subestimadas, conseqüentemente, as quantidades atribuídas negociadas no âmbito da UNFCCC serão insuficientes para conter a mudança climática e os impactos de ultrapassar o limite de 2° C se seguirá (e.g., Meinshausen *et al.*, 2009).

## CONCLUSÕES

As orientações (“*guidelines*”) para inventários nacionais de emissões de gases de efeito estufa, do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), devem ser revistas, tal que o nível exigido de relatórios sobre barragens reflita toda a extensão das suas emissões de todos os gases de efeito estufa. O IPCC também precisa proceder um exame minucioso do assunto independente da indústria de energia hidrelétrica.

## AGRADECIMENTOS

As pesquisas do autor são financiadas exclusivamente por fontes acadêmicas: Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: proc. 305880/2007-1; 575853/2008-5 304020/2010-9; 573810/2008-7) Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – CRINALE (proc. 708565) e o Instituto Nacional



de Pesquisas da Amazônia (INPA: PRJ15.125). Marcelo A. dos Santos Júnior elaborou as figuras. Simone Athayde forneceu material bibliográfico. Agradeço a P.M.L.A. Graça pelos comentários. Esta é uma tradução de Fearnside (2015).

## LITERATURA CITADA

- Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, M.A., Matvienko, B. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles* 19, GB 4007. doi: 10.1029/2005GB002457.
- Abril, G., Parize, M., Pérez, M.A.P., Filizola, N. 2013. Wood decomposition in Amazonian hydropower reservoirs: An additional source of greenhouse gases. *Journal of South American Earth Sciences* 44: 104–107. doi: 10.1016/j.jsames.2012.11.007.
- ADEME Guyane (Agence de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie). s/d. L'Effet de Serre et ses conséquences pour la Guyane. ADEME Guyane, Cayenne, Guiana Francesa, França. [Disponível em: <http://www.ademe-guyane.fr/index.php?action=269>].
- Albritton, D.L., Derwent, R.G., Isaksen, I.S.A., Lal, M., Wuebbles, D.J., Bruhl, C., Daniel, J.S., Fisher, D., Granier, C., Liu, S.C., Patten, K., Ramaswamy, V., Wigley, T.M.L. 1995. Trace gas radiative forcing indices, In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J., Lee, H., Callander, B.A., Haites, E., Harris, N., Maskell, K. (Eds.), *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 205-231. [Disponível em: [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/cc1994/climate\\_change\\_1994.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/cc1994/climate_change_1994.pdf)].
- Arvizu, D. & 40 outros. 2012. Technical summary, In: Edenhofer, O., Madrugá, R.P., Sokona, Y., Seyboth, K., Eickemeier, P., Matschoss, P., Hansen, G., Kadner, S., Schlömer, S., Zwickel, T., von Stechow, C. (Eds.), *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 27-158. [Disponível em: [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_full_report.pdf)].
- Australian Gas Networks. 2007. About Natural Gas. [Disponível em: <http://www.natural-gas.com.au/about/references.html>].
- Barnhouse, L.W., Cada, G.F., Cheng, M.D., Easterly, C.E., Kroodsmá, R.L., Lee, R., Shriner, D.S., Tolbert, V.R., Turner, R.S. 1994. *Estimating Externalities of the Hydro Fuel Cycles*. Report 6. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, E.U.A. 205 p. [Disponível em: <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/757384-22LKCY/webviewable/757384.pdf>].
- Barreto, P. Brandão Jr., A., Martins, H., Silva, D., Souza Jr., C., Sales, M., Feitosa, T. 2011. *Risco de Desmatamento Associado à Hidrelétrica de Belo Monte*. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), Belém, Pará. 98 p. [Disponível em: [http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/risco-de-desmatamento-associado-a-hidreletrica-de-belo-monte/at\\_download/file](http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/risco-de-desmatamento-associado-a-hidreletrica-de-belo-monte/at_download/file)].
- Barros, N., Cole, J.J., Tranvik, L.J., Prairie, Y.T., Bastviken, D., Huszar, V.L.M., del Giorgio, P., Roland, F. 2011. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nature Geoscience* 4: 593–596. doi: 10.1038/NGEO1211.
- Brasil, Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras). 2009. *Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte: Estudo de Impacto Ambiental. Fevereiro de 2009*. Eletrobrás, Rio de Janeiro, RJ. 36 vols. [Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/Dossie/BM/BELO%20MONTE.htm](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/BM/BELO%20MONTE.htm)].
- Brasil, MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). 2004. *Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. MCT, Brasília, DF. 276 p. [Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0005/5586.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0005/5586.pdf)].
- Brasil, MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). 2010. *Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. MCT, Brasília, DF, 2 Vols., 520 p. [Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/326751.html>].
- Brasil, MCTI (Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação). 2013. *Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil*. MCTI, Brasília, DF, 76 p. [Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0226/226591.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0226/226591.pdf)].
- Brasil, MME (Ministério de Minas e Energia). 2013. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2022*. MME, Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília, DF, Brazil. 409 p. [Disponível em: [http://www.epe.gov.br/PDEE/24102013\\_2.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/24102013_2.pdf)].
- Burrall, K., Leandro, G., Mar, L., Natale, E., Tauro, F. 2009. *Analysis of Proposed Hydroelectric Dams on the Río Baker in Chilean Patagonia*. Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Boston, Massachusetts, E.U.A. 36 p. [Disponível em: [http://www.waterdeva.com/pdfs/Burrall\\_et\\_al\\_2009.pdf](http://www.waterdeva.com/pdfs/Burrall_et_al_2009.pdf)].
- CAN (Climate Action Network). 2010. Keys to the 2nd KP Commitment Period. [Disponível em: <http://www.climatenetwork.org/blog/keys-2nd-kp-commitment-period>].
- CO2list. 2011. Hydroelectricity Releases CO<sub>2</sub>. 01 de outubro de 2011. [Disponível em: <http://co2list.weebly.com/1/post/2011/10/hydroelectricity-produces-co2.html>].
- Correia Neto, V., Tolmasquim, M.T. 2001. A avaliação econômica da co-geração em ciclo combinado com gaseificação de biomassa e gás natural no setor sucroalcooleiro. *Revista Brasileira de Energia* 8(2): 35-60. [Disponível em: <http://www.sbppe.org.br/socios/download.php?id=151>].
- Cullenward, D., Victor, D.G. 2006. The dam debate and its discontents. *Climatic Change* 75: 81-86. doi: 10.1007/s10584-006-9085-7.

- da Silva, M., Matvienko, B., dos Santos, M.A., Sikar, E., Rosa, L.P., dos Santos, E., Rocha, C. 2007. Does methane from hydro-reservoirs fit out from the water upon turbine discharge? *SIL – 2007-XXX Congress of the International Association of Theoretical and Applied Limnology*, Montreal, Québec, Canada. [Disponível em: <http://www.egmmmedia.net/sil2007/abstract.php?id=1839>].
- de Lima, I.B.T. 2002. *Emissão de Metano em Reservatórios Hidrelétricos Amazônicos através de Leis de Potência*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 108 p. [Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64132/tde-21112002-095409/publico/teseivan.pdf>].
- de Lima, I.B.T. 2005. Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hydroreservoirs. *Chemosphere* 59: 1697-1702. doi:10.1016/j.chemosphere.2004.12.011.
- Delmas, R. Galy-Lacaux, C., Richard, S. 2001. Emissions of greenhouse gases from the tropical hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) compared with emissions from thermal alternatives. *Global Biogeochemical Cycles* 15: 993-1003. doi: 10.1029/2000GB001330.
- Delmas, R., Richard, S., Guérin, F., Abril, G., Galy-Lacaux, C., Delon, C., Grégoire, A. 2005. Long term greenhouse gas emissions from the hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) and potential impacts, In: Tremblay, A., Varfalvy, L., Roehm, C., Garneau, M. (Eds.), *Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes. Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*, Springer-Verlag, New York, NY, E.U.A., p. 293-312.
- Demarty, M., Bastien, J. 2011. GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH<sub>4</sub> emission measurements. *Energy Policy* 39: 4197-4206. doi: 10.1016/enpol.2011.04.033.
- Denholm, P., Kulcinski, G.L. 2004. Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems. *Energy Conversion and Management* 45(13-14): 2153-2172. doi:10.1016/j.enconman.2003.10.014.
- Dones, R., Bauer, C., Bolliger, R., Burger, B., Heck, T., Roder, A., Emenegger, M.F., Frischknecht, R., Jungbluth, N., Tuchschnid, M. 2007. *Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and Other UCTE Countries*. Ecoinvent Report No. 5, Paul Scherrer Institute (PSI), Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Villigen, Suíça. 185 p. [Disponível em: [http://www.ecolo.org/documents/documents\\_in\\_english/Life-cycle-analysis-PSI-05.pdf](http://www.ecolo.org/documents/documents_in_english/Life-cycle-analysis-PSI-05.pdf)].
- Dones, R., Heck, T., Bauer, C., Hirschberg, S., Bickel, P., Preiss, P., Panis, L.I., De Vlieger, I. 2005. *Externalities of Energy: Extension of Accounting Framework and Policy Applications: New Energy Technologies*. ENG1-CT-2002-00609, Paul Scherrer Institute (PSI), Villigen, Suíça. 76 p. [Disponível em: [http://gabe.web.psi.ch/pdfs/externe\\_pol/WP6\\_Technical\\_Report\\_Release\\_2.pdf](http://gabe.web.psi.ch/pdfs/externe_pol/WP6_Technical_Report_Release_2.pdf)].
- Dornburg, V., Marland, G. 2008. Temporary storage of carbon in the biosphere does have value for climate change mitigation: a response to the paper by Miko Kirschbaum. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13: 211-217. doi: 10.1007/s11027-007-9113-6.
- dos Santos, M.A., Rosa, L.P., Matvienko, B., dos Santos, E.O., D'Almeida Rocha, C.H.E., Sikar, E., Silva, M.B., Bentes Júnior, A.M.P. 2009. Estimate of degassing greenhouse gas emissions of the turbinated water at tropical hydroelectric reservoirs. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 30(6): 834-837.
- dos Santos, M.A., Rosa, L.P., Sikar, B., Sikar, E., dos Santos, E.O. 2006. Gross greenhouse gas fluxes from hydro-power reservoir compared to thermo-power plants. *Energy Policy* 34: 481-488. doi:10.1016/j.enpol.2004.06.015
- Duchemin É. 2000. *Hydroelectricity and Greenhouse Gases: Emission Evaluation and Identification of Biogeochemical Processes Responsible for their Production*. Tese de doutorado, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, Canadá. 321 p.
- Duchemin É. 2006. Dear Patrick. Email to International Rivers 3 March 2006. [Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/pub\\_livres/Dossie/Hydro-GHG/Duchemin-email-2006.pdf](http://philip.inpa.gov.br/pub_livres/Dossie/Hydro-GHG/Duchemin-email-2006.pdf)].
- Duchemin, É., Canuel, R., Ferland, P., Lucotte, M. 1999. Étude sur la production et l'émission de gaz à effet de serre par les réservoirs hydroélectriques d'Hydro-Québec et des lacs naturels (Volet 2), Scientific report, Direction principal Planification Stratégique - Hydro-Québec, 21046-99027c, Hydro-Québec, Montréal, Québec, Canadá. 48 p.
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R., Almeida Cruz, D., Pereira, H.C., Dezincourt, J., Queiroz, A.G. 2000. Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir and from other reservoirs worldwide. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 27(3): 1391-1395.
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R., Chamberland, A. 1995. Production of the greenhouse gases CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> by hydroelectric reservoirs of the boreal region. *Global Biogeochemical Cycles* 9(4): 529-540. doi: 10.1029/95GB02202.
- Duchemin, E., Lucotte, M., Canuel, R., Soumis, N. 2006. First assessment of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions from shallow and deep zones of boreal reservoirs upon ice break-up. *Lakes and Reservoirs, Research and Management* 11: 9-19. doi: 10.1111/j.1440-1770.2005.00285.x
- Fearnside, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22: 7-19. doi: 10.1017/S0376892900034020.
- Fearnside, P.M. 1996. Montreal meeting on 'greenhouse' gas impact of hydroelectric dams. *Environmental Conservation* 23: 272-273. doi: 10.1017/S0376892900038935.
- Fearnside, P.M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation* 24: 64-75. doi: 10.1017/S0376892997000118.

- Fearnside, P.M. 1998. The value of human life in global warming impacts. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 3: 83-85. doi: 10.1023/A:1009640412108.
- Fearnside, P.M. 2002a. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 133: 69-96. doi: 10.1023/A:1012971715668.
- Fearnside, P.M. 2002b. Time preference in global warming calculations: A proposal for a unified index. *Ecological Economics* 41: 21-31. doi: 10.1016/S0921-8009(02)00004-6.
- Fearnside, P.M. 2002c. Why a 100-year time horizon should be used for global warming mitigation calculations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 7: 19-30. doi: 10.1023/A:1015885027530.
- Fearnside, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source. *Climatic Change* 66: 1-8. doi: 10.1023/B:CLIM.0000043174.02841.23.
- Fearnside, P.M. 2005a. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10: 675-691. doi: 10.1007/s11027-005-7303-7.
- Fearnside, P.M. 2005b. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management* 35: 1-19. doi: 10.1007/s00267-004-0100-3.
- Fearnside, P.M. 2006a. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's hydroelectric development of the Xingu River Basin. *Environmental Management* 38: 16-27. doi: 10.1007/s00267-005-00113-6.
- Fearnside, P.M. 2006b. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Reply to Rosa *et al.* *Climatic Change* 75: 103-109. doi: 10.1007/s10584-005-9016-z.
- Fearnside, P.M. 2008a. Hidrelétricas como “fábricas de metano”: O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. *Oecologia Brasiliensis* 12: 100-115.
- Fearnside, P.M. 2008b. On the value of temporary carbon: A comment on Kirschbaum. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13: 207-210. doi: 10.1007/s11027-007-9112-7.
- Fearnside, P.M. 2009. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. *Novos Cadernos NAEA* 12(2): 5-56.
- Fearnside, P.M. 2011. Gases de efeito estufa no EIA-RIMA da hidrelétrica de Belo Monte. *Novos Cadernos NAEA* 14(1): 5-19.
- Fearnside, P.M. 2012. Belo Monte Dam: A spearhead for Brazil's dam building attack on Amazonia. GWF Discussion Paper 1210, Global Water Forum, Canberra, Austrália. [Disponível em: [http://www.globalwaterforum.org/wp-content/uploads/2012/04/Belo-Monte-Dam-A-spearhead-for-Brazil-dam-building-attack-on-Amazonia\\_-GWF-1210.pdf](http://www.globalwaterforum.org/wp-content/uploads/2012/04/Belo-Monte-Dam-A-spearhead-for-Brazil-dam-building-attack-on-Amazonia_-GWF-1210.pdf)].
- Fearnside, P.M. 2013. Climate change and the Amazon: Tropical dams emit greenhouse gases. *ReVista, Harvard Review of Latin America* 12(2): 30-31.
- Fearnside, P.M. 2015. Emissions from tropical hydropower and the IPCC. *Environmental Science & Policy* 50: 225-239. doi: 10.1016/j.envsci.2015.03.002
- Fearnside, P.M., Lashof, D.A., Moura-Costa, P. 2000. Accounting for time in mitigating global warming through land-use change and forestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5: 239-270. doi: 10.1023/A:1009625122628.
- Fearnside, P.M., Pueyo, S. 2012. Underestimating greenhouse-gas emissions from tropical dams. *Nature Climate Change* 2: 382-384. doi: 10.1038/nclimate1540.
- Forster, P. & 50 outros. 2007. Changes in atmospheric constituents and radiative forcing, In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 129-234. [Disponível em: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html)].
- Fuglestvedt, J., Berntsen, T., Godal, O., Sausen, R., Shine, K., Skodvin, T. 2003. Metrics of climate change: Assessing radiative forcing and emission indices. *Climatic Change* 58: 267-331. doi: 10.1023/A:1023905326842.
- Gagnon, L. 2002. The International Rivers Network statement on GHG emissions from reservoirs, a case of misleading science. International Hydropower Association (IHA), Sutton, Surrey, Reino Unido, 9 p. [Disponível em: <http://www.hydropower.org/Downloads/GHG-Reply-IRN-2002-v10.pdf>].
- Galy-Lacaux, C. 1996. *Modifications des Echanges de Constituants Mineurs Atmosphériques Liées à la Création d'une Retenue Hydroélectrique. Impact des Barrages sur le Bilan du Méthane dans l'Atmosphère*. PhD dissertation, Université de Toulouse 3, Toulouse, França. 210 p.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Jambert, C., Dumestre, J.-F., Labrousse, L., Richard, S., Gosse, P. 1997. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: A case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles* 11: 471-483. doi: 10.1029/97GB01625.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Kouadio, J., Richard, S., Gosse, P. 1999. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles* 13: 503-517. doi: 10.1029/1998GB900015.
- Garcia, R. 2007. Estudo apóia tese de hidrelétrica “limpa”: Análise em usinas no cerrado indica que termelétricas emitem até cem vezes mais gases causadores do efeito estufa. *Folha de São Paulo*, 01 de maio de 2007, p. A-16.
- Goldenfum, J.A. 2012. Challenges and solutions for assessing the impact of freshwater reservoirs on natural GHG emissions. *Ecology & Hydrobiology* 12: 115-122. doi: 10.2478/v10104-012-0011-5.



- Gosse, P., Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R. 2005. Evolution and relationships of greenhouse gases and dissolved oxygen during 1994-2003 in a river downstream of a tropical reservoir. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 29: 594-600.
- Guérin, F., Abril, G., Richard, S., Burban, B., Reynouard, C., Seyler, P., Delmas, R. 2006. Methane and carbon dioxide emissions from tropical reservoirs: Significance of downstream rivers. *Geophysical Research Letters* 33, L21407. doi: 10.1029/2006GL027929.
- Guérin, F., Abril, G., Tremblay, A., Delmas, R. 2008. Nitrous oxide emissions from tropical hydroelectric reservoirs. *Geophysical Research Letters* 35, L06404, doi: 10.1029/2007GL033057.
- Gunkel, G. 2009. Hydropower - A green energy? Tropical reservoirs and greenhouse gas emissions. *CLEAN - Soil, Air, Water* 37: 726-734. doi: 10.1002/clen.200900062.
- Hartmann, D.L. & 13 outros. 2013. Observations: Atmosphere and Surface, In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 159-254. [Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>].
- Horvath, A. 2005. Decision-making in electricity generation based on global warming potential and life-cycle assessment for climate change. University of California Energy Institute, Berkeley, California, E.U.A. 16 p. [Disponível em: <http://repositories.cdlib.org/ucei/devtech/EDT-006>].
- Huttunen, J.T., Väisänen, T.S., Hellsten, S.K., Heikkinen, M., Nykänen, H., Jungner, H., Niskanen, A., Virtanen, M.O., Lindqvist, O.V., Nenonen, O.S., Martikainen, P.J. 2002. Fluxes of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub>O in hydroelectric reservoir Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland. *Global Biogeochemical Cycles* 16, 1, doi:10.1029/2000GB001316.
- IEA (International Energy Agency). 1998. *Benign Energy? The Environmental Implications of Renewables*. IEA, Paris, França. 128 p.
- IHA (International Hydropower Association). 2008. *Assessment of the GHG Status of Freshwater Reservoirs - Scoping Paper*. IHA/GHG-WG/3, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) Working Group on Greenhouse Gas Status of Freshwater Reservoirs and International Hydropower Association, IHA, London, Reino Unido, 28 p. [Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001817/181713e.pdf>].
- IHA (International Hydropower Association). 2010. *GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs*. IHA, London, Reino Unido. 138 p. [Available at <http://www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/GHG%20Measurement%20Guidelines%20for%20Freshwater%20Reservoirs.pdf>].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual (Volume 3) Land Use Change and Forestry*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japão. [Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F. (Eds.), Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japão. [Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/landuse/gp/landuse.html>].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japão. [Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2011. IPCC Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TFI). TFI Interim Guidance Notes to Experts and Authors (May 2011). TFI Technical Support Unit, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japão. 13 p. [Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/Dossie/Hydro-GHG/1106\\_Guidance\\_to\\_Authors.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Hydro-GHG/1106_Guidance_to_Authors.pdf)].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2012. *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., von Stechow, C. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 1075 p. [Disponível em: <http://srren.ipcc-wg3.de/report/>].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., Troxler, T.G. (Eds.), IPCC, Geneva, Suíça. 354 p. [Disponível em: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands\\_Supplement\\_Entire\\_Report.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf)].
- Keller, M., Jacob, D.J., Wofsy, S.C., Harriss, R.C. 1991. Effects of tropical deforestation on global and regional atmospheric chemistry. *Climatic Change* 19, 139-158.
- Keller, M., Stallard, R.F. 1994. Methane emission by bubbling from Gatun Lake, Panama. *Journal of Geophysical Research* 99(D4): 8307-8319. doi: 10.1029/92JD02170.
- Kemenes, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters* 34, L12809. doi: 10.1029/2007GL029479.55.
- Kemenes, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M. 2008. As hidrelétricas e o aquecimento global. *Ciência Hoje* 41(145): 20-25.
- Kemenes, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M. 2011. CO<sub>2</sub> emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). *Journal of Geophysical Research* 116, G03004. doi: 10.1029/2010JG001465.
- Kirschbaum, M.U.F. 2006. Temporary carbon sequestration cannot prevent climate change. *Mitigation and Adaptation*



- Strategies for Global Change* 11: 1151-1164. doi: 10.1007/s11027-006-9027-8.
- Kumar, A., Schei, T., Ahenkorah, A., Caceres Rodriguez, R., Devernay, J.-M., Freitas, M., Hall, D., Killingtveit, A., Liu, Z. 2012. Hydropower, In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlomer, S., von Stechow, C. (Eds.), *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 437-496. [Disponível em: [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_full_report.pdf)].
- Mäkinen, K., Khan, S. 2010. Policy considerations for greenhouse gas emissions from freshwater reservoirs. *Water Alternatives* 3: 91-105.
- McCully, P. 2001. *Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams: Enlarged and Updated Edition*. Zed Books, New York, NY, E.U.A. 359 p.
- McCully, P. 2006. Fizzy Science: Loosening the Hydro Industry's Grip on Greenhouse Gas Emissions Research. International Rivers Network, Berkeley, California, E.U.A. 24 p. [Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/resources/fizzy-science-loosening-the-hydro-industry-s-grip-on-reservoir-greenhouse-gas-emissions>].
- Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S.C.B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D.J., Allen, M.R. 2009. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature* 458: 1158-1162. doi:10.1038/nature08017.
- Mendonça, R., Barros, N., Vidal, L.O., Pacheco, F., Kosten, S., Roland, F. 2011. Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs: What knowledge do we have and what is lacking? In: E.H. de Alcantara (Ed.), *Energy Resources: Development, Distribution, and Exploitation*. Nova Science Publishers, Hauppauge, New York, E.U.A., p. 55-78.
- Moomaw, W., Burgherr, P., Heath, G., Lenzen, M., Nyboer, J., Verbruggen, A. 2012. Annex II: Methodology, In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlomer, S., von Stechow, C. (Eds.), *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 973-1000. [Disponível em: [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_full_report.pdf)].
- Mori, S.A., Becker, P. 1991. Flooding affects survival of Lecythidaceae in terra firme forest near Manaus, Brazil. *Biotropica* 23: 87-90.
- Myhre, G. & 37 outros. 2013. Anthropogenic and natural radiative forcing, In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 661-740. [Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>].
- Ometto, J.P., Cimbleiris, A.C.P., dos Santos, M.A., Rosa, L.P., Abe, D., Tundisi, J.G., Stech, J.L., Barros, N., Roland, F. 2013. Carbon emission as a function of energy generation in hydroelectric reservoirs in Brazilian dry tropical biome. *Energy Policy* 58: 109-116. doi: 10.1016/j.enpol.2013.02.041.
- Ometto, J.P., Pacheco, F.S., Cimbleiris, A.C.P., Stech, J.L., Lorenzetti, J.A., Assireu, A., Santos, M.A., Matvienko, B., Rosa, L.P., Galli, C.S., Abe, D.S., Tundisi, J.G., Barros, N.O., Mendonça, R.F., Roland, F. 2011. Carbon dynamic and emissions in Brazilian hydropower reservoirs, In: de Alcantara, E.H. (Ed.), *Energy Resources: Development, Distribution, and Exploitation*. Nova Science Publishers, Hauppauge, New York, E.U.A., p. 155-188.
- Pacca, S., 2007. Impacts from decommissioning of hydroelectric dams: A life cycle perspective. *Climatic Change* 84: 281-294. doi 10.1007/s10584-007-9261-4.
- Parekh, P. 2011. Advancements in the field of reservoir emissions: A briefing on recent research and guidelines. International Rivers, Berkeley, California, E.U.A. 13 p. [Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/resources/advancements-in-the-field-of-reservoir-emissions-3764>].
- Potter, C.S., Davidson, E.A., Verchot, L.V. 1996. Estimation of global biogeochemical controls and seasonality on soil methane consumption. *Chemosphere* 32: 2219-2246.
- Pueyo, S., Fearnside, P.M. 2011. Emissões de gases de efeito estufa dos reservatórios de hidrelétricas: Implicações de uma lei de potência. *Oecologia Australis* 15: 114-127. doi: 10.4257/oeco.2011.1502.02
- Ramaswamy, V. & 40 outros. 2001. Radiative forcing of climate change, In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.G., Noguer, M., Van der Linden, R.J., Xiaosu, D. (Eds.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 349-416. [Disponível em: [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg1/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm)].
- Rhodes, S., Wazlaw, J., Chaffee, C., Kommonen, F., Apfelbaum, S., Brown, L. 2000. *A Study of the Lake Chelan Hydroelectric Project Based on Life-cycle Stressor-effects Assessment*. Final Report. Scientific Certification Systems, Oakland, California, E.U.A. 193 p. [Disponível em: [http://www.chelanpud.org/relicense/study/refer/4841\\_1.pdf](http://www.chelanpud.org/relicense/study/refer/4841_1.pdf)].
- Ribeiro, F.M., da Silva, G.A. 2010. Life-cycle inventory for hydroelectric generation: a Brazilian case study. *Journal of Cleaner Production* 18: 44-54. doi: 10.1016/j.jclepro.2009.09.006.
- Richey, J.E., Melack, J.M., Aufdenkampe, K., Ballester, V.M., Hess, L.L. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source at atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature* 416: 617-620.
- Rosa, L.P., dos Santos, M.A., Matvienko, B., dos Santos, E.O., Sikar, E. 2004. Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions. *Climatic Change* 66: 9-21. doi: 10.1023/B:CLIM.0000043158.52222.ee.
- Rosa, L.P., dos Santos, M.A., Matvienko, B., Sikar, E., dos Santos, E.O. 2006b. Scientific errors in the Fearnside comments on greenhouse gas emissions (GHG) from hydroelectric dams

- and response to his political claiming. *Climatic Change* 75: 91-102. doi: 10.1007/s10584-005-9046-6.
- Rosa, L.P., dos Santos, M.A., Tundisi, J.G., Sikar, B.M. 1997. Measurements of greenhouse gas emissions in Samuel, Tucuruí and Balbina Dams – Brazil. In: L.P. Rosa, M.A. dos Santos (eds), *Hydropower Plants and Greenhouse Gas Emissions*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, p. 41-55.
- Rosa, L.P., Matvienko Sikar, B., dos Santos, M.A., Matvienko Sikar, E. 2006a. *Emissões de Dióxido de Carbono e de Metano pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência*. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF, 118 p. [Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8855.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8855.pdf)].
- Rosa, L.P., Schaeffer, R., Santos, M.A. 1996. Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of greenhouse gases? *Environmental Conservation* 66: 2-6. doi: 10.1017/S0376892900038194.
- Schimel, D. & 75 outros. 1996. Radiative forcing of climate change. In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K. (Eds.), *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 65-131. [Disponível em: [http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg\\_I/ipcc\\_sar\\_wg\\_I\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_I/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf)].
- Shindell D.T. & 24 outros. 2012. Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security. *Science* 335: 183-189. doi: 10.1126/science.1210026.
- Shine, K.P. 2009. The global warming potential—the need for an interdisciplinary retrieval. *Climatic Change* 96, 467-472. doi: 10.1007/s10584-009.9647-6.
- Shine, K.P. & 44 outros. 1995. Radiative Forcing, In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J., Lee, H., Callander, B.A., Haites, E., Harris, N., Maskell, K. (Eds.), *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 163-203. [Disponível em: [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/cc1994/climate\\_change\\_1994.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/cc1994/climate_change_1994.pdf)].
- Sikar, E., Matvienko, B., Santos, M.A., Rosa, L.P., Silva, M.B., Santos, E.O., Rocha, C.H.E.D., Bentes Jr., A.P. 2009. Tropical reservoirs are bigger carbon sinks than soils. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 30: 838-840.
- Steinhurst, W., Knight, P., Schultz, M. 2012. *Hydropower Greenhouse Gas Emissions: State of the Research*. Synapse Energy Economics, Inc., Cambridge, Massachusetts, E.U.A. 24 p. [Disponível em: <http://www.cusli.org/Portals/0/files/conference/2014/Hydropower-GHG-Emissions-Feb.-14-2012.pdf>].
- Soumis, N., Duchemin, É., Canuel, R., Lucotte, M. 2004. Greenhouse gas emissions from reservoirs of the western United States. *Global Biogeochemical Cycles* 18, GB3022, doi:10.1029/2003GB002197.
- Therrien, J. 2004. *Flux de Gaz à Effet de Serre en Milieux Aquatiques – Suivi 2003*. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. présenté à Hydro-Québec, GENIVAR Groupe Conseil Inc. Québec City, Québec, Canadá. 52 p. + annexes.
- Therrien, J. 2005. *Aménagement Hydroélectrique de l'Estmain-1 – Étude des Gaz à Effet de Serre en Milieux Aquatiques 2003-2004*. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. à la Société d'énergie de la Baie James. GENIVAR Groupe Conseil Inc. Québec City, Québec, Canadá, 48 p. + annexes.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1992. *U.N. Framework Convention on Climate Change*. UNFCCC, Bonn, Alemanha. [Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>].
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2012. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 de dezembro de 2011 [Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a02.pdf>].
- van Kooten, G.C., Grainger, A., Ley, E., Marland, G., Solberg, B. 1997. Conceptual issues related to carbon sequestration: Uncertainty and time. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 27(special): S65-S82. doi: 10.1080/10643389709388510.
- Vattenfall. 2008. *Vattenfall AB Generation Nordic Certified Environmental Product Declaration EPD® of Electricity from Vattenfall's Nordic Hydropower*. Report No. S-P-00088, Vattenfall, Stockholm, Suécia. 50 p. [versão de 2011 disponível em: <http://www.environdec.com/en/Detail/?Epd=7468#.VK1Bh5UtF1s>].
- Zhang, Q., Karney, B., MacLean, H.L., Feng, J. 2007. Life-cycle inventory of energy use and greenhouse gas emissions for two hydropower projects in China. *Journal of Infrastructure Systems* 13(4): 271-279. doi: 10.1061/\_ASCE\_1076-0342\_2007\_13:4\_271\_.





# Política Energética





# Capítulo 35



## **Impactos Ambientais e Sociais de Barragens Hidrelétricas na Amazônia Brasileira: As Implicações para a Indústria de Alumínio**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2016. Environmental and social impacts of hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: Implications for the aluminum industry. *World Development* 77: 48-65. doi: 10.1016/j.worlddev.2015.08.015.

## RESUMO

A fundição de alumínio consome grandes quantidades de energia elétrica e contribui para impulsionar a construção de barragens em todo o mundo. O Brasil planeja construir dezenas de hidrelétricas na Amazônia brasileira e em países vizinhos. Os benefícios são muito menos do que é retratado, em parte, porque a eletricidade é exportada em produtos eletrointensivos, como o alumínio, criando pouco emprego no Brasil. As barragens afetam perversamente as instituições democráticas e as políticas públicas. A exportação de alumínio oferece um exemplo de como um repensar do uso da energia é necessário como ponto de partida para a revisão da política energética. Os impactos de barragens têm sido sistematicamente subestimados, incluindo deslocamento de população e perda de meios de subsistência (especialmente a pesca), perda de biodiversidade e emissões de gases de efeito estufa.

*Palavras-chave:* indústria de alumínio, Amazônia, barragens, política energética, aquecimento global, hidrelétricas, barragens, eletricidade

## INTRODUÇÃO

As barragens têm sido construídas na maioria dos principais rios dos países industrializados, e a combinação da diminuição da disponibilidade de locais com potencial hidrelétrico na América do Norte e Europa e a diminuição da tolerância do público nessas áreas para aceitar grandes impactos tem levado a um deslocamento da atividade de construção de barragens para os países em desenvolvimento (Khagram, 2004). Até 2014, existiam 37.641 barragens do mundo com  $\geq 15$  m de altura, 36.259, destas tendo dados sobre uso, das quais 8.689 eram total ou parcialmente para hidreletricidade (ICOLD, 2014). Além de um aumento na atividade de construção de barragens na China e na região do Himalaia, a construção está aumentando e planos para o futuro são enormes em áreas tropicais na América Latina, África e sudeste da Ásia (e.g., Richter *et al.*, 2010; Tollefson, 2011). A fundição de alumínio, uma atividade que consome grandes quantidades de eletricidade, também se deslocou progressivamente para esses locais, inclusive ao Brasil (do Rio, 1996). As consequências ambientais e sociais são enormes nos locais onde as grandes barragens são construídas. Exemplos icônicos incluem as barragens de Narmada na Índia (Morse *et al.*, 1992; Dai Qing, 1994; Fisher, 1995), de Três Gargantas na China

(Fearnside, 1988, 1994) e as barragens planejadas Rio Mekong no sudeste da Ásia (Grumbine & Xu, 2011; Baran *et al.*, 2012). Ignorar ou subestimar os impactos na tomada de decisão é, de nenhuma maneira, restrito aos países em desenvolvimento, como mostrado pela história da construção de barragens nos Estados Unidos (Morgan, 1971). As barragens têm benefícios, bem como impactos, mas são os grandes impactos que fazem a consideração de como a eletricidade é usada um aspecto vital (e frequentemente negligenciado) no planejamento e tomada de decisão em países tropicais.

As decisões sobre a construção de barragens são não apenas influenciadas pelo equilíbrio (ou falta dele) em relatórios como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), mas também por processos políticos, incluindo a ação de organizações não-governamentais desde associações populares dos atingidos até organizações internacionais ambientais e de direitos humanos. Khagram (2004) revisou os papéis desses atores nas decisões sobre barragens em vários países em desenvolvimento, mostrando as diferenças entre os países com elevados graus de democracia e de mobilização social (Índia e Brasil), com democracia mas com baixa mobilização (África do Sul e Lesoto), pouca democracia mas alta mobilização (Indonésia) e níveis baixos tanto de democracia como de mobilização (China). É evidente o poder dos interesses financeiros e políticos em torno de barragens, incluindo interesses transnacionais, mesmo onde a sociedade civil é livre e ativa.

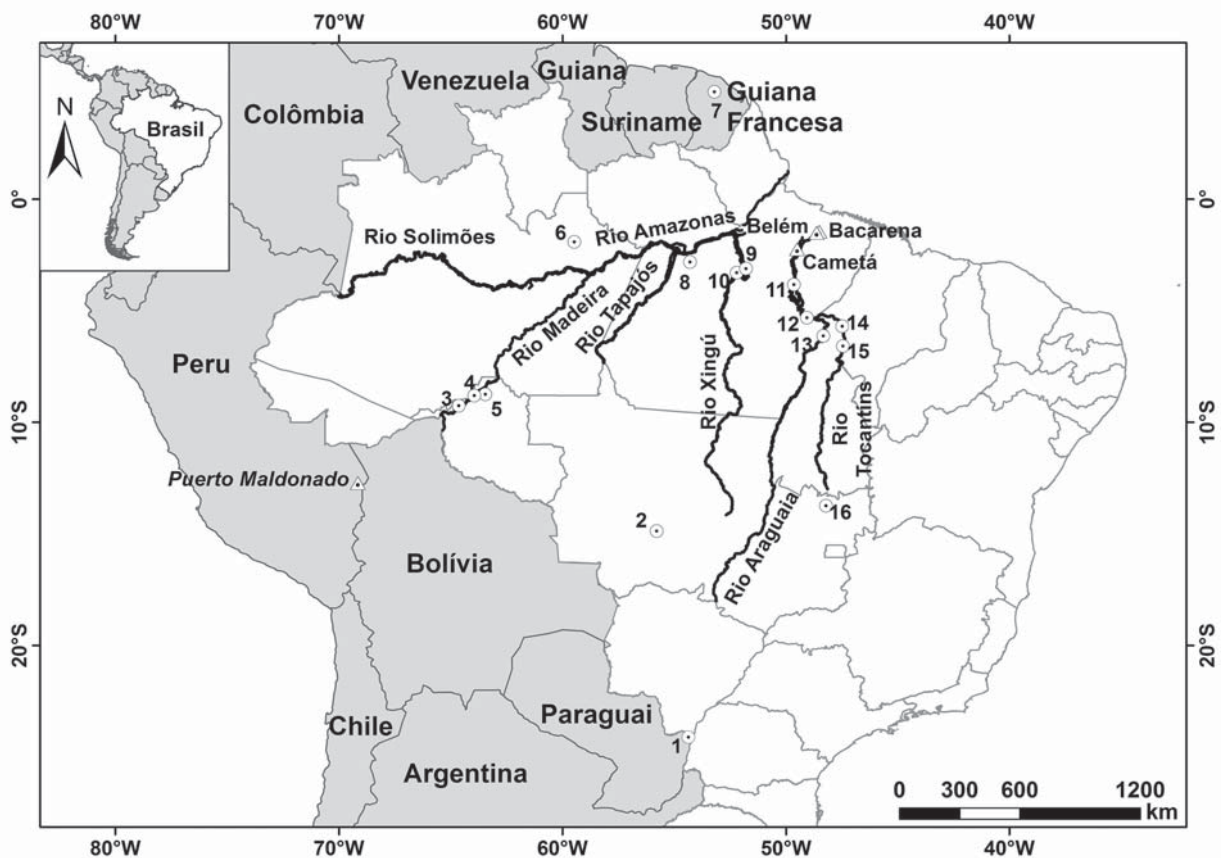
O Brasil lançou-se em uma campanha sem precedentes para construir hidrelétricas na região amazônica (Figura 1). Na Amazônia Legal brasileira existem 15 represas “grandes” (definidas no Brasil como  $> 30$  MW de capacidade instalada) com reservatórios cheios até maio de 2015. Além disso, há outras 37 barragens “grandes” planejadas ou em construção, incluindo 13 represas ainda não enchidas incluídas no plano de expansão de energia 2012-2021 (Brasil, MME, 2012, p. 77-78). A retração econômica do Brasil, desde esse plano, resultou no alongamento dos horizontes temporais para vários desses projetos, mas o plano de 2014-2023 ainda inclui 18 represas amazônicas na sua lista para construção em 10 anos (Brasil, MME, 2014, p. 80-81). Muitas outras têm sido inventariadas (e.g., Brasil, ANA, s/d [C. 2006], p. 51-56), incluindo 62 barragens adicionais listadas no “Plano 2010” (Brasil, ELETROBRÁS, 1987; ver: Fearnside, 1995). Além disso, o Brasil planeja construir seis hidrelétricas no Peru e uma na Bolívia ao longo deste período, principalmente para a exportação

de eletricidade para o Brasil (Finer & Jenkins, 2012; Wiziack, 2012).

O principal argumento usado para promover a energia hidrelétrica como a opção preferencial do Brasil para a produção de eletricidade é que as barragens (supostamente) são a opção menos cara em termos de investimento monetário por kWh da geração. No entanto, este argumento é duvidoso porque barragens quase sempre custam muito mais e levam mais tempo para construir do que originalmente se supunha, tornando-as consideravelmente menos atraente em termos financeiros do que se pensa quando a decisão é tomada. Este é um fenômeno mundial, como foi mostrado por uma revisão global recente de centenas de projetos hidrelétricos não rentáveis (Ansar *et al.*, 2014). No Brasil, por exemplo, o custo da barragem de Belo Monte já é o dobro do valor que do governo estimativa inicialmente (*e.g.*, *Veja*, 2013). Além do alto custo de barragens em termos de gastos de dinheiro, os custos não-monetários sociais e ambientais dessa opção são enormes e têm pouco peso nas decisões críticas sobre opções de energia. Muitas das

barragens planejadas no Brasil estão na Amazônia, porque os melhores locais em outras regiões do País já foram represados.

O presente trabalho examina os custos e benefícios ambientais e sociais do alumínio primário e revisa os impactos de barragens na Amazônia. O trabalho é limitado em abordar a relação entre o alumínio e barragens da Amazônia e seus impactos; uma reforma da política de energia requer resolver muitas outras questões necessárias para reduzir o consumo de energia e para fornecer fontes alternativas de energia elétrica. No entanto, a política energética do Brasil pode ser dividida e tratada em partes mais manejáveis. Um bom lugar para começar é a questão da exportação de alumínio. A mudança é melhor alcançada centrando a atenção sobre um ou alguns poucos fatores (o alumínio neste caso) e identificando os pontos críticos que impedem que os objetivos sociais e ambientais sejam alcançados. Esta é uma abordagem no campo da ecologia política.



**Figura 1.** Principais barragens mencionadas no texto. 1. Itaipu, 2. Manso, 3. Jirau, 4. Santo Antônio, 5. Samuel, 6. Balbina, 7. Petit-Saut, 8. Curuá-Una, 9. Belo Monte, 10. Babaquara, 11. Tucuruí, 12. Marabá, 13. Serra Quebrada, 14. Santa Isabel, 15. Estreito, 16. Serra da Mesa.

Em uma revisão sobre a ecologia política das grandes barragens, Nüsser (2003) concluiu que a indústria de alumínio é “intimamente vinculado ao *lobby* de construção de barragens”. As questões em torno da indústria de alumínio na Amazônia brasileira também são essenciais para outras áreas de pesquisa. Paul Ciccantell aplicou tanto a abordagem construcionista social da sociologia ambiental (Ciccantell, 1999a) como o novo materialismo histórico (que combina métodos da sociologia ambiental, da sociologia do desenvolvimento e da avaliação do impacto social) para interpretar o papel destes desenvolvimentos na globalização. Ele concluiu que “a incorporação da Amazônia através da indústria da alumínio é um caso chave de desenvolvimento baseada em matérias-primas na era da globalização” (Ciccantell, 1999b, p. 177). A distribuição altamente desigual dos impactos e benefícios do alumínio da Amazônia levanta questões de justiça ambiental; preocupações deste tipo têm sido mostradas para serem importantes em levar a mudanças tanto no nível do indivíduo como da sociedade (e.g., Reese & Jacob, 2015).

O alumínio e as hidrelétricas se encaixam no paradigma da “maldição dos recursos naturais”, que é mais conhecido para o caso da mineração, mas que também se aplica a outras formas de desenvolvimento onde indústrias intensivas extraem valiosos recursos naturais. O aparente paradoxo dos países com as maiores riquezas minerais terem as incidências mais altas de pobreza e os índices mais baixos de bem-estar social é uma generalização bem conhecida e robusta. Quanto maior a porcentagem do produto interno bruto de um país é derivado da extração de minerais, maior a sua pobreza (e.g., Sachs & Warner, 1995; Ross, 2001; Weber-Fahr, 2002; Pegg, 2003; Rich, 2013). Vários fatores contribuem para a explicação deste fenômeno (Collier, 2007, p. 38-52). Uma é a “doença holandesa”, nomeada após eventos na década de 1960 quando o advento das receitas de gás do Mar do Norte teve o resultado irônico de piora no emprego e no bem-estar geral da Holanda. Isto era porque a receita dos recursos naturais causou a moeda do país a ficar mais forte, tornando antieconômicas as indústrias de manufatura e outras geradoras de emprego que anteriormente tinham sustentado a economia. Outro fator é a volatilidade dos preços das *commodities* extrativas, levando a efeitos que prejudicam a governança e as instituições democráticas tanto durante a fase de *boom* como na queda. Outro fator levando a degradação da governança, e o consequente

impacto sobre os pobres, é a tendência da extração de recursos para gerar riqueza para as grandes empresas ou indivíduos ricos. Esta distribuição afeta o financiamento dos governos centrais, tanto através da tributação como através de contribuições mais diretas aos dirigentes políticos por meio de doações eleitorais e/ou corrupção. Esses líderes, então, tornam-se mais sensíveis às demandas de seus benfeitores do que aos interesses da população em geral. A exploração de centrais hidrelétricas se encaixa nesse paradigma, embora, no caso do Brasil, a eletricidade exportada em alumínio é apenas uma parte de uma mudança mais ampla na economia do País, com a manufatura sendo cada vez mais eclipsada por *commodities* primárias como soja e minério de ferro. Barragens são construídas por grandes empresas, produzem muito pouco emprego após a fase de construção (especialmente se a energia é usada para o alumínio) e as empresas de construção de barragens representam grandes doadores para os líderes políticos (como no caso do Brasil: consulte a seção sobre “O papel da corrupção”).

O objetivo principal deste trabalho é examinar os custos e benefícios sociais e ambientais da produção de alumínio primário e analisar os impactos das barragens na Amazônia. Os pesados impactos ambientais e sociais de barragens fazem com que exportar eletricidade na forma de alumínio seja uma escolha ruim para o desenvolvimento.

## Custos e benefícios do alumínio

### O alumínio e a construção de barragens

No Plano de Expansão de Energia 2011-2020, o governo brasileiro justifica-se destes planos ambiciosos no pressuposto de que o produto interno bruto (PIB) do país vai crescer em 5% ao ano durante o período, e a demanda por eletricidade aumentará no mesmo ritmo (Brasil, MME, 2011, p. 17 & 29). Em deferência a um inegável abrandamento econômico, o plano de 2012-2021 revisou a taxa anual para 4,4% para o período 2012-2016, mas manteve a taxa de 5% depois disso (Brasil, MME, 2012, p. 21). Em qualquer caso, manter estas taxas conduziria a uma astronômica demanda por eletricidade dentro de alguns anos como uma simples consequência da matemática de crescimento exponencial. Há muito espaço para questionar tanto o realismo destes pressupostos (e.g., Costa, 2012) e a sabedoria de componentes importantes do crescimento futuro presumido, particularmente a exportação de *commodities* de consumo intensivo de energia, como o alumínio. O



pressuposto é que o governo deveria correr para produzir eletricidade para fornecer qualquer quantidade de energia que o mercado “demanda” sem questionar se esses usos são benéficos para a sociedade brasileira. Esta demanda é cada vez mais moldada pelas exportações para mercados globais (Bermann, 2012c). No caso de alumínio primário, o insumo chave é a eletricidade ao invés de minérios ou mão-de-obra. Em um painel de discussão no 4º Congresso Internacional do Alumínio, em São Paulo em 2010, o Presidente da Alcoa América Latina e Caribe afirmou que a eletricidade representa 50% dos custos de produção total em Barcarena e São Luis (Highbeam Business, 2010). Em 1989, a eletricidade representava 35% dos custos operacionais para fundição de alumínio primário no Brasil, enquanto mão-de-obra representou 10% dos custos (E.U.A., DOE, 1997, p. 16). As despesas com energia elétrica e a sua proporção do custo total dependem muito da tarifa cobrada pela eletricidade, que varia em diferentes locais e períodos históricos, mas invariavelmente é subsidiada. Se a tarifa fosse a mesma que é cobrada aos consumidores residenciais, por exemplo, a eletricidade representaria uma proporção muito maior das despesas. As tarifas em contratos com empresas de alumínio têm sido condicionadas ao preço internacional do alumínio em grande parte do mundo, inclusive no Brasil (e.g., Brasil, MME, 1979). Isso cria uma situação perversa, onde o preço determina o custo, ao invés de o inverso (Burns, 2013). O resultado é o padrão de pesados subsídios e preços artificialmente baixos de alumínio e de eletricidade.

Em 2004 uma grande concessão de preço expirou: a concessão durante 20 anos (1984-2004) dada à Albrás (uma companhia composta por 33 empresas japonesas mais a Companhia Vale do Rio Doce – uma empresa de mineração do governo brasileiro que foi privatizada em 1997). A concessão tinha definido o preço da eletricidade, tal que o custo da energia consumida em fundição não excedesse 20% do preço internacional do alumínio (Brasil, MME, 1979), ou apenas um sexto do que pagaram os consumidores residenciais e um terço a metade do custo de geração da energia (Fearnside, 1999). A expiração da concessão era uma oportunidade para o Brasil se livrar deste dreno dos seus recursos energéticos ou para cobrar um preço que iria recuperar o custo total e fornecer um retorno razoável ao Brasil. Em vez disso, outra concessão de 20 anos foi concedida a preços altamente subsidiados que os proprietários

da fábrica estavam confiantes iam assegurar a continuidade de alta rentabilidade (Vale, 2004).

Os lingotes de alumínio representam a energia elétrica em uma forma que pode ser carregada em um navio e levado embora. Muitas outras partes do mundo preferem importar os lingotes do que produzi-los em casa porque gerar grandes quantidades de eletricidade necessária para fundir o alumínio teriam grandes impactos sociais e ambientais (Switkes, 2005; Müller-Plantenberg, 2006). A fundição em si também tem múltiplos impactos, tais como vários tipos de cânceres ocupacionais e outras doenças (Norseth, 1995). Impactos sociais podem ser substanciais, como no caso da usina da Albrás, em Barcarena, Pará (Coelho *et al.*, 2004; Monteiro & Monteiro, 2007). Essencialmente, os países que importam lingotes de alumínio ou produtos (incluindo produtos parcialmente transformados como barras e chapas) estão exportando o impacto ambiental e social destes produtos para lugares como o Brasil. O governo brasileiro vê a combinação de jazidas de bauxita e rios capazes de produzir energia hidrelétrica como uma oportunidade para explorar uma vantagem competitiva na exportação de alumínio (de Andrade *et al.*, 2001; Ciccantell, 2005). A pergunta é se isto representa uma escolha sábia.

Enquanto as represas sendo construídas pelo governo brasileiro produzem energia que é comprada por usinas de alumínio (com tarifas subsidiadas), a “autoprodução”, ou a construção e a operação de barragens por empresas de alumínio, também está aumentando (e.g., Bermann, 2004). Barragens para autoprodução na Amazônia brasileira estão listadas na Tabela 1. Nota-se que as cifras oficiais para pessoas afetadas (International Rivers, 2012) podem ser significativamente subestimadas, especialmente para a represa de Santa Isabel (Mougeot, 1990, p. 98).

Com exceção de casos onde barragens são construídas e possuídas pelas próprias empresas de alumínio, a associação entre barragens específicas e a fundição de alumínio é cada vez mais tênue, sendo

**Tabela 1.** Barragens para autoprodução de alumínio na Amazônia Brasileira

Barragem	Rio	Situação	Pessoas atingidas*	Observação
Estreito	Tocantins	Existente	5.937	Parcialmente para autoprodução
Serra Quebrada	Tocantins	Planejada	14.000	
Santa Isabel	Araguaia	Planejada	2.378	

\*Fonte: International Rivers (2012).

que a eletricidade no Brasil tem se tornado progressivamente mais integrada desde a criação do Sistema Interligado Nacional (SIN) em 1995. Todos os estados brasileiros deveriam estar conectados ao SIN até o final de 2015, embora a data para finalizar as linhas de transmissão para o último estado, a Roraima, vem sendo sucessivamente adiada. A hidrelétrica de Tucuruí, que bloqueou o Rio Tocantins em 1984, fornece um exemplo de uma barragem construída principalmente para alumínio (Pinto, 1997; Fearnside, 1999, 2001). Em 1989, 49,9% de toda a eletricidade consumida no Estado do Pará foi para as usinas de Albrás em Barcarena (Brasil, ELETRONORTE, 1987). Além de uma linha de transmissão direta de Tucuruí para Barcarena também tem uma linha direta para a fábrica de Alumar em São Luis, no Estado do Maranhão. Hoje, as novas barragens ligadas ao SIN fornecem energia para uma enorme rede nacional, que fornece eletricidade para usinas de alumínio em vários locais. Um resultado do advento do SIN é que os proponentes das hidrelétricas podem sempre alegar que a energia vai para as casas do povo brasileiro. Em 2008, o setor residencial representou apenas 22,3% do uso da eletricidade do Brasil, enquanto a indústria pesada (incluindo alumínio) foi responsável por 28,6%, a indústria leve 17,4%, o comércio e serviços 14,6%, governo 8,0%, energia 4,3%, agricultura 4,3%, mineração 2,6% e transporte 0,4% (Bermann, 2012a). O fato é que a eletricidade usada do SIN por empresas de alumínio é mais do que a geração de qualquer uma das barragens planejadas na região amazônica.

Em 2007, o consumo total de eletricidade no Brasil foi de 412,1 TWh (Brasil, MME, 2009, p. 26), enquanto o uso de alumínio primário foi de 25,13 TWh (ABAL, 2008, p. 48), ou 6,1% do total. Além de alumínio primário (lingotes), uma forma crescente de exportação é como chapas ou barras. É claro que o País também usa grandes quantidades de energia para outros fins. A explosão das represas amazônicas claramente não é impulsionada por alumínio sozinho, e é necessária uma ampla reforma das políticas de energia do País. Não obstante, o alumínio primário se destaca pelos altos impactos deste produto e pelos seus parcos benefícios para o Brasil. A possibilidade de expansão em grande escala das exportações de alumínio é real, uma vez que a demanda mundial por alumínio primário é esperada aumentar enormemente nas próximas décadas (Bergsdal *et al.*, 2004). Ao contrário de produtos finais, com consumidores finais no Brasil, a demanda potencial global é essencialmente infinita

do ponto de vista de qualquer dado país, mesmo um país tão rico em recursos energéticos como o Brasil. Em outras palavras, não há nenhum ponto de parada natural onde a pressa do Brasil para construir cada vez mais barragens seria interrompida por falta de mercados para o alumínio e outros produtos eletrointensivos. Decisões críticas, tais como quais os tipos de produto o País deve exportar e se deve construir dezenas de barragens na Amazônia, precisam ser feitas de forma racional e democrática, ao invés de ser entregue para a “mão invisível” da economia global.

### O Alumínio e os retornos econômicos

O alumínio exportado é isento do principal imposto do Brasil--o imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS). Este é um resultado da “Lei Kandir” (lei complementar n.º 67/1996). Sendo que a fundição de alumínio localizada na Amazônia é quase que exclusivamente para exportação, as usinas pagam pouco imposto, enquanto as usinas no resto do País, que abastecem principalmente indústrias de transformação para consumo doméstico, pagam muito mais. As taxas de imposto “nominais” cobradas das usinas amazônicas de Albrás e Alumar são estimadas em 18% e 13% da receita bruta, respectivamente, mas o imposto “efetivo” pago (após descontar incentivos fiscais e outros benefícios) é de apenas 8% em ambos os casos (Cardoso *et al.*, 2011, p. 70). Por outro lado, a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), localizada nos Estados de São Paulo e Minas Gerais, vende 71% da sua produção no mercado interno; sua taxa nominal de imposto de 21% é apenas ligeiramente reduzida para 20% como taxa efetiva (Cardoso *et al.*, 2011, p. 71).

O Brasil exportou 404.848 t de lingotes de alumínio em 2013, valendo US\$ 789,9 milhões (ABAL, 2014, p. 25 & 27). Com uma tributação efetiva de 8%, isto gerou apenas US\$ 63,2 milhões em receitas para o governo brasileiro – uma quantidade minúscula em comparação com o custo financeiro e os danos infligidos pelas hidrelétricas que estão por trás da indústria.

As importações brasileiras de alumínio têm aumentado, incluindo produtos intermediários, tais como chapas e hastes (Tabela 2). Parte da oferta de lingotes e outras formas sem transformação de alumínio para indústrias de transformação na região sudeste do Brasil vem de importações, principalmente da Argentina. Estas importações representam 12,6% do alumínio primário que não é

exportado em forma bruta (Tabela 2). Ao contrário das usinas de fundição no sudeste do Brasil, as usinas na Amazônia são dedicadas para exportação; o principal destino para lingotes é o Japão.

O consumo doméstico de alumínio tem subido no Brasil desde 2004, aproximadamente chegando ao dobro em 2013, e a indústria espera aumentar ainda mais até 2020 (Massarente *et al.*, 2013, p. 4). As exportações continuam a ser dominadas por lingotes e outros produtos sem transformação: 80,8% do peso exportado são nesta forma, enquanto outras 12,3% são em produtos semi-acabados e apenas 6,9% são em produtos manufaturados (Tabela 2). O impacto das barragens hidrelétricas que sustentam essas exportações é proporcional ao peso do alumínio exportado, não ao seu valor. A maior parte do valor das

exportações é, também, representada por alumínio não transformado: 58,9% do total (Tabela 2).

### O alumínio e o emprego

O Presidente da Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) elogia a produção de alumínio e hidrelétricas “para o crescimento do Brasil” (Azevedo, 2011). A implicação de que a fundição de alumínio primário esteja contribuindo para o alívio da pobreza e do desemprego no Brasil é enganador porque o custo de produzir os poucos empregos que são criados pelo alumínio primário significa sacrificar a oportunidade para o Brasil usar seus recursos financeiros e energéticos em outras maneiras mais benéficas. O emprego é mínimo na produção de alumínio primário. Em 2013, fundições brasileiras usaram 19.852 GWh de energia elétrica e sustentaram 28.928 empregos

**Tabela 2.** Alumínio no Brasil em 2013<sup>(a)</sup>

	Produção (peso em 1.000 t)	Importações (peso em 1.000 t)	Consumo (peso em 1.000 t)	Exportações				
				Valor (US\$ milhões)	Preço (US\$/t)	Por cento do peso exportado	Por cento do valor exportado	
<b>Sem transformação de metal</b>								
Lingotes	1.304,3	50,3	404,8	789,9	1.951,00	76,4	55,4	
Ligas		79,5	15,1	34,7	2.292,71	2,9	2,4	
Sucata	470,7	39,3	8,1	15,2	1.879,66	1,5	1,1	
Subtotal	1.775,0	169,1	12,6	428,0	839,7	1.961,73	80,8	58,9
<b>Produtos semi-manufacturados</b>								
Chapas	542,9	78,5	579,7	42,3	125,9	2.977,75	8,0	8,8
Cabos e hastes	140	2,8	134,8	6,7	16,3	2.433,01	1,3	1,1
Folhas	87,2	22,2	93,8	16,3	64,4	3.940,05	3,1	4,5
Subtotal	770,1	103,6	808,3	65,3	206,6	3.162,60	12,3	14,5
<b>Produtos fabricados</b>								
Produtos extrudados	357,8	17,3	367,5	7,2	51,6	7.209,96	1,4	3,6
Em pó	33,8	0,4	34,0	0,2	0,7	4.416,56	0,03	0,05
Produtos de uso doméstico	42,0	5,4	40,8	6,5	52,3	7.986,96	1,2	3,7
Peças fundidas	223,9		230,9	9,6	173,8	18.032,71	1,8	12,2
Outros	25,3	31,4	31,0	13,0	100,5	7.755,43	2,4	7,1
Subtotal	682,8	54,5	704,2	36,5	378,9	10.391,42	6,9	26,6
Usos destrutivos	40,8		40,8					
Totais	(c)	332,9	1512,5 (d)	529,9	1.425,2	2.689,37	100,0	100,0

(a) Fonte: ABAL, 2014: produção (p. 13 & 30), importações (p. 21), exportações (p. 27), consumo (p. 30).

(b) Produção deduzida a partir de consumo, exportações e importações.

(c) Observe-se que essa produção não pode ser totalizada, sendo que produtos na categoria de semi-manufacturados são feitos de metal sem transformação, e aqueles na categoria de fabricados são feitos a partir das duas categorias anteriores.

(d) Isto é o consumo total dado pela ABAL, que representa a soma dos subtotais para produtos semi-manufacturados e manufaturados. No entanto, isso provavelmente inclui alguma dupla contagem, porque alguns produtos fabricados são feitos de produtos semi-acabados.

diretos (ABAL, 2014, p. 10 & 34). Isto representa apenas 1,46 empregos por GWh de eletricidade, valor até inferior aos 2,7 empregos/GWh calculado por Bermann e Martins (2000, p. 90).

A construção de Belo Monte envolve dos custos monetários estimados, totalizando mais que R\$ 40 bilhões [aproximadamente US\$ 20 bilhões na época das estimativas]. Isto é o custo R\$ 30 bilhões estimado pelas empresas de construção em 2010 para a represa em si, mais os R\$ 5 bilhões contratados em 2014 para a primeira linha de transmissão e R\$ 7,7 bilhões contratados em 2015 para a segunda linha. No caso de Belo Monte, a escolha não é entre esta barragem ou nada, mas entre investir esta quantia de dinheiro em Belo Monte versus investir a mesma quantia em outra coisa. O custo da decisão de investir em Belo Monte não é apenas uma das oportunidades de criação de empregos perdidos, mas também os impactos ambientais e sociais significativos no Rio Xingu, tanto acima como abaixo da barragem (e.g., Santos & Hernandez, 2009).

Os números para emprego apresentados pelo Presidente da ABAL são agregados de uma forma que torna o alumínio parecer ser melhor do que é. Os números apresentados para o emprego mesclam os dados do beneficiamento de alumínio primário com o emprego em indústrias de “transformação” e com os empregos “indiretos” na economia mais ampla. O Presidente da ABAL alega que há 350.000 empregos “diretos e indiretos” (Azevedo, 2011). Isto é, aparentemente, uma expansão do que se entende por “indireta” da estimativa para 2009 no quarto relatório de sustentabilidade (2010) da ABAL de 346.000 empregos descrito como “direto, indireto e reciclagem” (ABAL, 2011, p. 31). Destes, 130.000 são “diretos e indiretos” e 216.000 estão em reciclagem (ABAL, 2011, p. 17). Particularmente pungente é a inclusão de reciclagem nestes números. O Brasil tem algumas das taxas de reciclagem de alumínio mais altas do mundo: 98,2% para reciclagem de latas de alumínio (ABAL, 2011, p. 46). Embora isso, sem dúvida, seja uma característica positiva, é menos um reflexo da consciência verde do que das desigualdades econômicas do País: muitas pessoas pobres sobrevivem pela recuperação de latas de alumínio jogadas na beira da estrada ou de lixões urbanos. Estes postos de trabalho, é claro, ainda estariam lá mesmo se nenhum alumínio primário fosse produzido no Brasil.

O anuário estatístico da ABAL de 2013 indica 90.509 postos de trabalho nas indústrias de transformação, ou seja, três vezes mais do que os 28.928 empregos na fundição de alumínio primário (ABAL, 2014, p. 10). A ABAL (2014, p. 10) afirma que há 382.449 empregos “indiretos”. Deve-se reconhecer que empregos “indiretos” não podem ser creditados ao alumínio, sendo que qualquer outra forma de investimento também criaria esses empregos quando o dinheiro pago em salários se espalha através de comunidades do entorno para criar postos de trabalho no comércio, serviços, etc. Os empregos indiretos são mais ou menos proporcionais ao número de empregos diretos criados, que, no caso de alumínio primário, é extraordinariamente baixo, tanto em termos de empregos por unidade de dinheiro investido na indústria como em termos de empregos por GWh de eletricidade consumida (Bermann & Martins, 2000; Bermann, 2002; Monteiro & Monteiro, 2007).

A ABAL alega merecer o crédito pelos benefícios “indiretos” da produção de alumínio, mas não se responsabiliza por eventuais impactos que não sejam aqueles dentro das paredes da própria fábrica de alumínio. A ABAL (2010) estima que as emissões de gases do efeito estufa sejam 6.661 t de CO<sub>2</sub>-eq / t de alumínio primário, ou 0,15% das emissões nacionais do Brasil. Infelizmente, o impacto das barragens hidrelétricas construídas para fornecer energia para essas fábricas é parte integrante do impacto da fundição de alumínio. O alto consumo de eletricidade do alumínio é até retratado como uma *benefício* indireto para o Brasil no Relatório de Sustentabilidade 2010 da ABAL: “Você sabia que... O setor do alumínio, por consumir energia com alto fator de carga durante 24 horas por dia, permite uma remuneração muito importante para o sistema gerador de energia hidrelétrica, contribuindo para a capacidade de investimento do setor de energia e sua expansão.” (ABAL, 2011, p. 37).

Ninguém gostaria de sugerir que o Brasil não deverá produzir alumínio para seu próprio consumo, mas definir o que é “consumido” no país é um rótulo escorregadio e facilmente manipulável. Lingotes de alumínio que são exportados são obviamente não “consumidos”, mas que tal o próximo passo na cadeia: alumínio na forma de barras ou de chapas? Esta primeira etapa de transformação produz algum emprego, mas muito menos do que as etapas posteriores de fabricação que fará produtos de consumo a partir dessas formas intermediárias. O alumínio é “consumido” no Brasil quando produtos intermediários



são produzidos e exportados? O emprego que geram é, sem dúvida, mínimo em comparação com o impacto financeiro, social e ambiental das barragens hidrelétricas que produzem o insumo principal para estes produtos: a eletricidade usada para fundição de alumínio primário. Produtos de exportação no topo da cadeia, como um avião feito de alumínio pela EMBRAER, produzem muito benefício ao País que ninguém iria querer perder. No entanto, produtos como aviões representam uma parte minúscula do alumínio total exportado pelo Brasil. Todos os aviões produzidos em 2011 (EMBRAER, 2012) multiplicados por seus respectivos pesos vazios representam um máximo de 3.409 toneladas, presumindo que eles são compostos apenas de alumínio. Isto representa apenas cerca de 0,2% da produção de alumínio primário do Brasil, que, em 2011, era de 1.861 milhão de toneladas (extrapolada a partir de dados disponíveis referentes aos anos anteriores). Onde a linha é traçada entre “consumo” e “exportação” tem efeitos drásticos sobre a política. Alguma mudança nas definições pode explicar os números estranhos sobre exportação apresentados pela ABA (Azevedo, 2011).

A ABAL indica que 56% do alumínio estava sendo “consumido” no mercado interno em 2007 (ABAL, 2008, p. 30), significando que 44% estava sendo exportado como alumínio primário. Em 2009 o consumo interno foi de 72% (ABAL, 2011, p. 31). O salto para 87% (1,3 entre 1,5 milhão de toneladas) em 2010, apresentado pela ABAL (Azevedo, 2011) provavelmente representa a aceleração de uma tendência para exportar mais do alumínio em formas ligeiramente mais acima na cadeia de transformação (diferente daquilo a ser consumido pelos usuários finais no Brasil). No entanto, para o alumínio produzido na Amazônia esta tendência bem-vinda parece não se aplicar. Os dados da ABAL indicam os destinos de exportação, liderados por países europeus (30,6%), seguidos pelos E.U.A. (28,6%), Japão (22,2%) e outros (18,6%) (ABAL, 2005, p. 20). O aumento na produção de alumínio do Brasil entre 2000 e 2008 (Bermann, 2012a) corresponde a uma taxa de crescimento de 3,9% ao ano. O Plano de Expansão de Energia 2011-2020 projeta uma produção anual de 2,537 milhões de toneladas até 2020 (Brasil, MME, 2011), que corresponde a um aumento de 3,6% ao ano de 2008 a 2020. O plano de 2012-2021 reduziu esta projeção para 1,1% ao ano, com base na alegação da ABAL de que a

eletricidade do Brasil é mais cara do que em países concorrentes (Brasil, MME, 2012, p. 28 & 35).

A título de ilustração, o Brasil poderia, se quisesse, importar o alumínio em qualquer fase da cadeia de produção, desde lingotes de alumínio primário até produtos acabados. Em 2009 o Brasil importou 162 mil toneladas de alumínio em forma de produtos acabados ou componentes, ou 16% do total “consumido” no País (ABAL, 2011, p. 31). Imagine, por fins de argumento, que o Brasil cessasse a produção de alumínio primário por completo e importasse lingotes suficientes para fornecer todos os três grupos: aqueles que fazem produtos de alumínio cujos consumidores finais são no Brasil, aqueles que fazem produtos finais para exportação, e aqueles que exportam produtos intermediários, tais como barras e chapas de alumínio. Neste caso, a quantidade de emprego na transformação e na manufatura do produto final seria o mesmo como é hoje. A diferença está no custo de produção do alumínio primário no mercado interno versus o custo de importá-lo. Já que o custo real da produção de alumínio primário, é em grande parte, não-monetário, sendo em forma de destruição social nos lugares onde as hidrelétricas são construídas e em impactos ambientais, tais como as emissões de gases de efeito estufa, tal escolha pode não ser tão irracional assim para o Brasil. A opção está sempre aberta para produzir apenas o suficiente de alumínio primário no Brasil para a fabricação de produtos finais que são consumidos no País, além de algumas exportações selecionadas de alto benefício, como aviões. O fim das exportações de lingotes crus, de bobinas de barras de alumínio e rolos de chapas de alumínio e de materiais de construção, embalagens e outros produtos de menor benefício, seria um pequeno preço a pagar comparado à destruição causada por hidrelétricas. O dinheiro economizado do investimento em barragens e dos produtos de alumínio menos nobres poderia ser investido em outras indústrias com maiores benefícios de emprego do que aqueles fornecidos por esta parte da cadeia de alumínio e sua indústria hidrelétrica associada.

Os inconvenientes associados com alumínio também se aplicam a outros productos eletrointensivos que são produzidos para exportação com energia das barragens na Amazônia. Ferro-ligas produzem menos emprego do que o alumínio primário: 1,1 empregos por GWh consumido (Bermann & Martins, 2000, p. 90). O Brasil produziu 0,984 milhão de toneladas de ferro-ligas em 2008 (Bermann, 2012a) e a produção anual deverá crescer para 2,060 milhões

de toneladas até 2020 (Brasil, MME, 2011), implicando uma taxa de crescimento de 6,4% ao ano. Em 2008, a produção de ferro-ligas consumiu 7.143,8 GWh e alumínio primário consumiu 25.247,2 GWh (Bermann, 2012a). Até 2020, o uso da eletricidade para ferro-ligas aumentaria para 14.955,4 GWh e o uso para o alumínio para 38.562,4 GWh. O total para estes dois produtos em 2020 (53.518,6 GWh) corresponde a um aumento de 4,2% ao ano desde 2008. Como regra geral, em muitos países, o investimento em *commodities* primárias, tais como estes, produz significativamente menos benefício para indicadores nacionais de bem-estar econômico do que outros tipos de investimento (Carmignani & Avom, 2010). A energia incorporada neste comércio é particularmente importante no caso do Brasil (Machado *et al.*, 2001; Bermann, 2011).

## ALUMÍNIO NO CONTEXTO DOS MERCADOS INTERNACIONAIS

O preço internacional do alumínio tem aumentado e caído ao longo das últimas décadas, com impactos lógicos na força desta mercadoria na condução de decisões sobre construção de barragens. Estes ciclos de preço podem ser esperados para continuar no futuro. Durante os períodos com preços atrativos, o alumínio tem sido um dos motivos (e em muitos casos o principal motivo) para a construção de algumas das barragens de maior porte do mundo, que são também algumas com os maiores impactos ambientais e sociais. Estas incluem as hidrelétricas de Tucuruí no Brasil, Akosombo no Gana, o complexo de James Bay no Canadá, Guri na Venezuela e várias barragens na região da Patagônia no Chile (Gitlitz, 1993). As barragens Inga existentes e planejadas no Rio Congo tiveram uma longa história de conexão com o alumínio, com um enorme complexo de usinas de fundição oriundos de vários países planejado desde a década de 1970 até o início dos anos 1980 e novamente na década de 2000 antes da derrocada financeira mundial de 2008 (Misser, 2013). Além de flutuações de preços, acontecimentos políticos e militares na República Democrática do Congo têm impedido a implementação do plano (Misser, 2013); no entanto, o Congo é especificamente mencionado pelo Instituto Internacional de Alumínio (IAI) como um local provável para futuras usinas de fundição (Nappi, 2013, p. 27).

Os preços de alumínio caíram dramaticamente de US\$ 3.000/tonelada para US\$ 1.250/tonelada

com a crise financeira global em 2008; os preços recuperaram parcialmente a US\$ 2.750/tonelada até abril de 2011 e depois declinaram até um platô em torno de US\$ 2.000/tonelada em meados de 2013, onde permaneceram até abril de 2015 (LME, 2015). Preços baixos causaram o adiamento de planos de expansão de usinas brasileiras. Por exemplo, em 2009, a Votorantim colocou em espera uma expansão planejada de 100.000 t/ano da sua usina com capacidade de 475.000 t/ano em Sorocaba, São Paulo, enquanto ao mesmo tempo investia em uma nova usina de alumínio em Trinidad e Tobago, onde o financiamento chinês havia sido atraído com uma oferta de eletricidade barata durante 30 anos, gerada a partir das reservas abundantes de gás natural do país (Ribeiro, 2009). Presumivelmente, em alguma data futura a demanda global deverá ter uma elevação suficiente para fazer investimentos em fundições no Brasil e em outros lugares atraente novamente.

Os baixos preços que afetam as decisões no Brasil têm efeitos similares em todo o mundo. Em dezembro de 2013, um ano depois que um memorando de entendimento havia sido assinado com o governo paraguaio, a empresa Rio Tinto Alcan “adiou” uma usina de fundição de alumínio de US\$ 4 bilhões no Paraguai que havia sido programado para entrar em operação em 2016 produzindo 674.000 toneladas por ano (Reuters, 2013). Este adiamento foi motivado pelo baixo preço do alumínio, combinado com um excesso de capacidade de muitas usinas de alumínio em todo o mundo devido à atitude inesperada da China em fundir mais de seu próprio alumínio em vez de importá-lo (Trefis, 2013). Fundição de alumínio primário da China aumentou de 2,7 milhões para 21,9 milhões de toneladas por ano no período de 2000 a 2013, e aumentou ainda mais para 27,7 milhões de toneladas por ano em 2014 (IAI, 2015).

O crescimento global projetado da demanda por alumínio primário para 2013-2030 implica o equivalente a 40-50 novas usinas de 500.000 t/ano, além de usinas adicionais para substituir algumas das instalações existentes que serão desmanteladas ou ficarão ociosas durante este período (Nappi, 2013, p. 26). Mudanças nos locais de produção de alumínio primário são esperadas para ser no sentido de “regiões onde a energia ociosa pode estar disponível” (Nappi, 2013, p. 27). Entre os fatores que deverão influenciar estas mudanças estão as restrições nas emissões de CO<sub>2</sub> proveniente de fontes de energia. Apesar de barragens tropicais não serem “verdes” em termos de gases de efeito estufa (Fearnside, 2015a,b),

este argumento é provável ser usado para favorecer o movimento da capacidade de fundição para o Brasil e outros locais tropicais com potencial hidrelétrico, tais como o Congo. A mudança da China para fundição doméstica é especialmente problemática à luz do compromisso anunciado em 2014 para reduzir as emissões do país após 2030 (e.g., Petherick, 2015). Em 2013, a China usou 302.913 GWh de energia elétrica em fundição de alumínio primário, ou 49,5% do total mundial e dez vezes mais do que toda a América Latina; 90% da eletricidade usada para fundição de alumínio na China veio do carvão (IAI, 2015).

## ALUMÍNIO NO CONTEXTO DA POLÍTICA ENERGÉTICA DO BRASIL

O Brasil precisa desenvolver fontes de energia “alternativas”, mas isso é apenas uma parte do que é necessário na política energética. A eficiência energética vem antes de “alternativas”. Uma grande oportunidade para oferecer melhorias em sistemas de transmissão: perdas de transmissão no Brasil de 20%, por exemplo, são o dobro das perdas na Argentina (Rey, 2012). O aumento da eficiência energética em uso residencial e industrial também oferece grandes oportunidades (Kishinami, 2012). O plano nacional do Brasil para mudanças climáticas observa que 5% da eletricidade do País é usada para aquecer água por chuveiros elétricos, a substituição do que é uma meta oficial (Brasil, CIMC, 2008, p. 58). Muita água de banho no Brasil pode ser aquecida com aquecedores solares sem uso de eletricidade ou de combustíveis fósseis (Costa, 2007).

Primeiro e mais importante é a necessidade de uma reformulação completa dos usos de energia e uma avaliação dos usos da energia em termos do interesse nacional. Reconhecer os impactos das hidrelétricas, especialmente em comparação com outras opções, representa uma parte central desta tarefa. As hidrelétricas têm impactos enormes, muitos dos quais não são amplamente conhecidos pelo público em geral e muitos dos quais não são considerados, ou não são devidamente avaliados, no atual sistema de licenciamento ambiental no Brasil e em muitos outros países. Os impactos de hidroenergia são maiores e os benefícios menores, em comparação com a imagem que a indústria hidrelétrica e o governo brasileiro têm promovido e em comparação com muitas outras opções (Moreira, 2012). Isto fornece uma forte fundamentação para uma mudança de rumo no

setor energético do Brasil, incluindo a eliminação das exportações de produtos intensivos de energia e de baixo valor, fomento da eficiência e do investimento em fontes como eólica e solar. Uma razão adicional para perseguir alternativas às barragens é a preocupação que as mudanças climáticas previstas reduzirão significativamente a confiabilidade das hidrelétricas amazônicas (Kemenes *et al.*, 2012).

A política de energia do Brasil representa um conjunto de problemas de tal dimensão e complexidade que uma reação comum é de supor que nada pode ser feito para mudá-lo. As decisões-chave são fragmentadas entre os diferentes ministérios: o Ministério do Meio Ambiente, que é o mais preocupado com os impactos ambientais e sociais das barragens, tem pouca influência sobre o Ministério das Minas e Energia, que promove a energia hidrelétrica. O Ministério das Minas e Energia tem pouca influência sobre o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio ou o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, que provovem a exportação de alumínio. Essencialmente, as decisões de planejamento são feitas sob a suposição de que o Ministério das Minas e Energia construirá quantas barragens sejam necessárias para suprir as demandas implícitas de energia, e que o Ministério do Meio Ambiente irá corrigir quaisquer problemas ambientais que sucedem. O padrão de investir enormes somas de recursos públicos em hidrelétricas (através do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES) e do Ministério das Minas e Energia e os contribuintes assumirem o risco associado a essas empresas sem condições de serem cobertas por seguradoras, contrasta com os montantes modestos dedicados a alternativas, tais como a eficiência energética e a geração de fontes tais como eólica, solar e e das marés.

Enormes problemas, tais como a reforma das políticas de energia do Brasil, podem ser divididos em componentes mais gerenciáveis e enfrentando um de cada vez. O Brasil “consumiu” 500,1 TWh de eletricidade em 2012 (Brasil, MME, 2012, p. 38). Na realidade, parte da eletricidade não era “consumida” por usuários finais no Brasil, mas, em vez disso, foi exportada em *commodities* eletrointensivas como o alumínio. Uma decisão de alto nível para não exportar estas *commodities* é um bom lugar para começar a tratar essa questão. Outras “cunhas” no problema de energia do Brasil também devem ser abordadas, mas isto não deve impedir a ação em cada um dos



componentes individuais do problema, começando com o alumínio.

## O PAPEL DA CORRUPÇÃO

Porque a construção da barragem envolve grandes quantias monetárias, a corrupção é um fator que pode facilmente se tornar uma parte endêmica da tomada de decisão sobre estes projetos. Ao investigar os contratos para Tucuruí, Lúcio Flávio Pinto (um proeminente jornalista) corajosamente fez uma série de acusações de corrupção contra alguns dos indivíduos mais poderosos do Brasil (Pinto, 1991, p. 143). Acusações de corrupção envolvendo a construção de Itaipu, compartilhada por Brasil e Paraguai, surgiram da mesma forma depois que as ditaduras nessas dois países terminaram em 1985 e 1986, respectivamente (Schilling & Canese, 1991). A represa, construída pelos governos militares em ambos os lados do Rio Paraná, foi ainda mais protegida de questionamentos por ser confiada a uma empresa Binacional, especialmente criada, que foi isenta dos regulamentos na licitação e contabilidade financeira nos dois países. A corrupção é acreditada como um fator importante para muitas barragens em todo o mundo em países como a Malásia (BMF, 2015), China (Peryman, 2008), Nepal (Shenker, 2010), Etiópia (Plummer, 2009), Índia (Indian Express, 2011) e em Laos e os outros países do Rio Mekong (Stuart-Fox, 2006; *The Economist*, 2012).

Certamente um dos casos mais notórios de corrupção na construção de barragens é a hidrelétrica Yacyretá entre Argentina e Paraguai, que o presidente da Argentina Carlos Menem famosamente chamou de um “monumento à corrupção” (Christian, 1990). A Comissão Mundial de Barragens alegou que, em 1994, a quantia roubada já totalizava US\$ 6 bilhões (World Bank, 2003, p. 59). Grande parte do financiamento havia sido fornecido pelo Banco Mundial, e o total perdido com a corrupção, sem dúvida, foi consideravelmente maior quando a barragem foi finalmente concluída em 2011, 31 anos após seu primeiro empréstimo do Banco Mundial (Rich, 2013, p. 49-52). Parte da energia de Yacyretá é usada para produzir os lingotes de alumínio, ligas e produtos semi-acabados que a Argentina exporta para o Brasil (Tabela 2). Paraguai sofreu a maior parte dos impactos sociais, incluindo deslocando 50.000 cidadãos urbanos; com um total de mais de 70.000 pessoas deslocadas, menos de 19.000 tinha qualquer tipo de reassentamento antes que o

reservatório estivesse cheio em 1994 (Rich, 2013, p. 50). O Paraguai não tinha necessidade para a eletricidade em si, uma vez que a parte paraguaia da energia gerada desde 1985 em Itaipu é muito mais do que o consumo total do país, e a maior parte da parcela paraguaia da geração é vendida para o Brasil.

Dados divulgados pelo Tribunal Supremo Eleitoral (TSE) mostram que os quatro maiores doadores para as campanhas eleitorais no Brasil entre 2002 e 2012 foram empresas de construção que fazem barragens e outros grandes projetos de infraestrutura (Gama, 2013). Tais contribuições são extraordinariamente lucrativas para as empresas doadoras (Scofield Jr., 2011). Empresas de construção representaram o maior setor contribuindo com doações para as campanhas eleitorais da atual presidente do Brasil, incluindo dois doadores dos três principais: Camargo Corrêa e Andrade Gutierrez (Zampier, 2010). É relevante notar a confissão em março de 2015 do diretor-presidente da Camargo Corrêa (segunda maior construtora do Brasil) indicando que, a fim de obter 16% dos contratos para a represa de Belo Monte, a empresa pagou “propinas” (subornos) no valor de R\$ 100 milhões (~ US\$ 50 milhões na época dos contratos em 2010) (*Amazonas em Tempo*, 2015). Se as outras empresas de construção de Belo Monte pagaram na mesma proporção, o total seria de R\$ 600 milhões ou US\$ 300 milhões para esta barragem, e esta é apenas uma das várias barragens em construção na Amazônia brasileira.

## IMPACTOS DE BARRAGENS NA AMAZÔNIA

### Perdas à inundação

O fato de que a terra é inundada por reservatórios é óbvio e é o foco de quase toda a consideração nos Estudos de Impacto Ambiental (EIAs) das barragens no Brasil. A perda de terra, e o que poderia ter sido produzido se uma barragem não tivesse sido construída, muitas vezes é substancial (e.g., Mougeot, 1990; Santos *et al.*, 1996). Características naturais também podem ser perdidas, a inundação do Parque Nacional de Sete Quedas pelo reservatório de Itaipu é o exemplo mais conhecido no Brasil. Um exemplo atual é a edição pelo governo de uma medida provisória, posteriormente convertida em Lei No. 12,678/2012, reduzindo as áreas de unidades de conservação já existentes para abrir caminho para as primeiras seis barragens propostas na bacia do Rio Tapajós (ver: Bermann, 2012b). Além da perda de floresta pela



inundação, as barragens estimulam o desmatamento no entorno (e.g., Barreto *et al.*, 2011).

O deslocamento de populações humanas representa um impacto que, por ser, em grande parte, não-monetário, tem recebido muitas vezes pouco peso nas decisões sobre a construção de barragens, apesar de ser um padrão repetido de barragens que provoca sofrimento dramático nas áreas afetadas (Goldsmith & Hildyard, 1984, 1986; Cernea, 1988; McCully, 2001; Scudder, 2006; Oliver-Smith, 2009; Zhouri, 2011). A hidrelétrica de Tucuruí (concluída em 1984, no rio Tocantins, no Estado do Pará) fornece um exemplo onde 23.000 pessoas foram deslocadas pelo reservatório e onde áreas de assentamento experimentaram dramáticos problemas relacionados à agricultura, à saúde e a falta de infraestrutura (Fearnside, 1999). O número de pessoas a ser deslocada pela represa Belo Monte, no Rio Xingu, no Pará (onde a construção começou no final de 2011) é muito maior do que aquelas que são reconhecidas pelas autoridades elétricas (Santos *et al.*, 2009). Em parte isto é devido à prática da definição de população afetada usando critérios que consistentemente minimizam o número de pessoas identificadas como afetadas, na prática limitando-se àquelas cuja terra é inundada pelo reservatório (ver: Vainer *et al.*, 2009; Hernandez & Santos, 2011). A Comissão Mundial de Barragens (WCD) tem realizado uma revisão em todo o mundo do reassentamento por barragens, indicando a ocorrência generalizada dos impactos da perda de moradias e de meios de subsistência (WCD, 2000, p. 97-133). Foram os princípios de justiça ambiental dados mais peso na tomada de decisão do Brasil, estas considerações pesariam fortemente contra barragens e alumínio.

A maneira em que as decisões sobre barragens são tomadas, que implicam em destruir o modo de vida de dezenas de milhares de pessoas, muitas vezes incluindo povos indígenas e comunidades ribeirinhas tradicionais, se trata de uma questão de justiça social. Os custos monetários de hidrelétricas podem ser distribuídos em toda a sociedade, através da arrecadação de impostos e pelas contas de electricidade mais altas, mas a maioria dos impactos humanos e ambientais é forçada sobre um número de pessoas comparativamente pequeno que, por acaso, vivem ao longo do rio que está represado. Geralmente, essas pessoas ficam longe daquelas que receberão os benefícios (WCD, 2000).

A decisão de construir uma barragem no Brasil é feita por um punhado de pessoas em instituições, tais como os centrais elétricas do Brasil (ELETROBRÁS), o Banco Nacional do Desenvolvimento Económico e Social (BNDES) e a Casa Civil, da Presidência da República (e.g., Fearnside & Laurance, 2012). Enquanto o processo de licenciamento pode envolver anos de estudos, audiências e “consultas”, a decisão de construir a barragem já foi tomada em um sentido real (diferente de um sentido teórico ou jurídico). Aqueles que sofrerão os impactos não têm voz ou representação quando é tomada a decisão real (ver exemplos em Fearnside, 1989, 1999, 2005a).

### Os impactos a jusante

Os impactos das barragens vão muito além da área diretamente inundada pelo reservatório. Impactos a jusante são largamente ignorados (Richter *et al.*, 2010). No caso de Belo Monte, as pessoas que vivem a jusante foram consideradas não “diretamente” impactadas (Brasil, ELETROBRÁS, 2009), e o Governo, portanto, não fornece os mesmos direitos para consultas para povos indígenas como seria o caso pra aqueles da área a ser inundada (*The Economist*, 2013). O chamado “trecho seco” abaixo de Belo Monte é o resultado da represa por desviar 80% da água para o lado através de uma série de canais, para retornar ao rio em um ponto cerca de 100 km a jusante (Brasil, ELETROBRÁS, 2009). Existem duas áreas indígenas ao longo do trecho do rio na “volta grande” do Rio Xingu que terá o seu fluxo de água reduzido a uma quantidade mínima, privando os povos indígenas e outros moradores dos peixes que são sua fonte de alimento principal, bem como interferindo com o papel do rio para o transporte (Santos & Hernandez, 2009; de Sousa Júnior & Reid, 2010).

Os impactos a jusante são consideráveis mesmo quando as barragens têm o desenho mais comum, onde a água é liberada em uma potência localizada diretamente abaixo da barragem. A água que passa através das turbinas é retirada na parte inferior do reservatório a uma profundidade onde a água está quase sem oxigênio (Fearnside, 2002). Dependendo de fatores tais como a entrada de córregos tributários significativos, a água frequentemente corre ao longo de grandes distâncias abaixo de uma barragem antes de recuperar a quantidade de oxigênio que seria encontrada no rio natural (e.g., Gosse *et al.*, 2005;

Kemenes *et al.*, 2007). A água sem oxigênio mata muitos peixes e impede que os outros entrem no rio por baixo, como no caso dos peixes que ascendem os afluentes do Rio Amazonas (de Almeida-Val *et al.*, 2006). A consequência para os meios de subsistência dos moradores a jusante é dramática, e estes impactos são completamente não reconhecidos e não compensados nas barragens existentes. A barragem de Tucuruí fornece um exemplo claro. Em Cametá, a maior das cinco cidades ribeirinhas no baixo Rio Tocantins (180 km a jusante de Tucuruí), a captura de pescado caiu em 82% e a captura de camarão de água doce em 65% entre 1985 e 1987 (Odinetz-Collart, 1987; ver Fearnside, 2001). Os desembarques de peixes em Cametá, que eram 4.726 t/ano em 1985 (Odinetz-Collart, 1987) continuaram a diminuir, estabilizando em uma média de 284 t/ano para o período 2001-2006 (Cintra, 2009, p. 97), ou seja, uma perda de 94%. Apenas a perda de peixes em Cametá é maior do que toda a captura de peixe no reservatório de Tucuruí no período 2001-2006, de 4.078 t/ano em média (Cintra, 2009, p. 97). A maior parte da frota de pesca em Cametá simplesmente desapareceu depois que o rio foi represado. O mesmo ocorreu com a frota de pesca no São Sebastião do Uatumã, a mais de 200 km a jusante da hidrelétrica de Balbina (ver Fearnside, 1989).

O pulso de inundação nos rios amazônicos sem barragens é uma característica essencial de quase todos os aspectos de ecossistemas naturais de várzea, bem como a agricultura, que depende da renovação anual da fertilidade do solo por meio de sedimentos depositados pelas inundações (e.g., Junk, 1997). Este pulso também é essencial para entradas de nutrientes para os lagos de várzea, onde muitas espécies de peixes se reproduzem (incluindo espécies comercialmente importantes). Reduzir este pulso é uma preocupação, por exemplo, para lagos de várzea ao longo do Rio Madeira a jusante das barragens de Jirau e Santo Antônio. O rio abaixo dessas represas (que começou a gerar energia em 2011 e 2013, respectivamente) não foi considerado para ser parte da área de influência para os impactos ambientais (FURNAS *et al.*, 2005).

### Impactos a montante

As barragens também bloqueiam a migração de peixes, tanto ascendentes como descendentes (Barthem & Goulding, 1997). Muitas espécies de peixes na Amazônia têm uma “piracema”, ou uma

migração em massa subindo os afluentes para procriar no início da época das cheias (Barthem *et al.*, 1991). Após a reprodução nas cabeceiras do rio, os peixes recém-nascidos descem os afluentes com a corrente e depois crescem até à idade adulta no principal do Rio Amazonas (Carvalho & Fabr e, 2006). Este era o caso para os grandes bagres como a dourada (*Brachyplatystoma rouxeauxii*) e a piramutaba (*B. vaillantii*) que subiam o Rio Madeira para desovar na Bolívia e no Peru (Barthem *et al.*, 1991; Barthem & Goulding, 1997). Com 920 espécies, o Madeira era um dos rios mais ricamente dotados de peixes no Brasil e no mundo (Torrente-Vilara *et al.*, 2013). Os bagres gigantes do Rio Madeira tradicionalmente têm representado um significativo recurso econômico e alimentar na parte brasileira do rio (Goulding, 1979; Doria *et al.*, 2012). Esses bagres também sustentavam a pesca na Bolívia e no Peru, incluindo a frota de pesca em Puerto Maldonado, Peru (Ca as & Pine III, 2011). As passagens para peixes nas barragens não tem nenhuma chance de manter esta migra o de peixes subindo o rio, nem de prevenir a mortalidade dos peixes recém nascidos descendo o rio (Fearnside, 2014a).

Impactos a montante dos reservatórios hidrelétricos também incluem a eleva o dos níveis do rio, conhecido como o “remanso superior”. Quando um rio entra em um reservatório em sua extremidade a montante, a velocidade do fluxo de água imediatamente diminua para uma taxa muito mais lenta, fazendo com que o sedimento na água caia até o fundo. Partículas grandes, tais como a areia, caem imediatamente para o fundo do reservatório, enquanto sedimentos finos, como o silte, ficarão perto da barragem na extremidade inferior do reservatório (Morris & Fan, 1998). Isto   especialmente importante em um rio como o Madeira, que tem uma das maiores cargas de sedimentos no mundo (Meade, 1994). O grande depósito na extremidade superior do reservatório constitui um montículo que age como uma segunda barragem retendo a água e elevando o nível de água no trecho do remanso superior, que está fora do que   oficialmente considerado parte do reservatório. Isto   crítico no caso das barragens do Madeira, porque o reservatório de Jirau oficialmente estende-se exatamente   fronteira com a Bolívia, mas o remanso superior inundaria terras na Bolívia, incluindo parte de uma unidade de conserva o (Molina Carpio, 2005). O trecho de remanso superior não foi incluído nos estudos de impacto ambiental (EIA-RIMA) para as represas

do Madeira (FURNAS *et al.*, 2005). Na enchente de 2014 a presença do reservatório de Jirau causou um aumento adicional de 1 m do nível da água na fronteira, causando inundações na Bolívia no trecho do remanso superior (Vauchel, 2014).

## Mercúrio

A contaminação por mercúrio pode ser um dos custos sociais e ambientais do aproveitamento hidrelétrico na Amazônia. O uso de mercúrio na mineração de ouro lançou centenas de toneladas deste metal no meio ambiente na Amazônia (Pfeiffer & de Lacerda, 1988; de Lacerda *et al.*, 1989; Bastos *et al.*, 2006, 2015). A fonte do mercúrio pode ser de mineração de ouro, feita diretamente na área do reservatório, como a que ocorreu na área recentemente inundada pelas barragens do Rio Madeira e em áreas planejadas para barragens no Rio Tapajós e seus afluentes (Pfeiffer *et al.*, 1991; Boischio *et al.*, 1995; Forsberg & Kemenes, 2006). A mineração de ouro na bacia hidrográfica do reservatório também pode ser uma fonte potencial de mercúrio, como é o caso da área de mineração de Serra Pelada, a montante de Tucuruí; o transporte para o reservatório é principalmente por água, em vez de por meio da atmosfera, e o mercúrio é estimado em estar acumulando no reservatório de Tucuruí, a uma taxa de 235 kg ano<sup>-1</sup> (Aula *et al.*, 1995). No entanto, entradas de mercúrio a partir da atividade de mineração de ouro não são necessárias para ter contaminação, e reservatórios em áreas sem histórico de mineração de ouro também têm altos níveis de mercúrio, como em Balbina (Kehring *et al.*, 1998; Kashima *et al.*, 2001; Weisser, 2001). Como os solos na Amazônia são antigos, eles acumularam mercúrio ao longo de milhões de anos quando a poeira de erupções vulcânicas ao redor do mundo caiu sobre a paisagem (Roulet & Lucotte, 1995; Roulet *et al.*, 1996). A erosão do solo em áreas desmatadas carrega matéria orgânica e o mercúrio associado para os rios amazônicos, aumentando os níveis de mercúrio nos sedimentos (Roulet *et al.*, 2000). A deposição atmosférica inclui contribuições de fontes industriais ao redor do mundo, incluindo a queima de carvão (Zhang *et al.*, 2002), bem como a queima de biomassa na Amazônia (Veiga *et al.*, 1994).

Os sedimentos no fundo de um reservatório estão sem oxigênio e fornecem um ambiente ideal para a metilação de mercúrio, ou seja, a adição de um grupo metil (CH<sub>3</sub>) ao mercúrio metálico (Hg) (Huguet *et al.*, 2010). Isto é o que torna o mercúrio altamente venenoso (Tsubaki & Takahashi, 1986).

Quimicamente, o processo é semelhante a metanogênese, ou formação de metano (CH<sub>4</sub>), que também ocorre nas mesmas condições anóxicas (Kelly *et al.*, 1997). Quando um reservatório está inundado, nos primeiros anos há um grande pulso de metilação bacteriana do mercúrio acumulado que está associado com a matéria orgânica do solo. Este fenômeno foi observado em reservatórios de clima temperado e, especialmente, nas zonas boreais (Joslin, 1994; Rosenberg *et al.*, 1995). Após este pico inicial, a acumulação em longo prazo nos peixes pode ser sustentada em taxas mais modestas de metilação em plâncton (St Louis *et al.*, 2004) e biofilmes (Huguet *et al.*, 2010). Embora os níveis de contaminação variem, dependendo da química da água e outros fatores em cada local, observações em reservatórios brasileiros indicam que se trata também de um problema geral em áreas tropicais. Em termos de impacto humano, a importância da favorabilidade dos locais para a metilação, muitas vezes ofusca o papel da existência de grandes quantidades de mercúrio metálico: áreas sem a mineração de ouro podem ter alta contaminação em seres humanos, sendo que as quantidades encontradas nas amostras de peixes e cabelo humano variam de acordo com a química da água, rios com pH baixo e carbono orgânico dissolvido alto tendo níveis mais altos de mercúrio (Silva-Forsberg *et al.*, 1999).

O mercúrio está dormente no solo em uma forma inofensiva, mas a situação muda imediatamente quando o solo é inundado por um reservatório (e.g., Joslin, 1994). O mercúrio se concentra nos peixes, com a quantidade aumentando a cada passo na cadeia alimentar, por exemplo, 2-4 vezes por nível trófico no caso de Tucuruí (Porvari, 1995). O tucunaré (*Cichla ocellaris* e *c. temensis*), um predador, é a espécie de peixe dominante em reservatórios amazônicos e foi encontrado contendo os níveis de mercúrio que excedem grandemente as normas internacionais de saúde para consumo humano, nos casos de Tucuruí (Porvari, 1995; Santos *et al.*, 2001) e Samuel (Malm *et al.*, 1995). Os seres humanos são o próximo passo da cadeia alimentar. Em Tucuruí, os moradores do lago consumindo peixes tinham níveis mais elevados de mercúrio do que aqueles em garimpeiros que são notórios por contaminação por mercúrio (Leino & Lodenius, 1995). Danos citogenéticos e uma variedade de deficiências motoras e visão lateral reduzida, que são os primeiros sintomas da doença de Minamata (envenenamento por mercúrio), foram medidos em populações ribeirinhas da Amazônia (Lebel *et al.*, 1998; Amorim *et al.*, 2000). O principal fator para evitar que a contaminação por mercúrio tenha um impacto mais difundido no Brasil é



a produção muito baixa de peixes nos reservatórios (e.g., Junk & de Mello, 1990; Cintra, 2009). A contaminação, portanto, é em grande parte concentrada nas populações locais perto de reservatórios, longe de centros do país e do poder político (ver Fearnside, 1999, 2005a). Embora a questão de justiça ambiental que isto implica deve adicionar ao peso dos fatores negativos em decisões sobre construção de barragens, na prática, a distribuição espacial dos impactos faz com que os tomadores de decisão ignorem mais facilmente esses fatores.

### Cascatas de barragens

Outro aspecto de barragens com grandes impactos, para escapar do atual processo de licenciamento ambiental, é a interligação com outras barragens existentes ou previstas no mesmo rio (Fearnside, 1999, 2001). Esta é uma importante diferença de outros tipos de geração elétrica, onde cada usina é independente das outras usinas. A produção energética das barragens a jusante é aumentada regulando os fluxos de água do rio, armazenando água durante o período de enchente e liberando-a durante o período de vazante (e.g., Nilsson *et al.*, 2005). Esta água armazenada gera eletricidade várias vezes – uma vez na represa rio acima e novamente em cada barragem a jusante. Isso cria uma tentação incorporada para construir mais barragens a montante de qualquer barragem sendo avaliada para licenciamento. No caso da hidrelétrica de Tucuruí, que, em 1984, foi a primeira na bacia do Tocantins/Araguaia que cobre grande parte do sul do Pará e norte do Mato Grosso, um total de 26 barragens foram planejadas (Junk & de Mello, 1990). Destas, quatro já foram construídas e sete estão planejadas na parte da bacia que fica na região da Amazônia Legal. As barragens planejadas incluem a hidrelétrica de Marabá, que deslocaria 40.000 pessoas (Rodrigues & Ribeiro Junior, 2010).

O caso extremo é Belo Monte, onde essa hidrelétrica, em si, tem uma capacidade de armazenamento pequena (praticamente zero em armazenamento ativo) em relação à sua capacidade instalada de 11.233 MW. O volume de água do Rio Xingu varia tanto ao longo do ciclo anual que as 11.000 MW de casa de força principal serão completamente ociosas por aproximadamente quatro meses de cada ano e apenas parcialmente usadas durante parte do restante. Esta é a raiz do maior perigo que representa Belo Monte, sendo que Belo Monte por si só é insustentável, sem a água armazenada em barragens a montante que foram propostas publicamente até 2008, quando a política declarada mudou para dizer que a Belo Monte seria a única barragem no Rio Xingu (e.g., de Sousa

Júnior & Reid, 2010). Esta afirmação foi feita em uma decisão do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que é composto por ministros que mudam em cada administração presidencial.

Várias indicações sugerem fortemente que os investidores em Belo Monte (e as atividades chave do governo no setor elétrico) não tem intenção de seguir a política do CNPE. A falta de viabilidade econômica de Belo Monte sem barragens a montante é acreditada para ser a chave para uma «crise planejada», onde a necessidade de mais água que de repente será “descoberta” depois de Belo Monte ser construída, fornecerá, assim, a justificativa para a aprovação das outras barragens (de Sousa Júnior *et al.*, 2006; de Sousa Júnior & Reid, 2010). A escassez de água seria agravada ainda mais pelas mudanças na vazante do Rio Xingu, devido ao desmatamento contínuo na bacia hidrográfica (Stickler *et al.*, 2013; Panday *et al.*, 2015) e devido às mudanças climáticas projetadas (Kemenes *et al.*, 2012). Outra indicação de que o cenário oficial é ficção é que, quando Marina Silva, como Ministra do Meio Ambiente, propôs a criação de uma reserva extrativista em parte da área a ser inundada pelas barragens a montante, a proposta foi bloqueada por Dilma Rousseff [atual presidente do Brasil] quando era chefe da Casa Civil, alegando que isso iria dificultar a construção de barragens a montante de Belo Monte (Angelo, 2010). Como Presidente, declarou que futuras barragens deve ter “grandes reservatórios”, ao invés de desenhos a fio d’água, embora sem fazer uma referência explícita ao Rio Xingu (Borges, 2013).

As barragens que foram planejadas a montante de Belo Monte de 1975 até 2008 inundariam vastas áreas de terra indígena, em uma área quase toda sob floresta tropical (veja Fearnside, 2006). Nada disso foi considerado no EIA-RIMA, concluído em 2009 (Brasil, ELETROBRÁS, 2009) e também foi excluído da versão anterior, preparada em 2002 (Brasil, ELETRONORTE, s/d [2002]).

Dois dos principais sistemas fluviais deverão ter cascatas de barragens por um motivo diferente: ao invés de armazenar água para gerar eletricidade em barragens a jusante, as barragens teria que ir para a frente como um conjunto completo para fazer os rios navegáveis, se tornando hidrovias”. Isso se aplica a quatro barragens do Rio Madeira (duas das quais foram construídas até agora) que abririam 4.000 km de hidrovias na Bolívia e a hidrovia Guaporé que ligariam o Rio Madeira às áreas de soja no Mato Grosso (Fearnside, 2014a). O outro caso é das barragens do Rio Tapajós no Pará, incluindo aquelas no Rio Teles Pires e no Rio Juruena (dois afluentes



em Mato Grosso). As hidrovias planejadas carregariam soja para portos no Rio Amazonas (Brasil, MT, 2010; Fearnside, 2015c). Nos casos do Madeira e do Tapajós, algumas (mas não todas) barragens são projetos “a fio d’água” que dependem da vazão natural do rio, em vez de gerar energia com base na liberação de água armazenada. As barragens do Tocantins/Araguaia, que também fazem parte de uma hidrovia planejada, são barragens de armazenamento.

## HIDRELÉTRICAS E O AQUECIMENTO GLOBAL

A Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) afirma em seu Relatório de Sustentabilidade 2011 que “nosso alumínio é ‘verde’ na sua origem, por ser proveniente de matriz energética limpa” (ABAL, 2011, p. 4). Infelizmente, as hidrelétricas na Amazônia emitem gases de efeito estufa, principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ). Barragens nos trópicos úmidos emitem mais  $\text{CH}_4$  do que aquelas em outras zonas climáticas (Barros *et al.*, 2011; Demarty & Bastien, 2011). As barragens produzem metano porque a água em um reservatório estratifica em camadas, com uma camada quente (epilimnion) nos 2-10 m superiores da água que está em contato com o ar e contém oxigênio, e uma camada fria (hipolimnion) em maior profundidade, onde oxigênio se esgota rapidamente e a decomposição da matéria orgânica termina em  $\text{CH}_4$  ao invés de  $\text{CO}_2$  (Fearnside & Pueyo, 2012). Uma parte do metano gerado escapa para a atmosfera como bolhas através da superfície do reservatório, e se o reservatório é grande em relação ao volume de água que passa através da barragem, como em Balbina, esta emissão da superfície pode ser substancial (Kemenes *et al.*, 2007). Uma quantidade menor escapa por difusão, principalmente no primeiro ano ou dois depois de encher o reservatório (e.g., Dumestre *et al.*, 1999). No entanto, o que dá mais aos reservatórios tropicais seu maior impacto sobre o aquecimento global é a água que passa através das turbinas e vertedouros (e.g., Abril *et al.*, 2005). Esta água é extraída bem abaixo do limite (termoclina) que separa as camadas de água no reservatório e normalmente tem altas concentrações de metano (Fearnside, 2002). A água no fundo do reservatório está sob pressão, que é imediatamente liberada quando a água emerge das turbinas (Fearnside, 2004). A solubilidade de gases diminui imediatamente quando a pressão é liberada, e solubilidade diminui ainda mais à medida que a água aquece gradualmente no rio abaixo da barragem (princípio de Le Chatelier) (e.g., Battino & Clever, 1966; Joyce & Jewell, 2003). Muito do metano forma bolhas e é imediatamente liberado.

O efeito de liberar a pressão é o mesmo que ocorre quando se abre uma garrafa de refrigerante e o  $\text{CO}_2$  que havia sido dissolvido escapa como bolhas (veja Fearnside, 2004). O impacto de represas tropicais sobre o aquecimento global tem sido muitas vezes subestimado, especialmente pela indústria de energia hidrelétrica (veja Fearnside, 2015b).

O presidente da ABAL apoiou sua alegação de que a energia hidrelétrica é energia “limpa” referindo-se aos estudos da companhia de energia hidrelétrica FURNAS indicando “100 vezes menos carbono” sendo emitido por uma barragem com seis a dez anos de idade, em comparação a geração da mesma quantidade de eletricidade a partir de combustíveis fósseis (Azevedo, 2011). Vários problemas fazem isto uma imagem enganosa, particularmente para a barragem de Monte Belo que ABAL defende como “energia limpa” (Azevedo, 2011) (Tabela 3).

É significativo que a ABAL descarte qualquer informação da notória represa de Balbina, chamando esta barragem que inundou uma vasta área em troca de muito pouca energia, um exemplo de “erros cometidos no passado” que “não refletem a realidade dos lagos tropicais” (Azevedo, 2011). Infelizmente, Balbina é muito relevante para Belo Monte e outras barragens planejadas. Os métodos para a estimativa de metano não dependem se a decisão de construir a barragem foi um erro. Balbina foi, de fato, um erro trágico que era óbvio antes daquela represa se tornar um fato consumado; Infelizmente, muitas das características do processo decisório que levou à construção dessa barragem ainda são evidentes hoje (Fearnside, 1989, 2006). Outros aspectos da experiência de Balbina são relevantes: a montante de Belo Monte a represa que é conhecida como “Babaquara” (embora tenha sido oficialmente renomeada “Altamira”, aparentemente em uma tentativa de minimizar o efeito de anos de críticas dos planos) teria uma área de 6.140  $\text{km}^2$ , ou mais que o dobro de Balbina. O reservatório teria uma variação vertical de 23 m do nível de água, tornando-se uma enorme “fábrica de metano” (Fearnside, 2008, 2009, 2011). O texto da ABAL sugere que altas emissões de gases de efeito estufa em represas amazônicas estão restritas à Balbina (onde as emissões diretamente medidas excedem as de combustíveis fósseis, mesmo décadas depois que a represa foi construída em 1987: Kemenes *et al.*, 2007, 2008). No entanto, emissões altas também foram diretamente medidas na hidrelétrica de Petit Saut, na Guiana Francesa, (e.g., Abril *et al.*, 2005; Guérin *et al.*, 2006) e foram calculadas com base nos dados disponíveis das barragens de Tucuruí, Samuel e Curuá-Una no Brasil

**Tabela 3.** Hidrelétricas como energia “limpa” na visão da Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) sobre a barragem de Belo Monte.

Alegação de ABAL	Problema
Barragens no estudo de FURNAS têm baixas emissões de carbono.	O estudo de FURNAS refere-se às barragens fora da Amazônia: o estudo foi feito nas barragens de Manso e de Serra da Mesa, ambas no bioma Cerrado, onde barragens têm emissões mais baixas do que em áreas de floresta tropical. Belo Monte e a grande maioria das barragens planejadas estão localizadas na Amazônia (Brasil, MME, 2012, p. 77-78).
Barragens de 6-10 anos de idade têm baixa emissão	A idade de seis a dez anos mencionada pelo Presidente da ABAL se referindo as barragens do estudo de FURNAS é significativa porque uma hidrelétrica produz um enorme pico de emissão nos primeiros anos – uma dívida que pode levar décadas para ser paga na medida em que a eletricidade gerada gradualmente desloca emissões de usinas termelétricas. A implicação da afirmação da ABAL é que essa dívida é simplesmente perdoada, apenas comparando o equilíbrio instantâneo no sexto ou décimo ano.
“Emissões de reservatório” são baixas	“Emissões de reservatório” referem-se ao fluxo através da superfície da água represada atrás da barragem. O estudo de FURNAS a qual a ABAL se aludiu usou uma metodologia que não mede a maior parte do metano lançado pela água que passa através das turbinas. Essa água é a principal fonte de emissões de metano (e.g., Abril et al., 2005). O estudo de FURNAS (Ometto et al., 2011, 2013) mediu fluxos de metano a jusante usando câmaras flutuando na superfície da água a uma distância abaixo da saída das turbinas (pelo menos 50 m a jusante). Infelizmente, muito do metano sai da água imediatamente à saída ou mesmo no interior das próprias turbinas. A única maneira prática para quantificar as emissões nas turbinas é pela diferença entre a concentração do metano na água acima da barragem (na profundidade das turbinas) e abaixo da barragem.
Barragens têm emissões baixas de “carbono” em comparação com a energia térmica	“Carbono” não é a questão, mas sim o impacto sobre o aquecimento global. Uma tonelada de carbono na forma de metano (CH <sub>4</sub> ) emitida por uma barragem tem muito mais impacto do que uma tonelada de carbono na forma de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) emitida por combustíveis fósseis. Considerando o potencial de aquecimento global (GWP) de 25 para o gás metano (Forster et al., 2007) adotado pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para o período 2013-2017, significando que cada tonelada de gás metano tem o impacto de 25 toneladas de gás de CO <sub>2</sub> ao longo de um período de 100 anos, cada tonelada de carbono emitido para a atmosfera na forma de metano tem o impacto de 9,1 toneladas de carbono como CO <sub>2</sub> . Se considerarmos as retroalimentações, o relatório mais recente do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) calcula o GWP de CH <sub>4</sub> para 100 anos como sendo 34 (Myhre et al., 2013), ou seja, cada tonelada de carbono em forma de metano tem 12,4 vezes o impacto de uma tonelada de carbono de CO <sub>2</sub> . O mesmo relatório do IPCC também calcula um GWP de 86 para um horizonte de tempo de 20 anos, que é mais relevante para impedir o aumento da temperatura média global passar do limite de 2°C acordado desde 2009 como o nível “perigoso”, fazendo com que cada tonelada de carbono seja 31,3 vezes mais potente se for emitida na forma de CH <sub>4</sub> .

(Fearnside 2002, 2005a,b). Embora haja uma variação substancial entre barragens nas suas emissões e na quantidade de energia que produzem, o padrão de barragens da Amazônia produzem emissões mais elevadas do que os combustíveis fósseis durante longos períodos é, na verdade, bastante geral. No caso de Belo Monte, mais Babaquara, calculou-se o tempo necessário para zerar a dívida em termos de emissões de gases de efeito estufa em 41 anos (Fearnside, 2009). Isto é baseado na conversão de CH<sub>4</sub> em CO<sub>2</sub>-equivalentes a partir do segundo relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) e usada pelo Protocolo de Quioto. Revisões posteriores aumentaram consideravelmente o impacto de metano quando comparado ao CO<sub>2</sub>, e, portanto, o impacto das barragens se comparado a combustíveis fósseis (ver Tabela 3). Os impactos das barragens a montante na inundação de grandes áreas de floresta tropical em terras indígenas, além de

produzir metano, fazem Belo Monte, e o alumínio produzido a partir da sua energia, em nada limpa.

Deve-se lembrar que a energia para a produção de alumínio não é exclusivamente produzida por barragens. Quando os níveis do reservatório são baixos, energia é fornecida às fábricas de alumínio a partir de usinas termelétricas. Essas emitem gases de efeito estufa, entre outros impactos.

## LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE BARRAGENS

O licenciamento ambiental de barragens no Brasil procede através de uma sequência de passos, que começa com uma “licença prévia” (permitindo que os preparativos comecem e especificando as condições a serem cumpridas), seguido de uma “licença de instalação” (permitindo a barragem a ser

construída) e, finalmente, uma “licença de operação” (permitindo a geração de energia começar). O licenciamento de Belo Monte ocorreu sob intensa pressão da Casa Civil, e o processo foi facilitado por recentes precedentes definidos por semelhante aprovação forçada das barragens do Rio Madeira (Fearnside, 2013, 2014b). O Presidente da ABAL afirmou com referência à Belo Monte e as outras barragens da Amazônia que os órgãos ambientais “concederam as devidas licenças após os projetos atenderem todas as exigências as quais foram submetidos” (Azevedo, 2011). Belo Monte teve e continua a ter uma longa lista de irregularidades em seu licenciamento do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Primeiro, o local de construção foi preparado por força de uma “licença parcial”, concedido pelo IBAMA em 01 de fevereiro de 2010 (ver: ISA, 2010). Esta é uma categoria de licença que não existe na legislação brasileira (foi inventado pelo IBAMA quando foi concedida uma licença provisória para as barragens do Rio Madeira em 09 de julho de 2007, permitindo que os projetos de construção destas barragens pudessem avançar antes de completar seus estudos de impacto ambiental: ver Switkes & Bonilha, 2008). Em 26 de janeiro de 2011 a Belo Monte recebeu uma licença prévia do IBAMA, que especificou 40 “condicionantes” que teriam de ser atendidas antes que seja concedida uma licença de instalação, além de 26 outras condicionantes da Fundação Nacional do Índio (FUNAI) (ver ISA, 2011a). Muito pouco foi feito durante os meses que se seguiram para cumprir estas condicionantes (ver: Xingu Vivo, 2011).

Em 01 de junho de 2011, foi concedida uma licença de instalação para a barragem, mesmo que por recomendação a equipe técnica do IBAMA tivesse contra a aprovação (ISA, 2011b). O presidente do IBAMA, de repente, foi substituído e o novo nomeado imediatamente concedeu a licença. Apenas cinco das 40 condicionantes do IBAMA haviam sido cumpridas na hora do licenciamento, de acordo com organizações não-governamentais e 16 de acordo com o IBAMA; aprovação sem satisfazer todas as condicionantes cria um precedente perigoso para projetos em todo o País. Até fevereiro de 2014, quase três anos após aprovação da licença de instalação, o consórcio de construção da barragem havia respeitadas apenas três das 19 condicionantes envolvendo povos indígenas (ISA, 2014). Esta situação continua essencialmente inalterada e está sendo monitorada por um grupo de organizações não-governamentais (FGV, 2014). O valor de uma “condicionante” torna-se questionável se os desenvolvedores do projeto podem ter uma licença do IBAMA sem cumprir

a exigência. Além disso, no momento que o novo presidente do IBAMA assinou a licença de instalação havia nada menos que 12 processos contra Belo Monte ainda pendentes de decisões nos tribunais sobre irregularidades no processo de licenciamento (o número cresceu até 20 de novembro de 2013). A documentação legal sobre estes pode ser consultada em <http://www.xinguvivo.org.br/>. Prosseguir com a construção sem resolver essas questões, porque os grandes investimentos de capital financeiro e político fazem o poder executivo do governo improvável cancelar o projeto, são prejudiciais e colocam em risco as instituições democráticas do Brasil, se o poder judiciário fizer tal decisão (Fearnside, 2012). Embora o sistema de licenciamento do Brasil esteja em evidente necessidade de reforma, o atual domínio do bloco anti-ambiental “Ruralista” no Congresso Nacional significa que iniciativas legislativas para fortalecer o sistema seria aproveitada para enfraquecer o sistema ainda mais. Isso limita as possibilidades de melhoria, essas sendo restritas aos esforços em outros ramos do governo e na sociedade civil (Fearnside & Laurance, 2012).

## IMPLICAÇÕES GLOBAIS

A atividade global de construção de barragens é cada vez mais focada em áreas tropicais na África, sudeste da Ásia e América Latina. As decisões nacionais para promover e subsidiar barragens e exportações eletrointensivos têm vários efeitos perversos sobre os processos políticos nos países em desenvolvimento através da “maldição dos recursos naturais” e outros mecanismos. As decisões sobre prioridades de exportação e políticas energéticas dão pouco peso para os pesados custos sociais e ambientais de projetos hidrelétricos, como é evidente do exemplo do Brasil. Tais decisões, em parte, podem ser o resultado dos tomadores de decisão não terem informações sobre esses impactos, mas também se encaixam no adágio de que “nenhum ruído é alto o suficiente para acordar alguém que finge estar dormindo”.

## CONCLUSÕES

A construção de barragens ao redor do mundo é conduzida por demanda de eletricidade, inclusive para *commodities* eletrointensivas, como o alumínio. As decisões de cada país para construir barragens baseiam-se, em geral, na subestimação sistemática de impactos monetários, sociais e ambientais das barragens e no exagero dos seus benefícios em comparação



com outras opções, tais como a conservação de energia, fontes alternativas de geração e a renúncia das exportações de energia em produtos como o alumínio.

Uma das maneiras que o Brasil poderia reduzir a destruição pelas represas amazônicas seria parar a exportação de alumínio em forma de lingotes ou de produtos (intermediários ou finais) que não têm um grande benefício em termos de emprego direto por unidade de energia elétrica consumida na cadeia de produção completa do produto, incluindo a fundição de alumínio primário. Os benefícios do alumínio frequentemente têm sido exagerados, enquanto os impactos das barragens têm sido subestimados. O alumínio primário é a pior forma em que este metal pode ser exportado em termos de geração de emprego por gigawatt-hora de eletricidade consumida, mas outros produtos mais acima na cadeia de transformação também são pouco atraentes quando o uso de energia do alumínio primário do qual são feitos é incluído na contabilidade. Além de decisões sobre as exportações de alumínio com base em avaliações realistas dos impactos das barragens e dos benefícios de alumínio, o Brasil precisa de reformas mais amplas nas suas projeções de energia e políticas públicas a fim de apreciar os usos de energia que aumentam o bem-estar e ao mesmo tempo não destroem as florestas, rios e as sociedades da Amazônia.

As hidrelétricas da Amazônia têm impactos que são muito mais graves e abrangentes do que o que tem sido alegados pelos proponentes das barragens. Impactos sociais são devastadores para as pessoas que vivem na área de uma barragem, incluindo não somente aquelas na área inundada, mas também aquelas a jusante e a montante da barragem que perdem recursos vitais, tais como peixes. Povos indígenas e residentes tradicionais (ribeirinhos) são frequentemente vítimas. Impactos ambientais se estende a bacia inteira do rio, incluindo alterações de sedimentos e dos fluxos de água, bem como perda de fauna aquática e perda ou perturbação de vastas áreas de florestas, várzeas e outros ecossistemas. Barragens tropicais também emitem quantidades significativas de gases de efeito estufa, muitas vezes superiores aos das emissões cumulativas de geração de combustíveis fósseis durante décadas. Por todas estas razões, a hidroenergia está longe de ser energia “verde”, e o Brasil precisa fazer mudanças rápidas na política energética para reduzir a anunciada expansão de barragens na Amazônia.

## AGRADECIMENTOS

As pesquisas do autor são financiadas exclusivamente por fontes acadêmicas: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: proc.305880/2007-1; 304020/2010-9; 573810/2008-7, 575853/2008-5) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA: PRJ13.03). P.M.L.A. Graça contribuiu com comentários valiosos. Esta é uma tradução de Fearnside (2016).

## LITERATURA CITADA

- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). 2005. Sustainability Report Aluminum Industry. ABAL, São Paulo, SP. 46 p. Disponível em: [http://www.abal.org.br/servicos/biblioteca/re\\_sustentabilidade.asp](http://www.abal.org.br/servicos/biblioteca/re_sustentabilidade.asp)
- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). 2008. Sustainability Report of the Brazilian Aluminum Industry 2006/2007. ABAL, São Paulo, SP. 52 p. Disponível em: [http://www.abal.org.br/servicos/biblioteca/re\\_sustentabilidade\\_0607.asp](http://www.abal.org.br/servicos/biblioteca/re_sustentabilidade_0607.asp)
- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). 2010. A indústria brasileira de alumínio no rumo da economia de baixo carbono. ABAL, São Paulo, SP. 6 p. Disponível em: [http://www.abal.org.br/servicos/biblioteca/industria\\_brasileira\\_aluminio.asp](http://www.abal.org.br/servicos/biblioteca/industria_brasileira_aluminio.asp)
- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). 2011. Relatório de Sustentabilidade: Indústria Brasileira de Alumínio – 2010. ABAL, São Paulo, SP. 60 p. Disponível em: <http://www.abal.org.br/biblioteca/publicacoes/relatorio-de-sustentabilidade-da-industria-do-aluminio-2010-4-edicao/>
- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). 2014. Anuário Estatístico / Statistical Yearbook – 2013. ABAL, São Paulo, SP. 64 p.
- Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, M.A., Matvienko, B. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles* 19, GB 4007 doi: 10.1029/2005GB002457
- Amazonas em Tempo. 2015. Delator deverá revelar propina em Belo Monte. *Amazonas em Tempo* 07 de março de 2015, p. B-3.
- Amorim, M.J.M., Mergle, D., Bahia, M.O., Dubeau, H., Miranda, D., Lebel, J., Burbano, R.R., Lucotte, M. 2000. Cytogenetic damage related to low levels of methyl mercury contamination in the Brazilian Amazon. *Anais da Academia Brasileira Ciência* 72: 497-507.
- Angelo, C. 2010. PT tenta apagar fama ‘antiverde’ de Dilma. *Folha de São Paulo* 10 de outubro de 2010, p. A-15.
- Ansar, A., Flyvbjerg, B., Budzier, A., Lunn, D. 2014. Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. *Energy Policy* 69: 43-56. doi: 10.1016/j.enpol.2013.10.069



- Aula, I., Braunschweiler, H., Malin, I. 1995. The watershed flux of Mercury examined with indicators in the Tucuruí reservoir in Para, Brazil. *Science of the Total Environment* 175: 97-107.
- Azevedo, A. 2011. Réplica da Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) à revista Política Ambiental nº 7. Disponível em: [http://www.conservacao.org/publicacoes/files/politicaambiental7\\_replca.pdf](http://www.conservacao.org/publicacoes/files/politicaambiental7_replca.pdf)
- Baran, E., Levin, S.A., So Nam, Rodríguez-Iturbe, I., Ziv, G. 2012. Trading-off fish biodiversity, food security, and hydropower in the Mekong River Basin. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 109: 5609-5614. doi: 10.1073/pnas.1201423109
- Barreto, P., Brandão Jr., A., Martins, H., Silva, D., Souza Jr., C., Sales, M., Feitosa, T. 2011. Risco de Desmatamento Associado à Hidrelétrica de Belo Monte. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), Belém, PA. 98 p. Disponível em: [http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/risco-de-desmatamento-associado-a-hidreletrica-de-belo-monte/at\\_download/file](http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/risco-de-desmatamento-associado-a-hidreletrica-de-belo-monte/at_download/file)
- Barros, N., Cole, J.J., Tranvik, L.J., Prairie, Y.T., Bastviken, D., Huszar, V.L.M., del Giorgio, P., Roland, F. 2011. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nature Geoscience* 4: 593-596. doi: 10.1038/NCEO1211
- Barthem, R., Goulding, M. 1997. *The Catfish Connection: Ecology, Migration, and Conservation of Amazon Predators*. Columbia University Press, New York, E.U.A., 184 p.
- Barthem, R.B., Ribeiro, M.C.L.B., Petrere Júnior, M. 1991. Life strategies of some long distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the Amazon Basin. *Biological Conservation* 5: 339-345.
- Bastos, W.R., Dórea, J.G., Bernardi, J.V.E., Lauthartte, L.C., Mussy, M.H., Lacerda, L.D., Malm, O. 2015. Mercury in fish of the Madeira River (temporal and spatial assessment), Brazilian Amazon. *Environmental Research* 140: 191-197. doi: 10.1016/j.envres.2015.03.029
- Bastos, W.R., Gomes, J.P.O., Oliveira, R.C., Almeida, R., Nascimento, E.L., Bernardi, J.V.E., de Lacerda, L.D., da Silveira, E.G., Pfeiffer, W.C. 2006. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment* 368: 344-351. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.09.048
- Battino, R., Clever, H.L. 1966. The solubility of gases in liquids. *Chemical Reviews* 66: 395-463 doi: 10.1021/cr60242a003
- Bergsdal, H., Strømman, A.H., Hertwich, E.G. 2004. *The Aluminum Industry: Environment, Technology, and Production*. Report 8/2004, Industrial Ecology Programme, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Noruega. 44 p. Disponível em: [http://www.ntnu.no/c/document\\_library/get\\_file?uuid=90a62bb5-9451-476e-abbf-076a6b42604d&groupId=10370](http://www.ntnu.no/c/document_library/get_file?uuid=90a62bb5-9451-476e-abbf-076a6b42604d&groupId=10370)
- Bermann, C. 2002. Energia no Brasil: para quê? para quem? - crise e alternativas para um país sustentável. Projeto Brasil Sustentável e Democrático, Federação dos Órgãos para Assistência Social e Educacional (FASE), Rio de Janeiro, RJ & Livraria da Física, São Paulo, SP. 139 p.
- Bermann, C. 2004. *Indústrias Eletrointensivas e Autoprodução: Propostas para uma Política Energética de Resgate do Interesse Público*. Instituto de Desenvolvimento Estratégico do setor Energético (Ilumina), Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: [http://www.ilumina.org.br/zpublisher/materias/Estudos\\_Especiais.asp?id=15872](http://www.ilumina.org.br/zpublisher/materias/Estudos_Especiais.asp?id=15872)
- Bermann, C. 2011. Notas sobre la energía incorporada en la exportación de bienes primarios en Brasil. *Energía y Equidad* 1(1): 31-38.
- Bermann, C. 2012a. O setor de eletro-intensivos. In: Moreira PF (ed) *Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios 2ª ed.*, Rios Internacionais, Brasília, DF. p. 28-34; 92-93
- Bermann, C. 2012b. O projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte: A autocracia energética como paradigma. *Novos Cadernos NAEA* 15: 5-23.
- Bermann, C., Martins, O.S. 2000. *Sustentabilidade Energética no Brasil: Limites e Possibilidades para uma Estratégia Energética Sustentável e Democrática*. (Série Cadernos Temáticos No. 1). Projeto Brasil Sustentável e Democrático, Federação dos Órgãos para Assistência Social e Educacional (FASE), Rio de Janeiro, RJ. 151 p.
- BMF (Bruno Manser Fund). 2015. Stop corruption dams: Save the rainforest rivers of Sarawak. <http://www.stop-corruption-dams.org/>
- Boischio, A.A.P., Henshel, D., Barbosa, A.C. 1995. Mercury exposure through fish consumption by the Upper Madeira River population. *Ecosystem Health* 1: 177-192.
- Borges, A. 2013. Dilma defende usinas hidrelétricas com grandes reservatórios. *Valor Econômico*, 06 de junho de 2013. [http://www.valor.com.br/impimir/noticia\\_impreso/3151684](http://www.valor.com.br/impimir/noticia_impreso/3151684)
- Brasil, ANA (Agência Nacional de Águas). s/d [C. 2006]. *Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Tocantins e Araguaia: Relatório Diagnóstico, Anexo 14, Geração de Energia*. No. 1329-R-FIN-PLD-15-01. ANA, Brasília, DF. 56 p.. Disponível em: <http://central2.to.gov.br/arquivo/31/933>
- Brasil, CIMC (Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima). 2008. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC -- Brasil*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. 129 p. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/imprensa/\\_arquivos/96\\_01122008060233.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/imprensa/_arquivos/96_01122008060233.pdf)
- Brasil, ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras S/A). 1987. *Plano 2010: Relatório Geral. Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010 (Dezembro de 1987)*. ELETROBRÁS, Brasília, DF. 269 p.
- Brasil, ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras S/A). 2009. *Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte: Estudo de Impacto Ambiental*. Fevereiro de 2009. ELETROBRÁS, Rio de Janeiro, RJ. 36 vols.
- Brasil, ELETRONORTE (Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A.). 1987. *Contribuição da Eletronorte para Atendimento das Necessidades Futuras de Energia Elétrica da Amazônia*. ELETRONORTE, Brasília, DF. Paginação irregular.

- Brasil, ELETRONORTE (Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A.). s/d [2002]. Complexo Hidrelétrico Belo Monte: Estudo de Impacto Ambiental- EIA. Versão preliminar. ELETRONORTE, Brasília, DF. 6 vols.
- Brasil, MME (Ministério das Minas e Energia). 1979. Portaria No. 1654 de 13 de agosto de 1979. Diário Oficial da União. 16 de agosto de 1979. Seção 1, Parte 1, p. 11.705.
- Brasil, MME (Ministério das Minas e Energia). 2009. Plano Decenal de Expansão de Energia 2008/2017. MME, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Brasília, DF.
- Brasil, MME (Ministério das Minas e Energia). 2011. Plano Decenal de Expansão de Energia 2020. MME, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Brasília, DF. 2 vols. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/PDEE/20111229\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/20111229_1.pdf)
- Brasil, MME (Ministério das Minas e Energia). 2012. Plano Decenal de Expansão de Energia 2021. MME, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Brasília, DF. 386 p. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/PDEE/20120924\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/20120924_1.pdf)
- Brasil, MME (Ministério das Minas e Energia). 2014. Plano Decenal de Expansão de Energia 2023. MME, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Brasília, DF. 2 vols. <http://www.epe.gov.br/PDEE/Relatório%20Final%20do%20PDE%202023.pdf>
- Brasil, MT (Ministério dos Transportes). 2010. Diretrizes da Política Nacional de Transporte Hidroviário. Secretaria de Política Nacional de Transportes, MT, Brasília, DF. 33 p. <http://www2.transportes.gov.br/Modal/Hidroviario/PNHidroviario.pdf>
- Burns, S. 2013. Aluminum smelter price agreements with electricity companies outdated? *MetalMiner* 26 de março de 2013. <http://agmetalmminer.com/2013/03/26/aluminum-smelter-price-agreements-with-electricity-companies-outdated/>
- Cañas, C.M., Pine III, W.E. 2011. Documentation of the temporal and spatial patterns of Pimelodidae catfish spawning and larvae dispersion in the Madre de Dios River (Peru): insights for conservation in the Andean-Amazon headwaters. *River Research Applications* 27: 602-611. doi: 10.1002/rra.1377
- Cardoso, J.G.R., de Carvalho, P.S.L., da Fonseca, P.S.M., da Silva, M.M., Rocio, M.A. R. 2011. A indústria do alumínio: estrutura e tendências. *BNDES Setorial* 33, pp. 43-88. [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3302.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3302.pdf)
- Carmignani, F., Avom, D. 2010. The social development effects of primary commodity export dependence. *Ecological Economics* 70(2): 317-330.
- Carvalho, A.R., Fabr , N.N. 2006. Da foz do Amazonas aos Andes. *Ciência Hoje* 39(233): 64-67.
- Cernea, M.M. 1988. Involuntary Resettlement in Development Projects: Policy Guidelines in World Bank-Financed Projects. (World Bank technical paper no. 80), The World Bank, Washington, DC, E.U.A. 88 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1596/0-8213-1036-4>
- Christian, S. 1990. Buenos Aires journal – Billions flow to dam (and billions down the drain?). *New York Times*, 04 de maio de 1990. <http://www.nytimes.com/1990/05/04/world/buenos-aires-journal-billions-flow-to-dam-and-billions-down-drain.html>
- Ciccantell, P.S. 1999a. It's all about power: The political economy and ecology of redefining the Brazilian Amazon. *Sociological Quarterly* 40(2): 293-315. doi: 10.1111/j.1533-8525.1999.tb00549.x
- Ciccantell, P.S. 1999b. Making aluminum in the rainforest: The social impact of globalization in the Brazilian Amazon. *Journal of Developing Areas* 33(2): 175-198.
- Ciccantell, P. 2005. Globaliza o e desenvolvimento baseado em matérias-primas: o caso da indústria do alumínio. *Novos Cadernos NAEA* 8(2): 41-72.
- Cintra, I.H.A. 2009. A Pesca no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, Estado do Pará, Brasil. PhD thesis in fisheries engineering, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 190 p. Disponível em: [http://www.pgengpesca.ufc.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=19&Itemid=32](http://www.pgengpesca.ufc.br/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=32)
- Coelho, M.C., Monteiro, M.A., Santos, I.C. 2004. Políticas públicas, corredores de exporta o, moderniza o portuária, industrializa o e impactos territoriais e ambientais no município de Barcarena, Pará. *Novos Cadernos NAEA* 11: 141-178.
- Collier, P. 2007. *The Bottom Billion: Why the Poorest Countries Are Failing and What Can Be Done About it*. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido. 205 p.
- Costa, A.C. 2012. PIB fraco faz Brasil perder posto de 6  economia do mundo. Exame 31 de agosto de 2012. <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/pib-fraco-faz-brasil-perder-posto-de-6a-economia-do-mundo>
- Costa, R.N.A. 2007. Viabilidades Térmica, Econômica e de Materiais de um Sistema Solar de Aquecimento de água a Baixo Custo para Fins Residenciais. Masters dissertation in mechanical engineering, Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Natal, RN. 77 p. [http://bddd.bczm.ufrn.br/tesesimplificado/tde\\_arquivos/10/TDE-2008-02-21T011110Z-1119/Publico/RaimundoNAC.pdf](http://bddd.bczm.ufrn.br/tesesimplificado/tde_arquivos/10/TDE-2008-02-21T011110Z-1119/Publico/RaimundoNAC.pdf)
- Dai Qing (ed.). 1994. *Yangzi! Yangzi!*. Earthscan, London, Reino Unido. 295 p.
- de Almeida-Val, V.M.F., Gomes, A.R.C., Lopes, N.P. 2006. Metabolic and physiological adjustments to low oxygen and high temperature in fishes of the Amazon. Val AL, de Almeida-Val VMF, Randall DJ (eds.). *Fish Physiology: The Physiology of Tropical Fishes*. Elsevier, San Diego, California, E.U.A. p. 443-500.
- de Andrade, M.L.A., Cunha, L.M.S., Gandra, G.T. 2001. A indústria do alumínio: desempenho e impactos da crise energética. Banco Nacional de Desenvolvimento Econ mico e Social (BNDES), Rio de Janeiro, RJ. *BNDES Setorial*, no. 14: 3-26. [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1401.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1401.pdf)

- de Lacerda, L.D., Pfeiffer, W.C., Ott, A.T., da Silveira, E.G. 1989. Mercury contamination in the Madeira River, Amazon – Hg inputs to the environment. *Biotropica* 21: 91-91.
- de Sousa Júnior, W.C., Reid, J. 2010. Uncertainties in Amazon hydropower development: Risk scenarios and environmental issues around the Belo Monte dam. *Water Alternatives* 3: 249-268.
- de Sousa Júnior, W.C., Reid, J., Leitão, N.C.S. 2006. Custos e Benefícios do Complexo Hidrelétrico Belo Monte: Uma Abordagem Econômico-Ambiental. *Conservation Strategy Fund (CSF), Lagoa Santa, MG*. 90 p. Disponível em: <http://www.conservation-strategy.org/en/publication/custos-e-beneficios-do-complexo-hidreltrico-belo-monte-uma-abordagem-economico-ambiental>
- Demarty, M., Bastien, J. 2011. GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH<sub>4</sub> emission measurements. *Energy Policy* 3: 4197-4206. doi:10.1016/enpol.2011.04.033
- Doria, C.R.C., Ruffino, M.L., Hijazi, N.C., da Cruz, R.L. 2012. A pesca comercial na bacia do rio Madeira no estado de Rondônia, Amazônia brasileira. *Acta Amazonica* 42: 9-40.
- do Rio, G.A.P. 1996. Relação espaço-indústria: a localização de plantas de alumínio na Amazônia. In: Santos, S.B.M., Britto, R.C., Castro, E.R. (eds.). *Energia na Amazônia*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal do Pará, Associação de Universidades Amazônicas, Belém, PA. p. 825-834.
- Dumestre, J.F., Guezenc, J., Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Richard, S.A., Labroue, L. 1999. Influence of light intensity on methanotrophic bacterial activity in Petit-Saut reservoir, French Guiana. *Applied Environmental Microbiology* 65: 534-539.
- EMBRAER (Empresa Brasileira de Aeronáutica). 2012. EMBRAER relatório anual 2011. EMBRAER, São José dos Campos, SP. 134 p. Disponível em: [http://www.embraer.com/Documents/Relatorio\\_Anuar\\_2011\\_Port.pdf](http://www.embraer.com/Documents/Relatorio_Anuar_2011_Port.pdf)
- E.U.A., DOE (Department of Energy). 1997. Energy and Environmental Profile of the U.S. Aluminum Industry. US DOE, Office of Industrial Technologies, Washington, DC, E.U.A. 114 p. <https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/resources/aluminum/pdfs/aluminum.pdf>
- Fearnside, P.M. 1988. China's Three Gorges Dam: "Fatal" project or step toward modernization? *World Development* 16: 615-630. doi: 10.1016/0305-750X(88)90190-8
- Fearnside, P.M. 1989. Brazil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environ Management* 13: 401-423. doi: 10.1007/BF01867675
- Fearnside, P.M. 1994. The Canadian feasibility study of the Three Gorges Dam proposed for China's Yangzi River: a grave embarrassment to the impact assessment profession. *Impact Assessment* 12(1): 21-57. doi: 10.1080/07349165.1994.9725849
- Fearnside, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22(1): 7-19. doi:10.1017/S0376892900034020
- Fearnside, P.M. 1999. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management* 24: 485-495. doi: 10.1007/s002679900248
- Fearnside, P.M. 2001. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Management* 27: 377-396. doi: 10.1007/s002670010156
- Fearnside, P.M. 2002. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 133: 69-96. doi: 10.1023/A:1012971715668
- Fearnside, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source. *Climatic Change* 66: 1-8. doi: 10.1023/B:CLIM.0000043174.02841.23
- Fearnside, P.M. 2005a. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management* 35: 1-19. doi: 10.1007/s00267-004-0100-3
- Fearnside, P.M. 2005b. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies or Global Change* 10: 675-691. doi: 10.1007/s11027-005-7303-7
- Fearnside, P.M. 2006. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's hydroelectric development of the Xingu River Basin. *Environmental Management* 38: 16-27 doi: 10.1007/s00267-005-00113-6
- Fearnside, P.M. 2008. Hidrelétricas como "fábricas de metano": O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. *Oecologia Brasiliensis* 12: 100-115 doi: 10.4257/oeco.2008.1201.11
- Fearnside, P.M. 2009. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. *Novos Cadernos NAEA* 12: 5-56.
- Fearnside, P.M. 2011. Gases de efeito estufa no EIA-RIMA da Hidrelétrica de Belo Monte. *Novos Cadernos NAEA* 14: 5-19.
- Fearnside, P.M. 2012. Will Brazil's Belo Monte Dam get the green light? *Latin America Energy Advisor*, 27-31 de agosto de 2012, 1 & 4.
- Fearnside, P.M. 2013. Decision-making on Amazon dams: Politics trumps uncertainty in the Madeira River sediments controversy. *Water Alternatives* 6: 313-325.
- Fearnside, P.M. 2014a. Impacts of Brazil's Madeira River dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Science & Policy* 38: 164-172. doi: 10.1016/j.envsci.2013.11.004
- Fearnside, P.M. 2014b. Brazil's Madeira River dams: A setback for environmental policy in Amazonian development. *Water Alternatives* 7: 156-169.
- Fearnside, P.M. 2015a. Tropical hydropower in the Clean Development Mechanism: Brazil's Santo Antônio Dam as an example of the need for change. *Climatic Change* 131(4): 575-589. doi: 10.1007/s10584-015-1393-3



- Fearnside, P.M. 2015b. Emissions from tropical hydropower and the IPCC. *Environmental Science & Policy* 50: 225-239. doi: 10.1016/j.envsci.2015.03.002
- Fearnside, P.M. 2015c. Amazon dams and waterways: Brazil's Tapajós Basin plans. *Ambio* 44: 426-439. doi: 10.1007/s13280-015-0642-z
- Fearnside, P.M. 2016. Environmental and social impacts of hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: Implications for the aluminum industry. *World Development* 77: 48-65. doi: 10.1016/j.worlddev.2015.08.015.
- Fearnside, P.M., Laurance, W.F. 2012. Infraestrutura na Amazônia: As lições dos planos plurianuais. *Caderno CRH* 25(64): 87-98. doi: 10.1590/S0103-49792012000100007
- Fearnside, P.M., Pueyo, S. 2012. Underestimating greenhouse-gas emissions from tropical dams. *Nature Climate Change* 2: 382-384. doi: 10.1038/nclimate1540
- FGV (Fundação Getúlio Vargas). 2014. Metodologia e Matriz de Indicadores. Novembro/2014. <http://www.indicadoresdebelomonte.com.br/2014/12/metodologia-e-matriz-de-indicadores/>
- Finer, M., Jenkins, C.N. 2012. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity, *PLoS ONE* 7(4): e35126. doi: 10.1371/journal.pone.0035126
- Fisher, W.F. (ed.). 1995. *Toward Sustainable Development? Struggling over India's Narmada River*. M.E. Sharpe, London, Reino Unido. 481 p.
- Forsberg, B.R., Kemenes, A. 2006. Parecer Técnico sobre Estudos Hidrobiogeoquímicos, com atenção específica à dinâmica do Mercúrio (Hg). in: *Pareceres Técnicos dos Especialistas Setoriais—Aspectos Físicos/Bióticos. Relatório de Análise do Conteúdo dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau no Rio Madeira, Estado de Rondônia*. Ministério Público do Estado de Rondônia, Porto Velho, RO. 2 Vols. Parte B, Vol. I, Parecer 2, p. 1-32. [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/Dossie/Mad/Documentos%20Oficiais/Madeira\\_COBRAPE/11118-COBRAP-report.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Mad/Documentos%20Oficiais/Madeira_COBRAPE/11118-COBRAP-report.pdf)
- Forster, P. & 50 outros. 2007. Changes in Atmospheric Constituents and Radiative Forcing. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L. (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. p. 129-234.
- FURNAS, CNO, Leme Engenharia. 2005. EIA- Estudo de Impacto Ambiental Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau, Rio Madeira-RO. 6315-RT-G90-001. FURNAS Centrais Elétricas S.A, Construtora Noberto Odebrecht, S.A. (CNO) & Leme Engenharia, Rio de Janeiro, RJ. 8 Vols. Paginação Irregular. Disponível em: <http://www.amazonia.org.br/arquivos/195010.zip>
- Gama, P. 2013. Maiores doadores somam gasto de R\$1 bi desde 2002. Construtores e bancos são principais financiadores de campanhas eleitorais. Folha de São Paulo 21 de janeiro de 2013. p. A-6.
- Gitlitz, J. 1993. *The Relationship between Primary Aluminum Production and the Damming of World Rivers*. IRN Working Paper 2, International Rivers Network (IRN), Berkeley, California, E.U.A. 151 p.
- Goldsmith, E., Hildyard, N. 1984. *The Social and Environmental Effects of Large Dams*. Sierra Club Books, San Francisco, Califórnia, E.U.A. 404 p.
- Goldsmith, E., Hildyard, N. 1986. *The Social and Environmental Effects of Large Dams: Volume 2: Case Studies*. Wadebridge Ecological Centre, Camelford, Reino Unido. 331 p.
- Gosse, P., Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R. 2005. Evolution and relationships of greenhouse gases and dissolved oxygen during 1994-2003 in a river downstream of a tropical reservoir. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 29: 594-600.
- Goulding, M. 1979. *Ecologia da pesca do rio Madeira*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM. 172 p.
- Grumbine, R.E., Xu, J. 2011. Mekong Hydropower Development. *Science* 332: 178-179. doi: 10.1126/science.1200990
- Guérin, F., Abril, G., Richard, S., Burban, B., Reynouard, C., Seyler, P., Delmas, R. 2006. Methane and carbon dioxide emissions from tropical reservoirs: Significance of downstream rivers. *Geophysical Research Letters* 33: L21407. doi: 10.1029/2006GL027929
- Hernandez, F.M., Santos, S.B.M. 2011. Ciência, cientistas e democracia desfigurada: O caso de Belo Monte. *Novos Cadernos NAEA* 14(1): 79-96.
- Highbeam Business. 2010. Alcoa may cut Brazilian capacity. *Highbeam Business* 21 de maio de 2010. <http://business.highbeam.com/436402/article-1G1-228435110/alcoa-may-cut-brazilian-capacity>
- Huguet, L., Castelle, S., Schäfer, J., Blanc, G., Maury-Brachet, R., Reynouard, C., Jorand, F. 2010. Mercury methylation rates of biofilm and plankton microorganisms from a hydroelectric reservoir in French Guiana. *Science of the Total Environment* 408: 1338-1348. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.10.058
- IAI (International Aluminium Institute). 2015. Primary aluminium smelting power consumption. Date of Issue: 15 Oct 2014. <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-smelting-power-consumption/>
- ICOLD (International Commission on Large Dams). 2014. *World Register of Dams, general synthesis*. [http://www.icold-cigb.org/GB/World\\_register/general\\_synthesis.asp](http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp)
- Indian Express. 2011. Former Kerala minister gets jail for graft twenty years after the Kerala government initiated the prosecution in the Idamalayar Dam corruption case. *Indian Express*, 11 de fevereiro de 2011. <http://indianexpress.com/article/news-archive/web/former-kerala-minister-gets-jail-for-graft/>



- International Rivers. 2012. Dams in Amazonia. International Rivers, Berkeley, California, E.U.A. <http://www.dams-info.org/en>
- ISA (Instituto Socioambiental). 2010. MMA libera Belo Monte sem conhecer os impactos da obra. Notícias Socioambientais 02 de fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/nsa/detalhe?id=3029>
- ISA (Instituto Socioambiental). 2011a. Governo empurra Belo Monte goela abaixo. Notícias Socioambientais 01 de fevereiro de 2011. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/nsa/detalhe?id=3246>
- ISA (Instituto Socioambiental). 2011b. Ibama ignora MPF e OEA e libera licença para obras de Belo Monte no Rio Xingu. Notícias Socioambientais 02 de junho de 2011. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/nsa/detalhe?id=3350>
- ISA (Instituto Socioambiental). 2014. Nota Técnica – Estado de Cumprimento das Condicionantes Referentes à Proteção das Terras Indígenas Impactadas pela Usina Belo Monte. 13 de fevereiro de 2014. ISA Programa Xingu, Altamira, Pará. [http://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/nota\\_tecnica\\_-\\_condicionantes\\_indigenas\\_final\\_pdf1.pdf](http://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/nota_tecnica_-_condicionantes_indigenas_final_pdf1.pdf)
- Joslin, J.D. 1994. Regional differences in mercury levels in aquatic ecosystems: a discussion of possible causal factors with implications for the Tennessee River System and the Northern Hemisphere. *Environ Manage* 18: 559-567.
- Joyce, J., Jewell, P.W. 2003. Physical controls on methane ebullition from reservoirs and lakes. *Environmental Engineering Geoscience* 9: 167-178
- Junk, W.J. (ed.). 1997. *The Central Amazon Floodplain – Ecology of a Pulsing System*. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha. 525 p.
- Junk, W.J., de Mello, J.A.S.N. 1990. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Estudos Avançados* 4(8):126-143. doi: 10.1590/S0103-40141990000100010
- Kashima, Y., Akagi, H., Kinjo, Y., Malm, O., Guimarães, J.R.D., Branches, F., Doi, R. 2001. Selenium and mercury concentrations in fish from the lower Tapajós River and the Balbina Reservoir, Brazilian Amazon. In: 6th International Conference on Mercury as a Global Pollutant (ICMGP). Oct. 15-19, 2001, Minamata, Japan. ICMGP, Minamata, Japão. p. 280.
- Kehring, H.A., Malm, O., Akagi, H., Guimarães, J.R.D., Torres, J.P.M. 1998. Methylmercury in fish and hair samples from the Balbina Reservoir, Brazilian Amazon. *Environmental Research* 77: 84-90.
- Kelly, C.A., Rudd, J.W.M., Bodaly, R.A., Roulet, N.P., St. Louis, V.L., Heyes, A., Moore, T.R., Schiff, S., Aravena, R., Scott, K.J., Dyck, B., Harris, R., Warner, B., Edwards, G. 1997. Increases in Fluxes of Greenhouse Gases and Methyl Mercury following flooding of an Experimental Reservoir. *Environ Science and Technology* 31: 1334-1344. doi: 10.1021/es9604931
- Kemenes, A., dos Santos, C.A.C., Satyamurty, P. 2012. Mudança do clima e geração de energia. *Ciência Hoje* 50(295): 37-41.
- Kemenes, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters* 34: L12809. doi:10.1029/2007GL029479. 55.
- Kemenes, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M. 2008. As hidrelétricas e o aquecimento global. *Ciência Hoje* 41(145): 20-25.
- Khagram, S. 2004. *Dams and Development: Transnational Struggles for Water and Power*. Cornell University Press, Ithaca, New York, E.U.A. 270 p.
- Kishinami, R. 2012. A eficiência energética como componente da eficiência econômica. In: Moreira PF (ed) *Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios 2ª ed.*, Brasília, DF: Rios Internacionais, p. 37-39.
- Label, J., Mergle, D., Branches, F., Lucotte, M., Amorim, M., Larribe, F., Dolbec, J. 1998. Neurotoxic effects of low-level methylmercury contamination in the Amazonian Basin. *Environmental Research* 79: 20-32.
- Leino, T., Lodenius, M. 1995. Human hair mercury levels in Tucuruí area, state of Pará, Brazil. *Science of the Total Environment* 175: 119-125.
- LME (London Metal Exchange). 2015. Historical price graph for aluminum. <http://www.lme.com/en-gb/metals/non-ferrous/aluminium/#tab2>
- Machado, G., Schaeffer, R., Worrell, E. 2001. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: An input-output approach. *Ecological Economics* 39(3): 409-424.
- Malm, O., Castro, M.B., Bastos, W.R., Branches, F.J.P., Guimarães, J.R.D., Zuffo, C.E., Pfeiffer, W.C. 1995. An assessment of Mercury pollution in different goldmining areas, Amazon Brazil. *Science of the Total Environment* 175: 127-140.
- Massarente, M., Serrano, A., Machado, L., Hara, L., Frazão, V. 2013. *Alumínio no Brasil: Transformações nos últimos 15 anos*. Bain & Company, Inc.. São Paulo, SP. 17 p. [http://www.bain.com/offices/saopaulo/pt/Images/ALUMINIO%20BRASIL\\_PORT.pdf](http://www.bain.com/offices/saopaulo/pt/Images/ALUMINIO%20BRASIL_PORT.pdf)
- McCully, P. 2001. *Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams: Enlarged and Updated Edition*. Zed Books, New York, NY, E.U.A. 359 p.
- Meade, R.H. 1994. Suspended sediments of the modern Amazon and Orinoco Rivers. *Quaternary International* 21: 29-39.
- Misser, F. 2013. La Saga d'Inga: L'Molina Carpio, J. 2005. El megaproyecto hidroeléctrico y de navegación del Río Madera. In: *Geopolítica de los Recursos Naturales e Acuerdos Comerciales en Sudamerica*. Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo (FOBOMADE), La Paz, Bolívia. p. 101-116. Disponível em: <http://www.fobomade.org.bo/publicaciones/docs/8.pdf>
- Monteiro, M.A., Monteiro, E.F. 2007. Amazônia: Os (dês) caminhos da cadeia produtiva do alumínio. *Novos Cadernos NAEA* 10: 87-102.
- Moreira, P.F. (ed.). 2012. *O Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidade e Desafios, 2ª*

- ed. Rios Internacionais, Brasília, DF. 100 p. Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/node/7525>
- Morgan, A.E. 1971. Dams and other Disasters: A Century of the Army Corps of Engineers in Civil Works. Boston, Massachusetts, USA: Porter Sargent, 421 pp.
- Morris, G.L., Fan, J. 1998. Reservoir sedimentation handbook: Design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. McGraw-Hill, New York, NY, E.U.A. 848 p.
- Morse, B., Berger, T., Gamble, D., Brody, H. 1992. Sardar Sarovar: Report of the Independent Review. Resources Futures International, Ottawa, Canadá. 363 p.
- Mougeot, L.J.A. 1990. Future hydroelectric development in Brazilian Amazonia: Towards comprehensive population resettlement. In: Goodman, D.; Hall, A. (eds.). The Future of Amazonia: Destruction or Sustainable Development? Palgrave Macmillan, London, Reino Unido. p. 90-129.
- Müller-Plantenberg, C. 2006. Social and ecological impacts of the bauxite-energy-aluminium product line: steps towards sustainable metal management. In: von Gleich, A.; Ayres, R.U.; Gössling-Reisemann, S. (eds.). Sustainable Mining Management: Securing Our Future - Steps Towards a Closed loop economy. Springer, Dordrecht, Países Baixos. p. 449-482.
- Myhre, G. & 37 outros. 2013. Anthropogenic and natural radiative forcing. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (eds.). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 661-740. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Nappi, C. 2013. The Global Aluminium Industry 40 years from 1972. International Aluminium Institute (IAI). 27 p. [http://www.world-aluminium.org/media/finder\\_public/2013/02/25/an\\_outlook\\_of\\_the\\_global\\_aluminium\\_industry\\_1972\\_-\\_present\\_day.pdf](http://www.world-aluminium.org/media/finder_public/2013/02/25/an_outlook_of_the_global_aluminium_industry_1972_-_present_day.pdf)
- Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M., Revenga, C. 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308: 405-408.
- Norseth, T. (ed.). 1995. Environmental and Health Aspects Related to the Production of Aluminium. Special issue of Science of The Total Environment. *Science of the Total Environment* 163(1-3): 28-227.
- Nüsser, M. 2003. Political ecology of large dams: A critical review. *Petermanns Geographische Mitteilungen* 147: 20-27. [http://www.sai.uni-heidelberg.de/geo/pdfs/Nuesser\\_2003\\_PoliticalEcologyOfLargeDams\\_PGM\\_147\(1\)\\_20-27.pdf](http://www.sai.uni-heidelberg.de/geo/pdfs/Nuesser_2003_PoliticalEcologyOfLargeDams_PGM_147(1)_20-27.pdf)
- Odinetz-Collart, O. 1987. La pêche crevetteière de Macrobrachium amazonicum (Palaemonidae) dans le Bas-Tocantins, après la fermeture du barrage de Tucuruí (Brésil). *Revue d'Hydrobiologie Tropical* 20: 131-144.
- Oliver-Smith, A. (ed.). 2009. Development and Dispossession: The Crisis of Development Forced Displacement and Resettlement. SAR Press, London, Reino Unido. 344 p.
- Ometto, J.P., Cimblaris, A.C.P., dos Santos, M.A., Rosa, L.P., Abe, D., Tundisi, J.G., Stech, J.L., Barros, N., Roland, F. 2013. Carbon emission as a function of energy generation in hydroelectric reservoirs in Brazilian dry tropical biome. *Energy Policy* 58: 109-116. doi:10.1016/j.enpol.2013.02.041
- Ometto, J.P., Pacheco, F.S., Cimblaris, A.C.P., Stech, J.L., Lorenzetti, J.A., Assireu, A., Santos, M.A., Matvienko, B., Rosa, L.P., Galli, C.S., Abe, D.S., Tundisi, J.G., Barros, N.O., Mendonça, R.F., Roland, F. 2011. Carbon dynamic and emissions in Brazilian hydropower reservoirs. In: de Alcantara E.H. (ed.) *Energy Resources: Development, Distribution, and Exploitation*. Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, E.U.A. p. 155-188.
- Panday, P.K., Coe, M.T., Macedo, M.N., Lefebvre, P., Castanho, A.D.A. 2015. Deforestation offsets water balance changes due to climate variability in the Xingu River in eastern Amazonia. *Journal of Hydrology* 523: 822-829. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.02.018
- Pegg, S. 2003. Poverty Reduction or Poverty Exacerbation? World Bank Group Support for Extractive Industries in Africa. Environmental Defense, Washington, DC, E.U.A. 39 p. Disponível em: <http://www.oxfamamerica.org/static/oa3/files/poverty-reduction-or-poverty-exacerbation.pdf>
- Peryman, L. 2008. Three Gorges dam is black hole of corruption, says Chinese journalist. *Probe International*, 19 de outubro de 2008. <http://journal.probeinternational.org/2008/10/19/three-gorges-dam-black-hole-corruption-says-chinese-journalist-3/>.
- Petherick, A. 2015. A tandem production. *Nature Climate Change* 5: 17-18. doi:10.1038/nclimate2478
- Pfeiffer, W.C., de Lacerda, L.D. 1988. Mercury inputs into the Amazon region, Brazil. *Environmental Technology Letters* 9: 325-330.
- Pfeiffer, W.C., Malm, O., Souza, C.M.M., de Lacerda, L.D., Silveira, E.G., Bastos, W.R. 1991. Mercury in the Madeira River ecosystem, Rondônia. *Forest Ecology and Management* 38: 239-245.
- Pinto, L.F. 1991. Amazônia: A Fronteira do Caos. Editora Falangola, Belém, PA. 159 p.
- Pinto, L.F. 1997. Amazônia: O Século Perdido (A Batalha do Alumínio e outras Derrotas da Globalização). Editora Jornal Pessoal, Belém, PA. 160 p.
- Plummer, J. (ed.). 2009. Diagnosing Corruption in Ethiopia. The World Bank, Washington, DC, E.U.A. 417 p. [http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDS/IB/2012/06/15/000386194\\_20120615035122/Rendered/PDF/699430PUB0Publ067869B09780821395318.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDS/IB/2012/06/15/000386194_20120615035122/Rendered/PDF/699430PUB0Publ067869B09780821395318.pdf)
- Porvari, P. 1995. Mercury levels of fish in Tucuruí hydroelectric reservoir and river Mojú in Amazonian, in the state of Pará, Brazil. *Science of the Total Environment* 175: 109-117.
- Reese, G., Jacob, L. 2015. Principles of environmental justice and pro-environmental action: A two-step process model of moral anger and responsibility to act. *Environmental Science & Policy* 51: 88-94. doi: 10.1016/j.envsci.2015.03.011
- Reuters. 2013. Rio Tinto puts off plans for Paraguay aluminum plant. Reuters 10 de dezembro de 2013. <http://www>

- reuters.com/article/2013/12/10/riotinto-paraguay-idUSL1N0JP1MD20131210
- Rey, O. 2012. Um olhar para as grandes perdas de energia no sistema de —transmissão elétrico brasileiro. In: Moreira, P.F. (ed.) *Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios 2ª ed.*, Rios Internacionais, Brasília, DF. p. 40-44.
- Ribeiro, I. 2009. Grupo Votorantim fará alumínio em Trinidad e Tobago. *Valor Econômico*, 04 de dezembro de 2009 <http://www.valor.com.br/imprimir/noticia/797521/arquivo/797521/grupo-votorantim-fara-aluminio-em-trinidad-e-tobago>
- Rich, B. 2013. *Foreclosing the Future: The World Bank and the Politics of Environmental Destruction*. Island Press, Covelo, Oregon, E.U.A. 303 p.
- Richter, B.D., Postel, S., Revenga, C., Scudder, T., Lehner, B., Churchill, A., Chow, M. 2010. Lost in development's shadow: The downstream human consequences of dams. *Water Alternatives* 3(2): 14-42.
- Rodrigues, F.S., Ribeiro Junior, R. 2010. Construção do AHE Marabá: Uma abordagem sobre opções de desenvolvimento e o seu planejamento. III Encontro Latinoamericano de Ciências Sociais e Barragens, Belém, PA. <http://www.ecsbarragens.ufpa.br/site/cd/ARQUIVOS/GT6-42-109-20101111185313.pdf>
- Rosenberg, D.M., Bodaly, R.A., Usher, P.J. 1995. Environmental and social impacts of large scale hydro-electric development: who is listening? *Global Environmental Change* 5: 127-148.
- Ross, M.L. 2001. *Extractive Sectors and the Poor*. Oxfam America, Boston, Massachusetts, E.U.A. 24 p. Disponível em: <http://www.oxfamamerica.org/static/oa3/files/extractive-sectors-and-the-poor.pdf>
- Roulet, M., Lucotte, M. 1995. Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferralitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. *Water, Air and Soil Pollution* 80: 1079-1088.
- Roulet, M., Lucotte, M., Canuel, R., Farella, N., Courcelles, M., Guimarães, J.-R.D., Mergler, D., Amorim, M. 2000. Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in central Amazon. *Chemical Geology* 165: 243-266.
- Roulet, M., Lucotte, M., Rheault, I., Tran, S., Farella, N., Canuel, R., Mergler, D., Amorim, M. 1996. Mercury in Amazonian soils: Accumulation and release. In: Bottrell, S.H. (ed.). *Proceedings of the Fourth International Symposium on the Geochemistry of the Earth's Surface*, Ilkely. University of Leeds, Leeds, Reino Unido. p. 453-457.
- Sachs, J., Warner, A.M. 1995. Natural resource abundance and economic growth. Development discussion paper No. 517a. Harvard Institute for International Development (HIID), Cambridge, Massachusetts, E.U.A. 47 p. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w5398.pdf>
- Santos, H.S.B., Malm, O., Kehrig, H.A. 2001. Mercury contamination in *Cichla temensis* (tucunaré) from Tucuruí Reservoir, Brazilian Amazon. In: 6th International Conference on Mercury as a Global Pollutant (ICMGP). Oct. 15-19, 2001, Minamata, Japan. ICMGP, Minamata, Japão. p. 136.
- Santos, S.B.M., Britto, R.C., Castro, E.R. (eds.). 1996. *Energia na Amazônia*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal do Pará & Associação de Universidades Amazônicas, Belém, PA. 966 p.
- Santos, S.B.M., Hernandez, F.M. (eds.). 2009. *Painel de Especialistas: Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte*. Painel de Especialistas sobre a Hidrelétrica de Belo Monte, Belém, PA. 230 p. Disponível em: [http://www.xinguvivo.org.br/wp-content/uploads/2010/10/Belo\\_Monte\\_Painel\\_especialistas\\_EIA.pdf](http://www.xinguvivo.org.br/wp-content/uploads/2010/10/Belo_Monte_Painel_especialistas_EIA.pdf)
- Santos, S.B.M., Marin, R.A., Castro, E. 2009. Análise de situações e dados sociais, econômicos e culturais. In: Santos, S.B.M., Hernandez, F.M. (eds.) *Painel de Especialistas: Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte*. Painel de Especialistas sobre a Hidrelétrica de Belo Monte, Belém, PA. p. 23-34. Disponível em: [http://www.xinguvivo.org.br/wp-content/uploads/2010/10/Belo\\_Monte\\_Painel\\_especialistas\\_EIA.pdf](http://www.xinguvivo.org.br/wp-content/uploads/2010/10/Belo_Monte_Painel_especialistas_EIA.pdf)
- Schilling, P.R. & Canese, R. 1991. *Itaipu: Geopolítica e Corrupção*. Centro Ecumênico de Documentação e Informação (CEDI), Rio de Janeiro, RJ. 53 p.
- Scofield Jr., G. 2011. *Empreiteiras recebem R\$ 8,5 por cada real doado a campanha de políticos*. O Globo [Rio de Janeiro], 07 de maio de 2011. <http://oglobo.globo.com/economia/empreiteiras-recebem-85-por-cada-real-doado-campanha-de-politicos-2773154#ixzz1vFriSQgF>
- Scudder, T. 2006. *The Future of Large Dams: Dealing with Social, Environmental, Institutional and Political Costs*. Routledge, London, Reino Unido. 408 p.
- Shenker, J. 2010. *Dam dilemma*. *Guernica*, 15 de setembro de 2010. [https://www.guernicamag.com/features/shenker\\_9\\_15\\_10/](https://www.guernicamag.com/features/shenker_9_15_10/)
- Silva-Forsberg, M.C., Forsberg, B.R., Zeidemann, V. 1999. Mercury contamination in humans linked to river chemistry. *Ambio* 28: 519-521.
- Stickler, C.M., Coeb, M.T., Costac, M.H., Nepstad, D.C., McGrath, D.G., Dias, L.C., Rodrigues, H.O., Soares-Filho, B.S. 2013. The dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 110(23): 9601-9606. doi: 10.1073/pnas.1215331110
- St Louis, V.L., Rudd, J.W.M., Kelly, C.A., Bodaly, R.A.; Paterson, M.J., Beaty, K.G., Hesslein, R.H., Heyes, A., Majewski, A.R. 2004. The rise and fall of mercury methylation in an experimental reservoir. *Environmental Science and Technology* 38: 1348-1358. doi: 10.1021/es034424f
- Stuart-Fox, M. 2006. The political culture of corruption in the Lao PDR. *Asian Studies Review* 30: 59-75. doi: 10.1080=10357820500537054



- Switkes, G. 2005. Foiling the Aluminum Industry: A Toolkit for Communities, Activists, Consumers, and Workers. International Rivers Network, Berkeley, Califórnia, E.U.A. 53 p. Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/files/Foiling2005.pdf>
- Switkes, G., Bonilha, P. 2008. Águas Turvas: Alertas sobre as Conseqüências de Barrar o Maior Afluente do Amazonas. International Rivers, São Paulo, SP. 234 p. Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/pt-br/resources/%C3%A1guas-turvas-alertas-sobre-as-conseq%C3%BC%C3%AAs-de-barrar-o-maior-afluente-do-amazonas-3967>
- The Economist. 2012. The Mekong River: Lies, dams and statistics. The Economist, 26 de julho de 2012. <http://www.economist.com/blogs/banyan/2012/07/mekong-river>
- The Economist. 2013. Dams in the Amazon: The rights and wrongs of Belo Monte. The Economist, 04 de maio de 2013. <http://www.economist.com/news/americas/21577073-having-spent-heavily-make-worlds-third-biggest-hydroelectric-project-greener-brazil>
- Tollefson, J. 2011. A struggle for power: Brazil is developing the last great untapped reserve of hydroelectricity, the Amazon basin. Nature 479: 160-161. doi: 10.1038/479160a
- Torrente-Vilara, G., de Queiroz, L.J., Ohara, W.M. 2013. Um breve histórico sobre o conhecimento da fauna de peixes do Rio Madeira. In: De Queiroz, L.J., Ohara, W., Zuanon, J., Pires, T.H.S., Torrente-Vilara, G., Doria, C.R.C. (eds.) Peixes do Rio Madeira. Dialeto, São Paulo, SP. p. 19-25.
- Trefis. 2013. Rio T into shelve \$4 billion aluminum smelter plan in Paraguay. Trefis, 16 de dezembro de 2013. <http://www.trefis.com/stock/rio/articles/219055/rio-tinto-shelves-4-billion-aluminum-smelter-plan-in-paraguay/2013-12-16>
- Tsubaki, T., Takahashi, H. (eds.). 1986. Recent Advances in Minamata Disease Studies: Methylmercury Poisoning in Minamata and Niigata, Japan. Kodansha, Ltda., Tokyo, Japão. 214 p.
- Vainer, C.B., Vieira, F.B., de Sousa Monte, F.S., Nuti, M.R., de Mattos Viana, R. 2009. Extraído o conceito de atingido: Uma revisão do debate e diretrizes. In: Santos, S.M., Hernandez, F.M. (eds.) Painel de Especialistas: Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte. Painel de Especialistas sobre a Hidrelétrica de Belo Monte, Belém, PA. p. 213-230. Disponível em: [http://www.internationalrivers.org/files/Belo%20Monte%20pareceres%20IBAMA\\_online%20\(3\).pdf](http://www.internationalrivers.org/files/Belo%20Monte%20pareceres%20IBAMA_online%20(3).pdf)
- Vale. 2004. Albras Compra Energia por 20 Anos. Vale, 04 de maio de 2004. <http://www.vale.com/PT/investors/home-press-releases/Press-Releases/Paginas/albras-compra-energia-por-20-anos.aspx>
- Vauchel, P. 2014. Estudio de la crecida 2014 en la cuenca del rio Madera. Observatoire de Recherche en Environnement – Control Geodinámico, Hidrológico y Bioquímico de la Erosión/Alteración y las Transferencias de Materia en la Cuenca del Amazonas (ORE-HyBAm), Institut de Recherche pour le Développement (IRD), La Paz, Bolivia. 25 p. <http://www.ore-hybam.org/index.php/eng/content/download/17209/89238/file/Estudio%20de%20la%20crecida%202014%20en%20la%20cuenca%20del%20rio%20Madera.pdf>
- Veiga, M.M., Meech, J.A., Onate, N. 1994. Mercury pollution from deforestation. Nature 368: 816-817.
- Veja. 2013. Custo da usina de Belo Monte já supera os R\$ 30 bilhões. Veja, 12 de maio de 2013. <http://veja.abril.com.br/noticia/economia/custo-da-usina-de-belo-monte-ja-supera-os-r-30-bilhoes/>
- WCD (World Commission on Dams). 2000. Dams and Development: A New Framework for Decision Making. Earthscan, London, Reino Unido. 404 p. Disponível em: [http://www.dams.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=49&Itemid=29](http://www.dams.org/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=29)
- Weber-Fahr, M. 2002. Treasure or Trouble? Mining in Developing Countries. World Bank & International Finance Corporation, Washington, DC, E.U.A. 22 p. <http://siteresources.worldbank.org/INTOGMC/Resources/treasureortrouble.pdf>
- Weisser, S.C. 2001. Investigation of the History of Mercury Contamination in the Balbina Reservoir, Amazon. Dissertação de mestrado em toxicologia ambiental. Universität Konstanz, Konstanz, Alemanha. 66 p.
- Wiziack, J. 2012. Governo vai acelerar usinas nos vizinhos para garantir energia. Folha de São Paulo 14 de fevereiro de 2012, p. B-1.
- World Bank. 2003. Accountability at the World Bank: Inspection Panel 10 Years On. The World Bank, Washington, DC, E.U.A. 181 p. [http://siteresources.worldbank.org/EXTINSPECTIONPANEL/Resources/TenYear8\\_07.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTINSPECTIONPANEL/Resources/TenYear8_07.pdf)
- Xingu Vivo. 2011. Belo Monte não cumpre regras, diz Ibama. Xingu Vivo 11 de maio de 2011. Disponível em: <http://www.xinguvivo.org.br/2011/05/11/belo-monte-nao-cumpre-regras-diz-ibama/>
- Zampier, D. 2010. Mais da metade das doações da campanha de Dilma vieram de 41 empresas. Agência Brasil 30 November 2010. <http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2010-12-01/mais-da-metade-das-doacoes-da-campanha-de-dilma-vieram-de-41-empresas>
- Zhang, M.Q., Zhu, Y.C., Deng, R.W. 2002. Evaluation of mercury emissions to the atmosphere from coal combustion, China. Ambio 31: 482-484. doi: <http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-31.6.482>
- Zhou, A. (ed.). 2011. As Tensões do Lugar: Hidrelétricas, Sujeitos e Licenciamento ambiental. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 327 p.



# Capítulo 36

---

## **Hidrelétricas Amazônicas e a Política Energética**

**Philip M. Fearnside**

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).  
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.  
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução parcial de:

Fearnside, P.M. 2014. Análisis de los principales proyectos hidro-energéticos en la región amazónica. Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR) & Centro Latinoamericano de Ecología Social (CLAES), Lima, Peru, 55 p.

## A TOMADA DE DECISÕES SOBRE BARRAGENS

### Alternativas e uso de energia

A energia gerada pelas barragens amazônicas, muitas vezes, faz pouco para melhorar a vida das pessoas que vivem perto dos projetos. No caso de Tucuruí, isto é dramatizado pelas linhas de alta tensão passando sobre barracas iluminadas apenas por lamparinas de querosene. De acordo com relatos na imprensa, ainda há 12.000 famílias sem acesso à eletricidade vivendo nas margens do reservatório de Tucuruí (FSP, 2013). A barragem de Tucuruí fornece energia subsidiada para fábricas multinacionais de alumínio em Barcarena, Pará (Albrás-Alunorte, um consórcio de empresas japonesas juntamente com, a partir de 2010, a Norsk Hydro, da Noruega, como o proprietário majoritário) e São Luís, Maranhão (Alumar, da Alcoa e Vale). A energia é vendida a uma tarifa muito menor que aquela paga pelos consumidores residenciais em todo o País e, portanto, é fortemente subsidiada pela população brasileira através de seus impostos e contas de luz. Belo Monte terá uma linha de transmissão via Tucuruí até as fábricas de alumínio ampliadas em Barcarena e também fornecerá energia para a produção de alumina (um precursor do alumínio) em Juruti, Pará. Uma parte importante da eletricidade é para exportação na forma de lingotes de alumínio, com vantagem mínima para o Brasil: 2,7 empregos criados por GWh (Bermann & Martins, 2000, p. 90; Ver também Bermann, 2011).

O compromisso do Brasil para fornecer energia subsidiada a empresas de alumínio cria uma distorção na economia de energia de todo Brasil, assim infligindo uma gama de custos sociais. A construção de Tucuruí custou um total de US\$8 bilhões quando os juros sobre a dívida são incluídos (Pinto, 1991). Considerando a porcentagem da energia usada para alumínio, só Tucuruí (que é apenas uma parte da infraestrutura provida pelo governo brasileiro) custou US\$2,7 milhões por cada emprego criado (Fearnside, 1999).

Embora a primeira prioridade sempre dever ser a de reduzir o uso de energia, algum aumento da procura de eletricidade ainda é inevitável. As várias opções de geração devem ser comparadas em termos de seus custos e benefícios, não só em termos de dinheiro, mas também em termos das suas implicações sociais e ambientais. Atualmente, além da

influência dos esforços de *lobby*, é o desembolso de dinheiro necessário para a produção de energia que é, essencialmente, o único critério para as decisões sobre projetos de grande escala.

Uma análise de custos, benefícios e perspectivas de diferentes de fontes alternativas de energia, como eólica, solar, biomassa e energia das marés, foi preparado para o Brasil (Moreira, 2012). O custo monetário destas alternativas vem diminuindo e, especialmente no caso de vento, pode competir com os combustíveis fósseis em uma base monetária. Todo o potencial de algumas destas alternativas é muito alto. O atual estado-da-arte da tecnologia para energia eólica, com grupos de torres a 300 m do mar, junto à costa, poderia fornecer mais do que a demanda total de eletricidade no Brasil (Baitelo, 2012). A incerteza dos ventos, é claro, exige que o País tenha também capacidade para obter outras fontes de energia para garantir o fornecimento ininterrupto. Deve ser lembrado que a energia nuclear, que tem importantes questões não resolvidas com relação à segurança, à viabilidade de evacuação da população, e à destinação de resíduos, não precisa ser explorada como uma alternativa para usinas hidrelétricas. O potencial do Brasil para a conservação de energia e para fontes alternativas como eólica e solar dá ao País um vasto conjunto de outras opções. Infelizmente, a descoberta dos enormes depósitos marinhos “pré-sal” de petróleo e gás mudaram as prioridades energéticas para esta opção ambientalmente prejudicial, o que implica não só em emissões de gases de efeito estufa mas também em um risco significativo de derramamentos incontroláveis de petróleo em águas marítimas profundas.

Enquanto outras fontes de energia também têm impactos, a destruição ambiental e social causada pelas barragens coloca essa opção em uma classe à parte. Além disso, a excessiva concentração dos impactos da energia hidrelétrica nas populações locais que vivem no caminho desta forma de desenvolvimento representa um custo social que é mais pronunciado no caso de barragens do que para outras opções de energia, e que faz com que o impacto das barragens seja ainda maior do que se ele é visto como uma hipotética “média” distribuída uniformemente em toda a sociedade.

### Licenciamento de barragens

A história da construção de barragens na Amazônia está cheia de exemplos de problemas

que impediram o processo de licenciamento cumprir a sua finalidade, independente se os problemas constituem uma violação da lei. Estudos de Impacto Ambiental (EIAs) no Brasil são sempre altamente favoráveis aos projetos propostos, minimizando seus impactos e exagerando seus benefícios. Isto deriva em parte de um sistema onde o proponente paga o estudo, faz comentários sobre o relatório e sugere alterações antes de ser apresentado às autoridades. A última parcela do pagamento normalmente é feita apenas se o relatório for recebido favoravelmente pelo órgão governamental. A indústria de produzir relatórios, tanto ao nível de empresas de consultoria e ao nível de consultores individuais, tem forte motivação para produzir documentos favoráveis aos projetos, para aumentar as chances de ser contratado para projetos futuros. Exemplos incluem a barragem de Tucuruí, Samuel, Santo Antônio/Jirau, Belo Monte, Jatapu e Cotingo (Fearnside, 1999, 2001, 2005, 2006a,b, 2011a; Fearnside & Barbosa, 1996a,b; Magalhães & Hernandez, 2009).

### Impacto nos processos democráticos

Um dos impactos mais profundos da construção de barragens é sua tendência a minar as instituições democráticas. Esta é uma consequência lógica dos recursos financeiros desproporcionalmente grandes dos proponentes de barragens. Além disso, se segue como consequência da distribuição dos benefícios e impactos inerentes a projetos de barragens: os benefícios (pelo menos os benefícios que não são exportados) estão espalhados por todo o país, traduzindo assim em apoio político, enquanto a maior parte dos impactos está concentrada nos poucos infelizes que vivem próxima represa.

Dados divulgados pelo Tribunal Superior Eleitoral (TSE) do Brasil indicam que os quatro maiores contribuintes para campanhas políticas no Brasil desde 2002 são empresas empreiteiras que constroem barragens e outras formas de infraestrutura (Gama, 2013). Em fevereiro de 2010, o Ministro das Relações Exteriores do Brasil foi nomeado para o Conselho Consultivo de Itaipu Binacional, recebendo “*jeton*” (pagamento simbólico) mensal de R\$ 12.000 (~ US\$ 6.000) [mais tarde aumentado para R\$ 19.000 (US\$ 9.500) (*Agência Estado*, 2010)]. A atual chefe da Casa Civil, ou seja, a pessoa mais poderosa no governo brasileiro depois da Presidente, é a antiga diretora financeira de Itaipu Binacional. Independentemente de se esses fatos individuais traduzem em uma maior

influência nas prioridades do governo para construir barragens, o enorme poder financeiro dos interesses da construção de barragens é muito importante. Não há recursos financeiros comparáveis disponíveis para aqueles que, por exemplo, promovem a conservação de energia ou argumentam pelo fim da exportação de lingotes de alumínio.

Era evidente nos casos das hidrelétricas do rio Madeira e de Belo Monte que as três pessoas que encabeçaram o Ministério do Meio Ambiente durante o processo de licenciamento receberam intensa pressão dos poderes superiores: a Presidência e a Casa Civil. Um evento chave no caso de Belo Monte foi uma reunião ministerial em 2011, onde a atual Ministra do Meio Ambiente tentou levantar a questão da crítica que a represa de Belo Monte vinha sofrendo. A Presidente interrompeu “aos brados” para declarar que “Vocês têm que entender de uma vez por todas que esse projeto é bom, importante para o País, e vai ser feito!”; o jornal *Folha de São Paulo* informou que “Dali para frente, ninguém objetou mais nada e todos os ministros passaram a defender publicamente a usina como projeto estratégico para a infraestrutura do País” (Magalhães, 2011).

A interferência política no processo de aprovação atingiu proporções não vistas antes, nos casos das barragens no rio Madeira e da Belo Monte (Fearnside, 2012a, 2013a). A aprovação das barragens do rio Madeira abriu perigosos precedentes que, em seguida, foram repetidos em Belo Monte. O pessoal técnico do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que é o órgão licenciador, se posicionou formalmente contra o licenciamento de ambas as barragens do Madeira, com base no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) que haviam sido entregue, e exigiram que novos estudos fossem feitos (Brasil, IBAMA, 2008, 2010; Deberdt *et al.*, 2007). Estes pareceres técnicos foram negados por funcionários em cargos mais graduados no IBAMA, após a substituição das pessoas-chave no processo de aprovação (ver: International Rivers, 2012).

Além disso, em ambos os casos no rio Madeira as empresas de construção foram autorizadas a começar a preparação do local para a construção das barragens antes de ter sido aprovado o EIA. Isso foi feito através da emissão de uma licença “parcial” para o canteiro de obras, separado da licença para o projeto como um todo. Uma base jurídica para uma licença “parcial” não existe na legislação brasileira,

como foi destacado pelo Ministério Público na sua recomendação do para IBAMA de 09 de novembro de 2010 e na Ação Civil Pública de 27 de janeiro de 2011 (ambos disponíveis em <http://www.xinguvivo.org.br/>). Não havia Estudos de Impacto Ambiental elaborados separadamente para os canteiros de obra. De fato, os canteiros de obra são parte integrante da licença para o projeto global e foram incluídos no EIA das barragens, na época ainda não aprovado.

Em Belo Monte, um novo revés foi adicionado pela concessão em 01 de fevereiro de 2010 da licença prévia (após a mudança do chefe do setor de licenciamento de IBAMA em novembro de 2009, sobre intensa pressão da Casa Civil: Brack, 2010). Na licença prévia, o IBAMA especificou 40 “condicionantes”, e havia outras 26 condicionantes da Fundação Nacional do Índio (FUNAI). Muito pouco foi feito para cumprir as condicionantes nos 16 meses entre a licença prévia e a concessão da licença de instalação em 01 de junho de 2011 (imediatamente após uma mudança do presidente do IBAMA). O licenciamento contrariou o pessoal técnico do IBAMA, que uma semana antes, em 23 de maio de 2011, entregou um parecer técnico de 252 páginas apontando que apenas 11 das 40 condicionantes do IBAMA haviam sido consideradas (Brasil, IBAMA, 2011). Já que “condicionantes” são requisitos que devem ser atendidos antes que uma licença seja concedida, pode se perguntar que valor terá as condicionantes para outros projetos de infraestrutura que estão em processo de licenciamento no Brasil. O Instituto Socioambiental (ISA), uma organização não-governamental sediada em Brasília, está desenvolvendo em um estudo detalhado da situação de cada uma das condicionantes em Belo Monte.

O questionamento jurídico sobre irregularidades no processo de licenciamento, geralmente feita pelo Ministério Público, muitas vezes tem apenas um efeito marginal sobre o processo geral de aprovação e construção. Isso ocorre porque uma lei de 1992 permite os juízes derrubarem quaisquer liminares (tais como aqueles baseados em violações dos regulamentos do licenciamento ambiental) se parar um projeto iria causar “graves danos à economia pública” (Lei no. 8437 de 30 de junho de 1992). Pode ser observada a ironia da data dessa lei, apenas duas semanas após o fim da “Cúpula da Terra” de ECO-92 no Rio de Janeiro. Esta lei tem sido usada repetidamente para justificar decisões de ignorar objeções sobre barragens independentemente da magnitude dos impactos e de irregularidades na documentação (por exemplo, Fearnside & Barbosa, 1996a).

No caso de Belo Monte, mais importante do que as questões jurídicas são os impactos subestimados do projeto e os exageros dos benefícios, bem como um processo de tomada de decisão que é cego para ambos. O cenário oficial, conhecido como a “mentira institucionalizada” pelos opositores da barragem (Nader, 2008), é que seria construída apenas uma barragem no rio Xingu, ou seja, a Belo Monte. No entanto, a Belo Monte, sozinha, é inviável economicamente porque o fluxo de água altamente sazonal no rio deixaria a principal casa de força, de 11.000 MW, essencialmente inativa por 3-4 meses do ano (veja o hidrograma em: Brasil, ELETROBRÁS, 2009, Vol. 1, p. 54). Em quatro meses do ano os mínimos de vazão são inferiores ao engolimento de 695 m<sup>3</sup>/s de uma única turbina da casa de força principal (Brasil, ELETRONORTE, 2002, Tomo II, p. 11-3), mesmo sem deduzir a vazão que teria que passar pela Volta Grande do rio Xingu.

Uma análise econômica estima-se que há apenas 28% de chance de ter lucro (Sousa Júnior & Reid, 2010). Isto é baseado em uma estimativa oficial, de junho de 2001, indicando um custo de R\$ 9,6 bilhões (US\$ 4 bilhões na época). Desde então, aumentou-se o orçamento oficial para R\$ 19 bilhões, e as estimativas das empresas de construção são de R\$ 30 bilhões (aproximadamente US\$ 18 bilhões hoje). Já que ninguém iria investir essas quantias com a intenção de perder dinheiro, isso sugere que o governo e os investidores estão, na verdade, contando com as barragens a montante, inundando vastas áreas de floresta e terras indígenas (Fearnside, 2006a). O anúncio da Presidente Dilma Rousseff, no seu discurso no dia do meio ambiente em 05 de junho de 2013, de que o Brasil agora precisa de “hidrelétricas com reservatório” no lugar de usinas a fio d’água (Borges, 2013) pode ser uma alusão à Babaquara.

O Brasil assinou e ratificou a Convenção 169 da Organização Internacional de Trabalho (OIT), em 2003, e suas disposições se tornaram lei em 2004 (Brasil, PR, 2004). A Convenção exige consultas (conhecidas como “OIT-ivas”) com os povos indígenas afetados antes de uma decisão sobre a construção de uma barragem. Belo Monte deve desviar 80% do fluxo do rio Xingu através de uma série de canais, deixando um trecho de 100 quilômetros do rio (incluindo duas terras indígenas) com muito pouca água. Esses índios não foram consultados, e suas reivindicações foram aprovadas pela Comissão de Direitos Humanos da Organização dos Estados Americanos (Medida Cautelar MC-382-10 de 01



de abril de 2011) e pelo Ministério Público (um ramo do Ministério da Justiça do Brasil, que foi criado pela Constituição de 1988 para defender os interesses públicos). Nada menos que 13 processos contra Belo Monte ainda estão aguardando decisões nos tribunais brasileiros. O pesado investimento de capital financeiro e político no projeto feito pelo Poder Executivo do governo federal aumenta o perigo de que a pressão sobre o Judiciário poderia danificar gravemente o sistema democrático no Brasil. A construção da barragem, apesar de ser “totalmente ilegal” (como foi descrito pelo Ministério Público em Belém: Miotto, 2011) poderia ter consequências para o sistema democrático que se tornaria o impacto mais grave deste projeto controverso. A lição para a construção de barragens em qualquer país é que os procedimentos legais para consulta e licenciamento devem ser respeitados em sua totalidade.

Enquanto um grande número de liminares (ordens provisórias) para parar a construção de Belo Monte tem sido revertido por um pequeno grupo de juízes sem levar em conta os méritos dos casos envolvidos, em um caso um tribunal (o Tribunal Regional Federal da 1ª Região, ou TRF-1) decidiu no mérito, decidindo a favor dos povos indígenas e pedindo para parar a construção em 13 de agosto de 2012 (Hurwitz, 2012). A suspensão da construção durou apenas 14 dias. O procurador-geral levou o caso ao Presidente do Supremo Tribunal Federal (STF), que recebeu vários representantes do Poder Executivo do governo e nenhum da sociedade civil (Peres, 2012). O chefe do Tribunal de Justiça, apenas 15 dias antes da sua aposentadoria compulsória e no momento em que estava no meio de presidir o processo do escândalo político e financeiro “*mensalão*”, decidiu por conta própria (sem consultar o resto do Tribunal) que a construção de Belo Monte deve continuar enquanto se espera uma futura decisão sobre o mérito do caso. Hoje, sobre nova gestão, o Supremo Tribunal Federal já agendou uma série de temas controversos para julgamento em 2013, mas Belo Monte não está incluída entre as questões a serem consideradas (Ferreira, 2013). Na prática, isso significa que Belo Monte está a caminho de se tornar um fato consumado antes que o caso seja analisado pelo Supremo Tribunal Federal.

Finalmente, a reação do poder executivo à ação do Ministério Público em casos relacionados com o licenciamento de hidrelétricas, agora ameaça esta parte fundamental do sistema democrático brasileiro. O Ministério Público tem a autoridade e a

responsabilidade de investigar proativamente questões consideradas perigosas para o bem-estar público no País, em vez de ser restrito aos casos e evidências submetidos ao mesmo para decisão. Uma Proposta de Emenda Constitucional (PEC 37) está tramitando no congresso para limitar a autoridade investigativa do Ministério Público (*Agência Brasil*, 2012).

## PADRÕES

Diversos padrões foram desenvolvidos para orientar as decisões sobre projetos como hidrelétricas, e estas tratam de muitas das questões discutidas nas seções anteriores. No entanto, a aplicação destas regras foi decepcionante. Mais importante do que a formulação de mais uma lista de regras é a necessidade de aplicar as regras já existentes.

Um conjunto de regras específicas para barragens foi desenvolvido pela Comissão Mundial de Barragens (WCD, sigla em inglês). Este documento de 404 páginas (WCD, 2000) inicialmente foi bem recebido pelo Banco Mundial (World Bank, 2001), mas, na prática, o Banco tem marginalizado esses padrões em seu financiamento de barragens (McCully, 2002). O mesmo é verdadeiro para os governos nacionais, como evidenciado pela construção de barragens na Amazônia, discutida nas seções anteriores.

Um conjunto geral de regras para todos os projetos de desenvolvimento são os Princípios do Equador (<http://www.equator-principles.com/>). Instituições financeiras podem aderir a este conjunto de diretrizes voluntárias. A violação dos Princípios de Equador foi um fator na recusa do Banco do Brasil e do Banco Itaú de contribuir para o financiamento da barragem de Belo Monte (Schmidt, 2012), mas estes princípios não evitaram que o Banco Santander, da Espanha, se tornasse o principal intermediário para o financiamento do BNDES da barragem de Santo Antônio, no rio Madeira (International Rivers *et al.*, 2009).

Particularmente importante é o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que emprestou um total de US\$96,3 bilhões, ou seja, o triplo do total global de empréstimos do Banco Mundial (Widmer, 2012) em 2010. Instituições financeiras internacionais, como o Banco Mundial e o Banco Interamericano de desenvolvimento (BID), foram acusadas de canalizar fundos através do BNDES como meio de evitar a necessidade de

cumprir com as políticas ambientais destas instituições, um empréstimo para o BNDES nos US\$2 bilhões do Banco Mundial sendo apontado como exemplo desta prática (International Rivers, 2009). O BNDES não aprovou os Princípios de Equador, mas tem um conjunto de orientações internas sobre a responsabilidade social e ambiental (BNDES, 2013) e uma política socioambiental aprovada em 2010 (ver: Widmer, 2012, p. 12). No entanto, falta cumprir os critérios de transparência (Franck, 2012). Um dos princípios ambientais do BNDES é: “O Banco também é guiado pelas boas práticas internacionalmente reconhecidas, tais como as estabelecidas pela Comissão Mundial de Barragens (WCD)” (BNDES, 2013). Os 80% dos custos de Belo Monte financiados pelo BNDES demonstram que este princípio não tem nenhum efeito detectável na prática.

O reassentamento é um dos principais impactos das barragens. O Banco Mundial tem um conjunto de normas para o reassentamento (World Bank, 2011), grande parte devido ao papel do Banco no passado como a criação de impactos sociais desastrosos do financiamento de barragens, tais como as represas Narmada na Índia (Morse *et al.*, 1992). Um conjunto abrangente de normas para o reassentamento foi desenvolvido pela Cernea (1988) com base nas experiências do Banco Mundial (Veja também: Cernea, 2000). O Banco Mundial financiou poucas barragens durante cerca de dez anos, a partir dos primeiros anos da década de 1990, em grande parte devido às preocupações com os impactos sociais, mas desde então esta precaução tem diminuído e o financiamento para barragens aumentou novamente.

O tratamento dos povos indígenas é uma questão fundamental para muitas represas amazônicas. As normas contidas na Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT), que foi assinado e ratificado pelo Brasil e Peru, oferecem garantias importantes para os povos indígenas que são afetados pelas barragens. A mais importante é o direito de “consulta” antes da decisão sobre a construção da barragem. Uma “consulta” é diferente de uma “audiência”, porque uma consulta envolve o direito de dizer ‘não’. Também é importante a inclusão de todos os indígenas “afetados” por uma barragem, não apenas aqueles cuja terra é inundada pelo reservatório. No caso da barragem de Belo Monte, duas áreas indígenas a jusante da barragem principal terão o fluxo do rio bastante reduzido, privando a população indígena dos peixes e dos outros benefícios do rio, que representam a base do seu sustento.

A Comissão dos Direitos Humanos da Organização dos Estados Americanos (OEA) determinou que esses índios que sofreriam impactos e devem ser consultados (Amazon Watch & International Rivers, 2012). A forte reação do governo brasileiro, incluindo a suspensão dos pagamentos dos direitos brasileiros à OEA, causou uma crise diplomática internacional (FSP, 2011). Nenhum dos povos indígenas afetados por Belo Monte foi consultado. O mesmo se aplica aos povos indígenas ao longo do rio Ene, no Peru, que seriam afetados pelas barragens a serem construídas através do acordo Brasil/Peru de 2010 (por exemplo, Fundação FENAMAD, 2010; International Rivers, 2011; *Veja*, 2010).

## RECOMENDAÇÕES

Cada país é diferente em termos das limitações e oportunidades para melhorar os resultados das decisões importantes, tais como a construção de barragens. A situação também muda ao longo do tempo dentro de cada país. No caso do Brasil, opções para o fortalecimento da legislação ambiental são atualmente muito limitadas, devido ao Congresso Nacional ser controlado por interesses abertamente contra o meio ambiente, como foi mostrado pelos votos em 2012 para enfraquecer o Código Florestal Brasileiro. Isso significa que qualquer proposta para o fortalecimento da legislação ambiental seria usada como uma abertura para reduzir as proteções concedidas pela legislação em vigor. Ações, portanto, se limitam à contribuição geral para ensino, pesquisa e esforços para deter a erosão dos atuais regulamentos.

As seguintes recomendações foram derivadas de seções anteriores:

- (1) Antes de qualquer coisa, é necessária a discussão sobre como se usa a energia, incluindo a exportação de produtos eletro-intensivos, como o alumínio.
- (2) Fontes de energia alternativas e conservação de energia elétrica, tais como energia eólica e solar, e devem receber prioridade.
- (3) Avaliação e discussão democrática dos custos e benefícios ambientais e sociais deve ocorrer antes das decisões reais sobre a construção de barragens.
- (4) São necessários esforços para minimizar a pressão política sobre os órgãos ambientais.

- (5) Mecanismos são necessários para realizar estudos sobre impactos ambientais e sociais sem financiamento pelos proponentes dos projetos.
- (6) Não deveria ser concedido nenhum crédito de carbono para barragens em programas de mitigação para evitar o aquecimento global.
- (7) A construção de barragens deve respeitar a legislação, as garantias constitucionais, e os tratados internacionais.
- (8) A tomada de decisões deve dar valor ao impacto humano, em preferência aos ganhos financeiros.

## AGRADECIMENTOS

Este documento foi preparado para o “Painel Internacional de Meio Ambiente e Energia: Um Diagnóstico dos Principais Projetos Hidroenergéticos”, Bogotá, Colômbia, 15-16 de abril de 2013. Porções desta discussão são adaptações de Fearnside, 2011b, 2012c. As pesquisas do autor são financiadas pelo Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (proc. 304020/2010-9; 573810/2008-7) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) (proc. 708565). Agradeço ao Paulo Mauricio Lima de Alencastro Graça pelos comentários. Esta é uma tradução parcial de Fearnside (2014).

## LITERATURA CITADA

- Agência Brasil*. 2012. Comissão da Câmara aprova parecer para limitar poderes do Ministério Público. 22 de novembro de 2012. [http://www.em.com.br/app/noticia/politica/2012/11/22/interna\\_politica,331419/comissao-da-camara-aprova-parecer-para-limitar-poderes-do-ministerio-publico.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/politica/2012/11/22/interna_politica,331419/comissao-da-camara-aprova-parecer-para-limitar-poderes-do-ministerio-publico.shtml)
- Agência Estado*. 2010. Amorim assume cargo em Itaipu e receberá R\$ 12 mil de jetom. 14 de fevereiro de 2010. <http://www.gazetadopovo.com.br/opiniaao/conteudo.phtml?id=973634&tit=Amorim-assume-cargo-em-Itaipu-e-recebera-R-12-mil-de-jetom>
- Amazon Watch & International Rivers. 2012. ILO Says Brazil Violated Convention 169 in Belo Monte Case: International Labor Organization confirms government violated indigenous rights. <http://amazonwatch.org/news/2012/0307-ilo-says-brazil-violated-convention-169-in-belo-monte-case>
- Baitelo, R. 2012. Energias Renováveis: Energia Eólica e Solar. p. 71-82, 99. In: P.F. Moreira (ed.) *Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios*. 2ª ed. Rios Internacionais, Brasília, DF, Brasil. 100 p. Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/node/7525>
- Bermann, C. 2011. Notas sobre la energía incorporada en la exportación de bienes primarios en Brasil. *Energía y Equidad* 1(1): 31-38.
- Bermann, C. & O.S. Martins. 2000. *Sustentabilidade Energética no Brasil: Limites e Possibilidades para uma Estratégia Energética Sustentável e Democrática*. (Série Cadernos Temáticos No. 1) Projeto Brasil Sustentável e Democrático, Federação dos Órgãos para Assistência Social e Educacional (FASE), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 151 p.
- BNDES, 2013. Social and Environmental Responsibility. [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_en/Institucional/Social\\_and\\_Environmental\\_Responsibility](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_en/Institucional/Social_and_Environmental_Responsibility)
- Borges, A. 2013. Dilma defende usinas hidrelétricas com grandes reservatórios. Valor Econômico, 06 de junho de 2013. [http://www.valor.com.br/imprimir/noticia\\_impresso/3151684](http://www.valor.com.br/imprimir/noticia_impresso/3151684)
- Brack, P. 2010. Enterrem minha consciência bem longe deste rio. *OEKO*, 03/02/2010. <http://www.oeco.org.br/convidados/64-colonistas-convidados/23394-enterrem-minha-con>
- Brasil, ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras S/A). 2009. *Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte: Estudo de Impacto Ambiental*. Fevereiro de 2009. ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 36 vols.
- Brasil, ELETRONORTE (Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A.). 2002. *Complexo Hidrelétrico Belo Monte: Estudos De Viabilidade, Relatório Final*. ELETRONORTE), Brasília, DF. 8 vols.
- Brasil, IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2008. Parecer Técnico No. 45/2008-COHID/CGENE/DILIC/IBAMA de 08 de maio de 2008. Assunto: Análise da solicitação da emissão da Licença de Instalação do Aproveitamento Hidrelétrico de Santo Antônio. IBAMA, Brasília, DF, Brasil. 146 p. Disponível em: <http://www.bicusa.org/proxy/Document.100555.aspx>
- Brasil, IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2010. Parecer Técnico No. 06/2010-COHID/CGENE/DILIC/IBAMA de 26 de janeiro de 2010. Assunto: Análise técnica das complementações solicitadas no Parecer nº 114/2009, referente ao Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte, processo nº 02001.001848/2006-75. IBAMA, Brasília, DF, Brasil. 21 p.
- Brasil, IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2011. Parecer nº 52/2011AHEBelo Monte-COHID/CGENE/DILIC/IBAMA. Ref: Análise da solicitação de Licença de Instalação da Usina Hidrelétrica Belo Monte, processo nº 02001.001848/2006-75. IBAMA, Brasília, DF, Brasil. 252 p. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/licenciamento/index.php>
- Brasil, PR (Presidência da República). 2004. Decreto no 5.051, de 19 de abril de 2004, PR, Brasília, DF, Brasil. <http://www>



planalto.gov.br/ccivil\_03/\_ato2004-2006/2004/decreto/d5051.htm

- Cernea, M.M.1988. *Involuntary Resettlement in Development Projects: Policy Guidelines in World Bank-Financed Projects*. (World Bank technical paper no. 80), The World Bank, Washington, DC, E.U.A. 88 p. Disponível em: <http://rru.worldbank.org/documents/toolkits/highways/pdf/91.pdf>
- Cernea, M. 2000. Impoverishment Risks, Safeguards, and Reconstruction: A Model for Population Displacement and Resettlement. In: M. Cernea & C. McDowell (eds.) *Risks and Reconstruction. Experiences of Resettlers and Refugees*. The World Bank, Washington, DC, E.U.A. 504 p.
- Deberdt, G., I. Teixeira, L.M.M. Lima, M.B. Campos, R.B. Choueri, R. Koblitz, S.R. Franco & V.L.S. Abreu. 2007. Parecer Técnico No. 014/20007 – FCOHID/CGENE/DILIC/IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Brasília, DF, Brasil. 121 p. Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/Dossie/Mad/Documentos%20Oficiais/Madeiraparecer.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Mad/Documentos%20Oficiais/Madeiraparecer.pdf)
- Fearnside, P.M. 1999. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management* 24(4): 483-495. doi: 10.1007/s002679900248
- Fearnside, P.M. 2001. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Management* 27(3): 377-396. doi: 10.1007/s002670010156
- Fearnside, P.M. 2005. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management* 35(1): 1-19. doi: 10.1007/s00267-004-0100-3
- Fearnside, P.M. 2006a. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's Hydroelectric Development of the Xingu River Basin. *Environmental Management* 38(1): 16-27. doi: 10.1007/s00267-005-00113-6
- Fearnside, P.M. 2006b. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Reply to Rosa et al. *Climatic Change* 75(1-2): 103-109. doi: 10.1007/s10584-005-9016-z
- Fearnside, P.M. 2011a. Gases de Efeito Estufa no EIA-RIMA da Hidrelétrica de Belo Monte. *Novos Cadernos NAEA* 14(1): 5-19.
- Fearnside, P.M. 2011b. Will the Belo Monte Dam's benefits outweigh the costs? *Latin America Energy Advisor*, 21-25 de fevereiro de 2011, p. 6. [<http://www.thedialogue.org>]
- Fearnside, P.M. 2012a. Belo Monte Dam: A spearhead for Brazil's dam building attack on Amazonia? GWF Discussion Paper 1210, Global Water Forum, Canberra, Australia. 6 pp. Available at: [http://www.globalwaterforum.org/wp-content/uploads/2012/04/Belo-Monte-Dam-A-spearhead-for-Brazils-dam-building-attack-on-Amazonia\\_-GWF-1210.pdf](http://www.globalwaterforum.org/wp-content/uploads/2012/04/Belo-Monte-Dam-A-spearhead-for-Brazils-dam-building-attack-on-Amazonia_-GWF-1210.pdf)
- Fearnside, P.M. 2012b. Philip Fearnside Comments to PJCERS on Jirau Dam (Brazil). Submission to the Perry Johnson Registrars Carbon Emissions Services. <http://www.internationalrivers.org/resources/philip-fearnside-comments-on-jirau-dam-brazil-7471>
- Fearnside, P.M. 2012c. Will Brazil's Belo Monte Dam get the green light? *Latin America Energy Advisor*, 27-31 Aug. 2012, pp. 1 & 4. [<http://www.thedialogue.org>]
- Fearnside, P.M. 2013. Carbon credit for hydroelectric dams as a source of greenhouse-gas emissions: The example of Brazil's Teles Pires Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18(5): 691-699. doi: 10.1007/s11027-012-9382-6
- Fearnside, P.M. 2014. Análisis de los principales proyectos hidro-energéticos en la región amazónica. Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR), Lima, Peru & Centro Latinoamericano de Ecología Social (CLAES), Lima, Peru, 55 p.
- Fearnside, P.M. & R.I. Barbosa. 1996a. Political benefits as barriers to assessment of environmental costs in Brazil's Amazonian development planning: The example of the Jatapu Dam in Roraima. *Environmental Management* 20(5): 615-630. doi: 10.1007/BF01204135
- Fearnside, P.M. & R.I. Barbosa. 1996b. The Cotingo Dam as a test of Brazil's system for evaluating proposed developments in Amazonia. *Environmental Management* 20(5): 631-648. doi: 10.1007/BF01204136
- Ferreira, F. 2013. STF mantém agenda de temas polêmicas em 2013. *Folha de São Paulo*, 01 de janeiro de 2013, p. A-4.
- Franck, A. 2012. Is the EIB's Climate Change Loan to Brazil Sustainable? Both ENDS Policy Note, 23 p. [http://www.bothends.org/uploaded\\_files/document/1Both\\_ENDS\\_Policy\\_Note\\_BNDES.pdf](http://www.bothends.org/uploaded_files/document/1Both_ENDS_Policy_Note_BNDES.pdf)
- FSP (*Folha de São Paulo*). 2011. Dilma retalia OEA por Belo Monte e suspende recursos. 30 de abril de 2011, p. B7.
- FSP (*Folha de São Paulo*). 2013. Às margens da usina de Tucuruí, 12 mil famílias vivem sem energia. 07 de janeiro de 2013, p. A-1.
- Funación FENAMAD. 2010. Indígenas de Madre de Dios rechazan construcción de hidroeléctrica de Inambari. <http://fenamad-indigenas.blogspot.com.br/2010/01/indigenas-de-madre-de-dios-rechazan.html>
- Gama P. 2013. Maiores doadores somam gasto de R\$1 bi desde 2002. Construtores e bancos são principais financiadores de campanhas eleitorais. *Folha de São Paulo*, 21 de janeiro de 2013, p. A-6.
- Hurwitz, Z. 2012. Belo Monte Dam suspended by high Brazilian court. <http://www.internationalrivers.org/blogs/258/belo-monte-dam-suspended-by-high-brazilian-court>
- International Rivers. 2009. Brazil's National Destruction Bank Does it Up Big. <http://www.internationalrivers.org/blogs/232/brazil-s-national-destruction-bank-does-it-up-big>
- International Rivers. 2011. Brazil eyes the Peruvian Amazon. International Rivers, Berkeley, California, E.U.A. 4 p. Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/en/peru>
- International Rivers. 2012. Comments on the Santo Antônio Hydropower Project Submitted to the Perry Johnson



- Registrars Carbon Emissions Services. International Rivers, Berkeley, California, E.U.A. 12 p. <http://www.internationalrivers.org/pt-br/node/3052>
- Magalhães, V. 2011. Presidente pavio curto. *Folha de São Paulo*, 13 de novembro de 2011, p. A-16-17. <http://acervo.folha.com.br/fsp/2011/11/13/2>
- Magalhães, S.M.S.B. & F.M. Hernandez (eds.). 2009. *Painel de Especialistas: Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte*. Painel de Especialistas sobre a Hidrelétrica de Belo Monte, Belém, Pará, Brasil. 230 p. Disponível em: [http://www.internationalrivers.org/files/Belo%20Monte%20pareceres%20IBAMA\\_online%20\(3\).pdf](http://www.internationalrivers.org/files/Belo%20Monte%20pareceres%20IBAMA_online%20(3).pdf)
- Magalhães, S.M.S.B. & F.M. Hernandez (eds.). 2009. *Painel de Especialistas: Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte*. Painel de Especialistas sobre a Hidrelétrica de Belo Monte, Belém, Pará, Brasil. 230 p. Disponível em: [http://www.internationalrivers.org/files/Belo%20Monte%20pareceres%20IBAMA\\_online%20\(3\).pdf](http://www.internationalrivers.org/files/Belo%20Monte%20pareceres%20IBAMA_online%20(3).pdf)
- McCully, P. 2002. The Difficulty of the Plains: Taking the WCD forward. <http://www.internationalrivers.org/resources/the-difficulty-of-the-plains-taking-the-wcd-forward-1940>
- Miotto, K. 2011. Norte Energia inicia obras de Belo Monte. (O) *Eco Notícias*. 09 de março de 2011. <http://www.oeco.com.br/salada-verde/24867-norte-energia-inicia-obras-de-belo-monte>
- Moreira, P.F. (ed.) 2012. *Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios. 2ª ed.* Rios Internacionais, Brasília, DF, Brasil. 100 p. Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/node/7525>
- Morse, B., T. Berger, D. Gamble & H. Brody. 1992. *Sardar Sarovar: Report of the Independent Review*. Resources Futures International, Ottawa, Canada. 363 p.
- Peres, C. 2012. Ayres Britto acata pedido da AGU e obras de Belo Monte são retomadas. *Notícias Socioambientais* 28/08/2012, Instituto Socioambiental (ISA), Brasília, DF, Brasil. <http://www.socioambiental.org/nsa/detalhe?id=3656>
- Pinto, L.F. 1991. *Amazônia: A Fronteira do Caos*. Editora Falangola, Belém, Pará, Brasil. 159 p.
- Schmidt, B. 2012. Esteves Backs \$14 Billion Amazon Dam Itau Shuns. Bloomberg, 04 de dezembro de 2012. <http://www.internationalrivers.org/resources/esteves-backs-14-billion-amazon-dam-ita-shuns-7765>
- Sousa Júnior, W.C. & J. Reid. 2010. Uncertainties in Amazon hydropower development: Risk scenarios and environmental issues around the Belo Monte dam. *Water Alternatives* 3(2): 249-268.
- Veja, J.S. 2010. *Itambari: La Urgencia de una Discusión Seria Nacional, Pros y Contras de un Proyecto Hidroeléctrico*. Fundación Peruana para la Conservación de la Naturaleza (Pronaturaleza), Lima, Peru. 229 p. Disponível em: [http://www.bicusa.org/wp-content/uploads/2013/01/inambari\\_02dic\\_vf.pdf](http://www.bicusa.org/wp-content/uploads/2013/01/inambari_02dic_vf.pdf)
- WCD. 2000. *Dams and Development – A New Framework for Decision Making – The Report of World Commission on Dams*. World Commission on Dams (WCD) & Earthscan, London, Reino Unido. 404 p. Disponível em: [http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/world\\_commission\\_on\\_dams\\_final\\_report.pdf](http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/world_commission_on_dams_final_report.pdf)
- Widmer, R. 2012. The Brazilian Safeguard Regime, Its Application, and Recommendations for the Future. One Advisory, São Paulo, Brasil. 48 p. [http://www.oneadvisory.com/wp-content/uploads/2012/02/OneAdvisory-Brazil-SG\\_Regime.pdf](http://www.oneadvisory.com/wp-content/uploads/2012/02/OneAdvisory-Brazil-SG_Regime.pdf)
- World Bank. 2001. Report of the World Commission on Dams: World Bank position. *The World Bank Fact Sheet*. The World Bank, Washington, DC, E.U.A. 2 p. <http://siteresources.worldbank.org/ESSDNETWORK/1105722-1115887495018/20487853/ReportontheWorldCommissiononDamsWorldBankPosition.pdf>
- World Bank. 2011. OP 4.12 - Involuntary Resettlement. The World Bank, Washington, DC, E.U.A. <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/PROJECTS/EXTPOLICIES/EXTOPMANUAL/0,,contentMDK:20064610~menuPK:64701637~pagePK:64709096~piPK:64709108~theSitePK:502184,00.html>

