

The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é uma SEPARATA

Please cite as:

Favor citar como:

Fearnside, P.M. 2019. Hidrelétricas em florestas tropicais como fontes de gases de efeito estufa. pp. 77-110. In: A.V. Galucio & A.L. Prudente (eds.) *Biota Amazônica - Museu Goeldi 150 Anos*. Museu Paraense Emílio Goeldi-MPEG, Belém, Pará. 387 p.

ISBN: 978-65-5000-005-9

Copyright: Museu Paraense Emílio Goeldi

The original publication is available from:

A publicação original está disponível de:

<https://www.museu-goeldi.br/noticias/150-anos-de-conhecimento-na-amazonia>

<https://www.museu-goeldi.br/assuntos/publicacao/catalogo-de-publicacoes>

Esta é uma tradução atualizada de:

Fearnside, P.M. 2016. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams in tropical forests. pp. 428-438 In: J. Lehr & J. Keeley (eds.) *Alternative Energy and Shale Gas Encyclopedia*. John Wiley & Sons Publishers, New York, E.U.A. 912 pp.



Reservatório da Usina Hidrelétrica de Balbina, AM. Foto: Philip Fearnside.

HIDRELÉTRICAS EM FLORESTAS TROPICAIS COMO FONTES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

>>> Philip M. Fearnside

RESUMO

Hidrelétricas tropicais não são fontes de “energia limpa” porque produzem gases de efeito estufa em quantidades substanciais. No caso do dióxido de carbono (CO_2), há grande emissão nos primeiros anos de funcionamento dos reservatórios, pela decomposição das árvores deixadas nessas áreas, que projetam acima do nível da água. Esta decomposição ocorre abaixo da água, a profundidades onde não há oxigênio, e produz metano (CH_4), com impacto muito maior sobre o aquecimento global, quando comparado ao CO_2 . As fontes de carbono para produção de metano são de dois tipos: renováveis e não renováveis. As não renováveis, tais como o solo e a biomassa inicial da vegetação terrestre, que é inundada, geram grande pulso de emissão nos primeiros anos, mas, depois disso, essas emissões diminuem para níveis baixos. As fontes renováveis, no entanto, podem continuar a converter CO_2 atmosférico em CH_4 ao longo de toda a vida da barragem. Fontes renováveis de carbono incluem ervas e gramíneas que crescem na zona de deplecionamento, quando ela está exposta ao ar a cada ano. Comparações com combustíveis fósseis exigem quantificação não só da magnitude, mas também do *timing* das emissões, incluindo as diretas e indiretas. O tempo é essencial, porque as barragens e os combustíveis fósseis diferem no tempo da ocorrência da emissão. As hidrelétricas têm pico muito grande de emissão nos primeiros anos, enquanto as usinas termelétricas emitem esses gases ao longo de sua vida em proporção direta à eletricidade que é produzida. Esse capítulo é uma tradução atualizada de Fearnside (2016a).

INTRODUÇÃO

Embora as represas hidrelétricas sejam, muitas vezes, apresentadas como fontes de energia “verde”, ou seja, sem emissões de gases de efeito estufa, na verdade, elas emitem quantidades substanciais de gases (FEARNSIDE, 2007, 2009; GUNKEL, 2009). Os montantes emitidos variam muito, dependendo da localização geográfica, da idade do reservatório, de entradas externas de nutrientes e de carbono e também de características do reservatório, como fluxo de água, tempo, reposição, área, profundidade, flutuações do nível da água, posicionamento das turbinas e vertedouros (BARROS et al., 2011; DE FARIA et al., 2015).

Barragens localizadas em áreas tropicais emitem mais metano quando comparadas com aquelas que estão em áreas de clima temperado ou boreal (BARROS et al., 2011; MATTHEWS et al., 2005). Bastviken et al. (2011) estimaram que reservatórios cobrem uma superfície de 500.000 km² em todo o mundo e emitem 20 milhões de toneladas de metano (CH₄) anualmente. Esses dados correspondem a 185 milhões de toneladas de carbono “equivalente”, ou carbono na forma de CO₂, se for calculado usando-se o potencial de global aquecimento (do inglês, *Global Warming Potential* - GWP), apresentado no quinto relatório de avaliação (AR5), do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC). Para isso, considera-se, em relação ao metano, o valor de 34 para o GWP de 100 anos, ou seja, uma tonelada de metano tem o mesmo impacto para o aquecimento global do que 34 toneladas de CO₂, se o cálculo for feito ao longo de um período de 100 anos. No entanto, se o cálculo for feito para 20 anos, o GWP de metano sobe para 86 (MYHRE et al., 2013), e o impacto desta emissão mundial sobe para 1,7 bilhões de toneladas de carbono na forma de CO₂. Esses valores para o GWP de metano incluem o efeito da retroalimentação entre o clima e o carbono, confirmado pelo quinto relatório do IPCC como sendo parte real do sistema climático, embora muitos diplomatas, inclusive os brasileiros, queiram usar o valor de 28 para 100 anos, sem incluir essas retroalimentações, subestimando o impacto das barragens.

Esses números ora apresentados para emissões globais só incluem as que envolvem as superfícies dos reservatórios através de ebulição (bolhas) e de difusão (emanação), sem considerar as que ocorrem quando a água, com alta

concentração em metano, emerge (sob pressão) de um nível profundo na coluna de água através de turbinas e vertedouros, e podem mais do que dobrar estes índices (ABRIL et al., 2005; FEARNSSIDE, 2009; KEMENES; FORSBERG; MELACK, 2008). No entanto, a elaboração de uma estimativa global é dificultada pela grande quantidade de informação específica, necessária para estimar as emissões de cada represa.

Os fatores anteriormente mencionados – omissão das principais fontes de emissões, como as turbinas, emissões muito maiores de metano em barragens tropicais em comparação a outras regiões e desconsideração ou minimização da importância do tempo – explicam a conclusão do IPCC no “Relatório especial sobre fontes renováveis de energia e mitigação da mudança climática” (EDENHOFER et al., 2012), o qual conclui que a geração de energia hidrelétrica tem impacto de apenas 4 g CO₂-equivalente/KWh de eletricidade gerada, representando a metade ou menos do que é produzido por qualquer outra fonte, incluindo energia eólica (12 g CO₂-equivalente/KWh) e solar fotovoltaico (46 g CO₂-equivalente/KWh) (MOOMAW et al., 2012). Entre outros problemas¹ na revisão do IPCC, nenhuma das 11 fontes usadas para cobrir todas as zonas climáticas do mundo parece representar as represas tropicais (MOOMAW et al., 2012). As fontes usadas eram estudos sobre barragens nos EUA (BARNTHOUSE et al., 1994; RHODES et al., 2000; DENHOLM; KULCINSKI, 2004; HORVATH, 2005; PACCA, 2007), na Europa (DONES et al., 2005, 2007; VATTENFALL AB GENERATION NORDIC, 2008), na China (ZHANG et al., 2007), no Brasil (região Sul) e no Paraguai (RIBEIRO; DA SILVA, 2010), e uma fonte sem dados sobre barragens específicas (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 1998). No entanto, são áreas tropicais, como a Amazônia, que representam os locais onde se espera o maior desenvolvimento hidrelétrico do mundo nas próximas décadas.

A revisão que segue concentra-se em barragens localizadas em áreas de floresta tropical na América do Sul (Figura 1). Grande parte das informações é aplicável para outras áreas tropicais e, em certa medida, para subtropicais, entre outras. A

¹ Ver Fearnside (2015a).

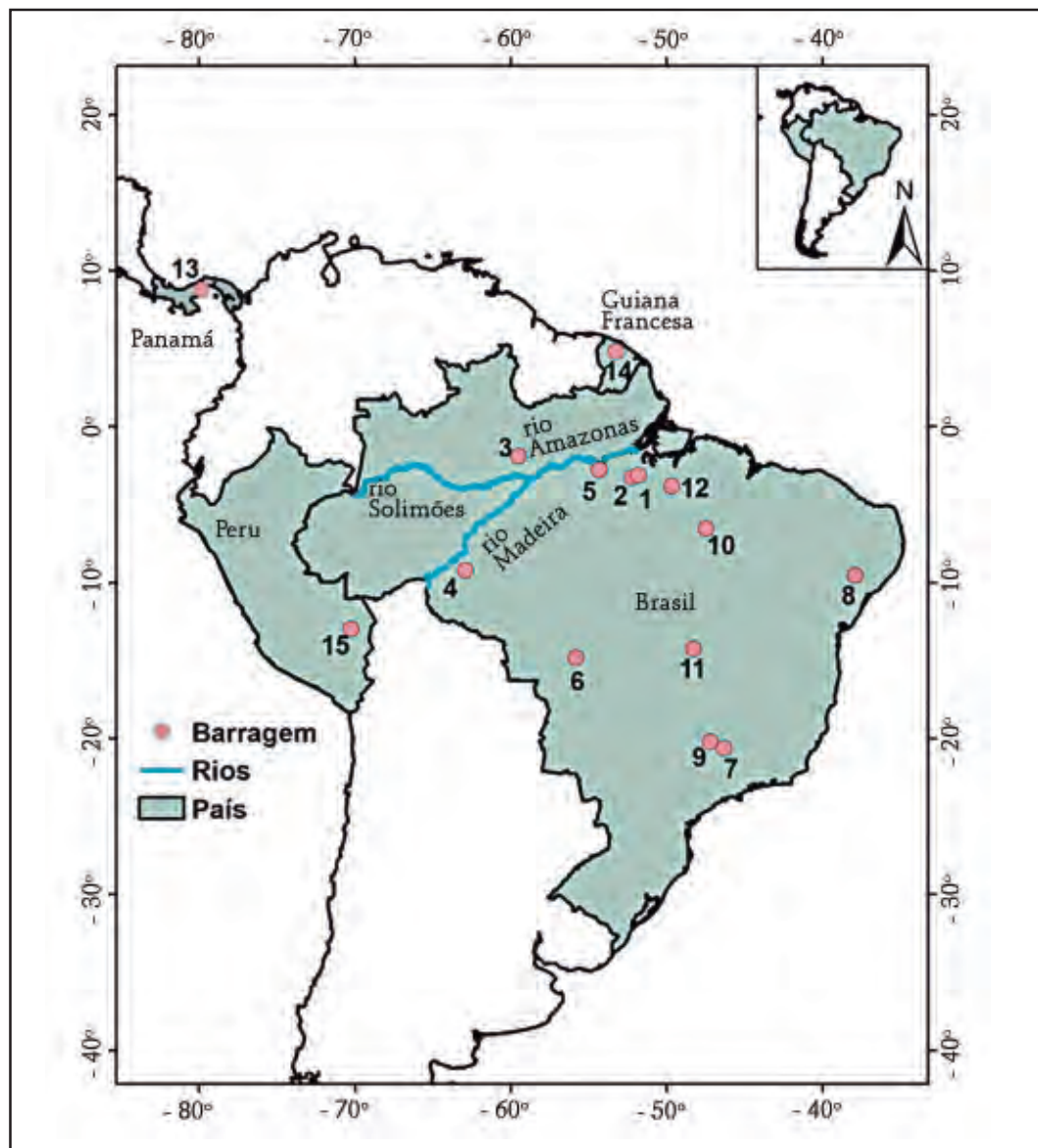


Figura 1. Locais das barragens mencionadas no texto. Legendas: 1 = Belo Monte (Vitória do Xingu, Pará); 2 = Babaquara (“Altamira”) (Altamira, Pará); 3 = Balbina (Presidente Figueiredo, Amazonas); 4 = Samuel (Candeias do Jamari, Rondônia); 5 = Curuá-Una (Santarém, Pará); 6 = Manso (Chapada dos Guimarães e Nova Brasilândia, Mato Grosso); 7 = Furnas (São José da Barra e São João Batista do Glória, Minas Gerais); 8 = Xingó (Piranhas, Alagoas e Canindé de São Francisco, Sergipe); 9 = Peixoto (“Mascarenhas de Moraes”) (Ibiraci, Minas Gerais); 10 = Estreito (Estreito, Maranhão e Palmeiras, Tocantins); 11 = Serra da Mesa (Minaçu, Goiás); 12 = Tucuruí (Tucuruí, Pará); 13 = Fortuna (“Edwin Fabrega”) (Chiriquí, Panamá); 14 = Petit Saut (Sinnamary e Kourou, Guiana Francesa); 15 = Inambari (Madre de Dios, Peru). Mapa traduzido de Fearnside (2016a).

rápida expansão das barragens planejadas na Amazônia torna uma prioridade urgente os avanços na medição e na modelagem de emissões hidrelétricas. O Plano Decenal 2013-2022 do Brasil para a expansão de energia prevê 18 grandes barragens novas na Amazônia Legal (BRASIL, 2013).

TIPOS DE EMISSÃO

• Dióxido de carbono (CO₂)

Hidrelétricas emitem gases de efeito estufa de várias maneiras, ao longo das suas vidas. Em primeiro lugar, há emissões ligadas à construção da barragem devido ao uso de cimento, aço e combustíveis. Essas emissões são maiores do que as que ocorrem durante uma instalação equivalente, que gera a mesma quantidade de eletricidade, a partir de combustíveis fósseis ou de fontes alternativas, como eólica e solar. As emissões relacionadas à construção de barragem ocorrem por vários anos antes do início da geração de energia elétrica – mais do que o tempo necessário, no caso das outras fontes. Considerando-se que o tempo tem valor na valoração de impactos para o aquecimento global, a diferença temporal deve ser acrescentada ao impacto gerado pelas hidrelétricas, quando comparado à maior parte das outras fontes (FEARNSIDE, 1997). As emissões de construção são estimadas em 0,98 milhões de toneladas de equivalentes de carbono em forma de CO₂ para a represa de Belo Monte e em 0,78 milhões de toneladas para a represa de Babaquara/Altamira, se calculadas sem a ponderação por tempo (FEARNSIDE, 2009).

Quando uma paisagem é inundada por um reservatório, as emissões líquidas do contexto pré-barragem devem ser subtraídas dos fluxos de gás correspondentes do reservatório, a fim de avaliar o impacto líquido proporcionado pela barragem. Em áreas de floresta tropical, o balanço de carbono da floresta é um fator crítico. Na década de 1990, muitos acreditavam que a floresta amazônica seria um grande sumidouro de carbono atmosférico, aumentando, assim, o impacto líquido sobre o aquecimento global, em razão da conversão de floresta para um meio destinado a outros usos, incluindo reservatórios. No entanto, a correção de uma série de problemas nas técnicas de medição posteriormente reduziu as estimativas de absorção pela floresta em mais de cinco vezes, em média, e esse espaço já não é

pensado como um grande sumidouro de carbono (ARAÚJO et al., 2002; FEARNSSIDE, 2000; KRUIJT et al., 2004).

A quantidade de absorção de carbono pela floresta amazônica varia substancialmente entre locais (OMETTO et al., 2005). As maiores taxas de captação foram estimadas a partir de medições de crescimento de árvores no Peru e no Equador (PHILLIPS et al., 1998, 2004). Diferentemente do Brasil – onde o projeto Experimento de Grande Escala na Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) montou uma série de torres na floresta, com equipamentos para medir fluxos de CO₂ usando correlação de vórtices –, não há nenhuma torre no Peru e no Equador para medições comparáveis. As taxas de absorção diminuem desde os Andes até o oceano Atlântico, um padrão que tem sido atribuído a um gradiente correspondente à fertilidade do solo (MALHI et al., 2006). Em 2010, o Brasil assinou um acordo com o Peru para permitir que a companhia de eletricidade do governo brasileiro Eletrobrás construísse as primeiras seis barragens, entre as mais de uma dezena que estão planejadas para a Amazônia peruana.

Emissões de desmatamento podem ser substanciais como resultados do deslocamento da população e da estimulação do desmatamento no entorno das novas barragens, junto com as suas estradas de acesso, como ocorreu na hidrelétrica de Tucuruí (FEARNSSIDE, 2001). Emissões deslocadas podem ocorrer pelo uso perdido da terra inundada, fazendo, assim, com que a população local estabeleça propriedades rurais em outras áreas, que passam a ser desmatadas, onde esses grupos emitem gases de efeito estufa. Também há emissões do uso perdido da água, por exemplo, para substituir os peixes que anteriormente foram produzidos no rio natural, sem barragens. Esta é uma preocupação para as barragens no rio Madeira (FEARNSSIDE, 2014a). Além de bloquear a migração de peixes para suas áreas de reprodução (BARTHEM; RIBEIRO; PETRERE JÚNIOR, 1991), elas retêm sedimentos associados a nutrientes que sustentam a cadeia trófica para peixes a jusante (FORSBERG et al., 2017; LATRUBESSE et al., 2017).

Outra importante fonte de emissão é o carbono liberado pela decomposição – que ocorre acima do nível da água – das árvores que morrem por inundação na hora de encher o reservatório (ABRIL et al., 2013). As árvores são, geralmente, deixadas em pé no reservatório, onde se projetam acima do nível da água e apodrecem na presença de oxigênio, liberando o carbono na forma de CO₂.

Árvores adicionais morrem perto da orla, na floresta que não é inundada, incluindo as florestas localizadas nas ilhas no reservatório, devido ao aumento do lençol freático. A adição de CO₂ é maior em reservatórios com margens irregulares e com muitas ilhas, como o caso da hidrelétrica de Balbina (FEITOSA; GRAÇA; FEARNSSIDE, 2007). A liberação do carbono pela morte das árvores começa no enchimento do reservatório (bem antes de qualquer geração de eletricidade), e a maior parte das emissões ocorre nos primeiros anos de vida desses reservatórios. O valor do tempo, portanto, faz deste impacto inicial um fator substancial contra as hidrelétricas, em comparação com a geração de energia a partir de combustíveis fósseis, que liberam a grande maioria das suas emissões na mesma hora em que a eletricidade é produzida (FEARNSSIDE, 1997).

Em 1990 (ano-padrão para os inventários iniciais de gases de efeito estufa no âmbito da Convenção do Clima), a emissão anual provocada pela decomposição, ocorrida acima do nível da água, das árvores inundadas (sem contar a mortalidade na orla) foi estimada em 6,4 milhões de toneladas de carbono para Balbina (FEARNSSIDE, 1995), 1,1 milhão de toneladas para Samuel (FEARNSSIDE, 2005a) e 2,5 milhões de toneladas para Tucuruí (FEARNSSIDE, 2002). A represa Babaquara/Altamira – que “oficialmente” não está planejada para ser construída rio acima de Belo Monte, mas, ao que tudo indica, a construção dessa barragem é, de fato, programada (FEARNSSIDE, 2017a, 2017b, 2017c) –, seria susceptível a tornar-se a “campeã de todos os tempos” no que se refere a essas emissões, com média estimada, nos primeiros dez anos, em conjunto com Belo Monte, em 9,6 milhões de toneladas de emissões de carbono por ano em forma de CO₂, com mais de 0,07 milhão de toneladas de emissões realizadas pelas árvores afetadas ao longo da margem do reservatório (FEARNSSIDE, 2009).

A água no reservatório também emite dióxido de carbono por meio de borbulhamento e de difusão, através da sua superfície ou por meio da água sendo lançada por turbinas e vertedouros. O CO₂ vem de várias fontes, sendo importante evitar a dupla contagem do carbono. Uma parte do gás deriva da decomposição subaquática das árvores inicialmente presentes no reservatório, liberado diretamente como CO₂, se a biomassa da árvore se decompuser na camada superficial da água, que contém oxigênio, ou indiretamente se a biomassa se decompuser nas camadas profundas, onde há pouco ou nenhum oxigênio e o carbono é liberado como metano. Parte desse metano é posteriormente convertida

em CO_2 por bactérias presentes nas camadas superficiais. Acredita-se que a via da transformação da biomassa das árvores para metano dissolvido e posteriormente para CO_2 dissolvido seja a principal fonte desse gás liberado pela água em Balbina (KEMENES; FORSBERG; MELACK, 2011).

O dióxido de carbono também é liberado a partir do carbono presente no solo das áreas inundadas. Como no caso das árvores, essa é uma fonte fixa que futuramente se esgotará. Da mesma forma, a emissão é maior nos primeiros anos. Pesquisadores da barragem de Petit Saut, na Guiana Francesa, acreditam que o carbono do solo seja a principal fonte para CH_4 e CO_2 produzidos no pulso inicial de emissão após o alagamento (TREMBLAY et al., [2005?]).

Emissões de CO_2 a partir da água incluem o carbono lançado por meio de fontes renováveis, que vão além daquelas fontes fixas, tais como árvores e carbono no solo. O carbono também entra no reservatório como carbono orgânico dissolvido (a partir de lixiviação) e em sedimentos vindos da erosão do solo ao longo da bacia hidrográfica a montante do reservatório. Este carbono está continuamente sendo removido da atmosfera pela fotossíntese da floresta em pé, sendo convertido em carbono orgânico do solo, além da ocorrência das exportações diretas de carbono de biomassa através da deposição de serapilheira no chão da floresta. Quantidades substanciais de serapilheira ainda não decomposta são carregadas para os rios durante chuvas torrenciais (MONTEIRO, 2005). Parte desse carbono é armazenada em sedimentos no fundo do reservatório, o que tem sido visto como um benefício proporcionado pelas barragens em relação ao carbono (GAGNON, 2002; MENDONÇA et al., 2016). No entanto, uma contabilidade completa exigiria deduzir a parcela de carbono que, sem a barragem, teria sido transportada rio abaixo e depositada em sedimentos do oceano (FEARNSIDE, 2016b). Parte do carbono seria liberada da água no rio a jusante, sendo que a água no rio Amazonas é conhecida como um importante emissor de CO_2 (RICHEY et al., 2002).

Outras fontes renováveis de carbono incluem a fotossíntese de fitoplâncton, algas e plantas aquáticas (macrófitas) no próprio reservatório. Há também uma fonte renovável de plantas herbáceas, que crescem na zona de deplecionamento, a qual é representada pelo lamaçal, exposto ao redor da borda do reservatório a cada vez que o nível da água é abaixado para geração de energia na estação seca. Plantas herbáceas macias, tais como as ervas e as gramíneas, crescem rapidamente nessa zona quando o nível da água desce. Essa zona de deplecionamento pode ser

vasta: 659,6 km² em Balbina (FEITOSA; GRAÇA; FEARNSSIDE, 2007) e 3.580 km² em Babaquara/Altamira, que “oficialmente” não está planejado (FEARNSSIDE, 2009). Quando a água sobe novamente, as plantas morrem e depois decompõem-se rapidamente, porque são moles (em contraste com a madeira, que contém lignina e se decompõe muito lentamente na água). Quando o oxigênio está presente na água, esse carbono será lançado como CO₂. No entanto, estando as ervas enraizadas no fundo, muito da decomposição ocorrerá na água, sem oxigênio, na parte inferior do reservatório, produzindo metano. Assim como no caso de metano proveniente de outras fontes, parte desse gás dissolvido será oxidado para CO₂ por bactérias antes de atingir a superfície. O restante será lançado como metano, tornando a zona de deplecionamento uma “fábrica de metano”, que continuamente converterá CO₂ atmosférico neste gás, muito mais potente por tonelada no que se refere à possibilidade de provocar aquecimento global (FEARNSSIDE, 2008).

O CO₂ presente na água que vem de fontes renováveis, tais como a serapilheira na floresta, o fitoplâncton, as algas, as macrófitas e a vegetação de zona de deplecionamento, deve ser distinguido do CO₂ proveniente de fontes fixas iniciais, como as árvores inundadas e o carbono do solo. A parcela oriunda de fontes fixas representa uma contribuição líquida para o aquecimento global, devendo-se tomar cuidado para não contar duas vezes qualquer parte do carbono. A porção proveniente de fontes renováveis, no entanto, não representa uma contribuição ao aquecimento global, porque a mesma quantidade de carbono removido da atmosfera pela fotossíntese está simplesmente sendo retornada para a atmosfera na mesma forma (CO₂), após um período de meses ou anos.

Se toda a biomassa das árvores mortas for contada como emissão de “desmatamento” ou for vista pela diferença de estoques de biomassa entre floresta e “área úmida”, como é o caso da metodologia proposta pelo IPCC (DUCHEMIN et al., 2006; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1997), usada no Brasil nos inventários no âmbito da Convenção do Clima (BRASIL, 2004, 2010, 2016), então uma parte do mesmo carbono estará sendo contada duas vezes. Cálculos do impacto do reservatório que contam todo CO₂ como um impacto no aquecimento global (SAINT LOUIS et al., 2000; DOS SANTOS et al., 2008; KEMENES; FORSBERG; MELACK, 2011) superestimam essa parte da emissão.

Pesquisas para melhorar a quantificação das fontes de carbono de onde são derivadas as emissões de CO_2 do reservatório deveriam ser consideradas com alta prioridade. Entretanto, o autor do presente capítulo optou por contar apenas as emissões de metano da superfície do reservatório e da água que passa através de turbinas e vertedouros – não o CO_2 dessas fontes (FEARNSIDE, 2002, 2005b, 2009). Dióxido de carbono é contado apenas para decomposição que ocorre acima do nível da água feita por árvores mortas.

• Óxido nitroso (N_2O)

Óxido nitroso (N_2O) é outro gás de efeito estufa com contribuição proveniente de reservatórios, porque eles o emitem mais do que a floresta. As superfícies dos reservatórios da Amazônia emitem, em média, $7,6 \text{ kg N}_2\text{O km}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (LIMA et al., 2002), ou seja, $27,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O solo na floresta não inundada emite $8,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (VERCHOT et al., 1999). Os reservatórios, portanto, emitem três vezes mais do que as florestas substituídas por eles.

Considerando-se o potencial de aquecimento global mais recente evidenciado para óxido nitroso no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), cada tonelada de N_2O tem impacto equivalente a 298 ou 264 toneladas de gás de CO_2 durante, respectivamente, um período de 100 ou 20 anos (MYHRE et al., 2013). Reservatórios na Amazônia, portanto, emitem $2,26$ ou $2,00 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de equivalente de carbono em forma de CO_2 , contra $0,71$ ou $0,63$ para a floresta, deixando uma emissão líquida de $1,55$ ou $1,37 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de equivalente de carbono em forma de CO_2 por ano. Para um reservatório de 3.000 km^2 , como Balbina, isso representa 465.000 ou 412.000 toneladas de carbono equivalente por ano. As medições das emissões de N_2O do reservatório de Petit-Saut, na Guiana Francesa, e de Fortuna, no Panamá, indicam valores duas vezes maiores, em média, do que os de solos de floresta tropical (GUÉRIN et al., 2008).

As emissões dos solos florestais variam consideravelmente entre locais, indicando a importância das medições específicas para cada local, a fim de estimar as emissões pré-barragem. Ao contrário de CO_2 e CH_4 , quase toda a emissão de N_2O feita por barragens ocorre através da superfície do reservatório, e não por meio de desgaseificação a jusante (GUÉRIN et al., 2008). O intervalo de emissão é grande:

considerando-se apenas as emissões da superfície do reservatório, o impacto sobre o aquecimento global de N_2O varia de 29 a 31% das emissões totais de superfície, tendo em vista CO_2 , CH_4 e N_2O em quatro reservatórios em áreas de floresta tropical (Tucuruí, Samuel, Petit Saut e Fortuna) (GUÉRIN et al., 2008). Em reservatórios que não são localizados em áreas tropicais, as emissões de N_2O são muito mais baixas.

• Metano (CH_4)

Emissões de metano (CH_4) representam uma grande contribuição feita por hidrelétricas para o aquecimento global (ABRIL et al., 2005). Este gás é formado quando a matéria orgânica decompõe-se sem o oxigênio estar presente, por exemplo no fundo de um reservatório. A água, em um reservatório, se estratifica em duas camadas: uma de superfície (o epilímnio), onde ela é mais quente e está em contato com o ar, e outra de fundo (o hipolímnio), que se encontra abaixo de uma separação conhecida como “termoclina”, porque a água abaixo deste ponto é muito mais fria (TUCCI, 2005). Se for expressa em termos de teor de oxigênio dissolvido, a separação – que ocorre, aproximadamente, na mesma profundidade, de 2 a 10 m – é conhecida como “oxiclina”.

A água abaixo do termoclina ou do oxiclina não se mistura com a de superfície, exceto ocasionalmente, em eventos onde a estratificação rompe e a água da camada inferior sobe até a superfície, matando muitos peixes (RIBEIRO, 2012). Na Amazônia, isso ocorre durante as friagens, que representam uma característica climática da região oeste, mas não ocorre na parte oriental (DE OLIVEIRA et al., 2004). Balbina situa-se aproximadamente no limite oriental deste fenômeno, e passou por várias mortandades de peixes quando a água foi revirada durante as friagens. Em condições normais, com a água fria na parte inferior permanecendo isolada abaixo do termoclina, o oxigênio dissolvido na água dessa camada é rapidamente esgotado quando são oxidadas as primeiras folhas e outros tipos de matéria orgânica no fundo do reservatório; após isso, praticamente toda a decomposição termina forçadamente em CH_4 , ao invés de CO_2 . Altas concentrações de gases podem ser dissolvidas na água da parte inferior do reservatório, porque ela está fria e sobre alta pressão (FEARNSIDE; PUEYO, 2012).

Lagos naturais e áreas úmidas, incluindo a várzea e o pantanal, são fontes globais significativas de metano (DEVOL et al., 1990; HAMILTON; SIPPEL; MELACK, 1995; MELACK et al., 2004; WASSMANN; MARTIUS, 1997). Um reservatório hidrelétrico, no entanto, é fonte substancialmente maior de CH_4 por área de água, por causa de uma diferença crucial: a água que sai do reservatório é retirada do fundo, em vez da superfície. Tanto os lagos naturais como os reservatórios emitem CH_4 por bolhas e por difusão na superfície, mas, no caso dos reservatórios, há uma fonte adicional desse gás a partir da água que passa por turbinas e vertedouros. Essas peças retiram a água abaixo do termoclina, onde ela está saturada com metano. O reservatório é como uma banheira, cuja tampa, quando puxada, faz com que a água escoe para fora da parte inferior do aparelho, ao invés de transbordar da superfície, como ocorreria em um lago natural. Em virtude de a água emergente das turbinas estar sobre alta pressão, quando despejada, a repentina queda de pressão a jusante fará com que a maior parte do metano forme bolhas, as quais são liberadas para a atmosfera. Em um prazo mais longo, o aquecimento da água que flui a jusante, abaixo da represa, irá resultar em redução na solubilidade e em aumento da liberação de gás (princípio de Le Chatalier).

Para o gás na água fluindo a jusante, abaixo de uma barragem, a liberação de gases para a atmosfera é suficientemente rápida para que a maior parte do CH_4 escape da conversão em CO_2 que seria feita por bactérias na água. Na verdade, o grande lançamento ocorre imediatamente abaixo das turbinas e, até mesmo, dentro delas. Essa é a razão pela qual as medições de fluxo de gás da superfície da água no rio abaixo da represa não são suficientes para avaliar o impacto das emissões de água que passam através das turbinas, uma vez que grande parte dessas emissões está escapando da medição.

Essa é a explicação principal, por exemplo, utilizada pelo grupo de pesquisa montado por Furnas (uma empresa de energia que abastece 40% da eletricidade do Brasil), alegando que hidrelétricas foram “100 vezes” melhor do que os combustíveis fósseis em termos de aquecimento global (GARCIA, 2007). Tais valores baixos de emissões são explicados, em parte, em virtude de as barragens estudadas estarem localizadas no Cerrado, e não em floresta tropical, e porque as estimativas omitem as emissões de desgaseificação em turbinas e vertedouros (OMETTO et al., 2011, 2013). Na verdade, as medições de fluxo começaram a ser feitas a distâncias abaixo da represa que variam de 50 m, para as barragens de

Furnas, de Estreito e de Peixoto (DOS SANTOS et al., 2009), a 500 m, para as de Serra da Mesa e de Xingó (DA SILVA et al., 2007). O grupo do projeto de Furnas também ignorou as emissões que ocorrem a mais de 1 km abaixo das barragens (OMETTO et al., 2011). A única maneira de aferir a liberação sem tais vieses é basear a estimativa na diferença entre a concentração de CH₄ nas águas localizadas acima e abaixo da barragem (FEARNSIDE, 2002; KEMENES; FORSBERG; MELACK, 2007).

Estimativas do impacto das barragens da Amazônia sobre o aquecimento global têm variado enormemente. A maioria das pessoas, ao ouvir sobre as diferentes medições por meio da imprensa, não terá nenhuma informação sobre como as contagens subjacentes foram feitas e também sobre o que está incluído ou omitido nessas estimativas. Examinar os estudos originais dos diferentes lados do debate é essencial. Ambos os lados da discussão extensiva sobre emissões de gases de efeito estufa estão disponíveis em Fearnside (2018).

Uma breve revisão das razões para os resultados muito díspares está em ordem. Primeiro, a omissão das emissões da água que passa através de turbinas e vertedouros é uma questão que deveria ser óbvia, mas esta omissão tem sido uma característica de longa data das estimativas oficiais brasileiras, como foi destacado durante o memorável debate sobre este tema na revista “*Climatic Change*”². A mesma omissão aplica-se para as emissões de gases de efeito estufa por barragens estimadas na primeira comunicação nacional do Brasil no âmbito da Convenção do Clima (BRASIL, 2004; ROSA et al., 2006b), com resultados mais do que dez vezes inferiores às estimativas do autor desta revisão para barragens como Tucuruí e Samuel (FEARNSIDE, 2002, 2005a). A omissão de turbinas e vertedouros nos valores oficiais foi a principal explicação para esses valores. O importante papel desempenhado pelas emissões da água lançada pelas turbinas é evidente a partir de medições diretas feitas acima e abaixo das barragens de Petit Saut, na Guiana Francesa (ABRIL et al., 2005; DELMAS et al., 2005; GALY-LACAUX et al., 1997, 1999; GUÉRIN et al., 2006), e de Balbina (KEMENES; FORSBERG; MELACK, 2007, 2008, 2011), de Tucuruí, de Curuá-Una e de Samuel, no Brasil (KEMENES; FORSBERG; MELACK, 2016).

² Ver Rosa et al. (2004, 2006a) e Fearnside (2004, 2006a).

A disponibilidade muito maior de dados relevantes às emissões da superfície dos reservatórios, em comparação com as da água que passa pelas turbinas e pelos vertedouros, faz com que estimativas que tentam generalizar para barragens amazônicas em geral tendam a considerar apenas as emissões da superfície dos reservatórios (DE FARIA et al., 2015; VILELA; REID, 2017). Isso subestima o impacto das barragens (FEARNSIDE, 2016c; KEMENES; FORSBERG; MELACK, 2016).

No primeiro inventário do Brasil a respeito de gases de efeito estufa, as emissões de hidrelétricas foram calculadas para nove barragens, mas os resultados foram confinados a uma caixa de texto, não sendo inclusos no total das emissões do país (BRASIL, 2004). No segundo e no terceiro inventários nacionais (BRASIL, 2010, 2016), as hidrelétricas foram omitidas completamente como emissores de CH_4 e N_2O , embora o carbono nas árvores inundadas fosse contado como uma emissão de CO_2 . Em muitas discussões do papel das barragens no aquecimento global, o impacto da liberação de CO_2 das árvores mortas pela inundação do reservatório é uma grande omissão.

O exagero quanto à emissão pré-barragem é outra maneira de subestimar as emissões líquidas de barragens. Como já mencionado, as emissões naturais das áreas úmidas são importantes fontes de metano, o que tem sido usado no argumento de que a paisagem inundada por uma represa teria emitido grandes quantidades de metano de qualquer maneira, mesmo sem a construção do empreendimento. Por exemplo, a Associação Internacional de Energia Hidrelétrica (IHA), que representa a indústria hidrelétrica mundial, considerou as emissões feitas por hidrelétricas como sendo uma questão de “soma zero”, porque não excederiam as emissões pré-barragem (GAGNON, 2002). No Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para a represa de Belo Monte, presumiu-se que a área que estava para ser inundada estaria emitindo $48 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ antes da criação do reservatório, com base em dois conjuntos de medições de emissão da superfície do rio e do solo, em locais próximos à margem do rio (BRASIL, 2009)³. A maior parte das medições de emissão do solo na estação chuvosa foi feita em áreas encharcadas que recentemente tinham sido expostas

³ Apêndice 7.1.3.1; ver Fearnside (2011).

ao ar pelo abaixamento do nível da água (BRASIL, 2009)⁴, resultando em alta emissão de CH₄ e influenciando fortemente a média usada para toda a área terrestre, a qual estava prestes a ser inundada pelo reservatório de Belo Monte.

No entanto, hidrelétricas normalmente são construídas em locais com solos bem drenados, sendo escolhidos espaços com corredeiras e cachoeiras, ao invés de terrenos planos de zonas úmidas. Isso ocorre porque a topografia íngreme resulta em maior geração de energia. Os solos sazonalmente inundados ao longo do rio não podem ser generalizados para uma área de reservatório, que, na Amazônia, é a floresta de terra firme. O solo sob a floresta de terra firme é, geralmente, considerado um sumidouro de metano, em vez de uma fonte dele (KELLER et al., 1991; POTTER; DAVIDSON; VERCHOT, 1996). Uma estimativa irrealisticamente alta da emissão pré-barragem conduz a uma subestimativa do impacto líquido. No caso do EIA referente à Belo Monte, as 48 mg CH₄ m⁻² dia⁻¹ foram subtraídas da estimativa do estudo para emissão bruta no reservatório – que era de 70,7 mg CH₄ m⁻² dia⁻¹ –, sendo este valor subestimado por várias razões, incluindo o uso para a metade da média representando a emissão e Belo Monte um conjunto de medições na hidrelétrica de Xingó, localizada no semiárido da região Nordeste brasileira, onde as emissões seriam muito inferiores às de uma represa da Amazônia, deixando apenas 22,7 (= 70,7 - 48,0) mg CH₄ m⁻² dia⁻¹ como o valor da emissão líquida oficialmente estimada para Belo Monte.

Outra fonte de subestimação das emissões de energia hidrelétrica no Brasil é uma correção da lei de potência matematicamente errônea, que tem sido repetidamente aplicada no cálculo das emissões de ebulição e difusão das superfícies dos reservatórios. Isso decorre de uma tese de doutorado (DOS SANTOS, 2000), que é a base de um relatório da Eletrobrás (BRASIL, 2000). O relatório calcula e tabula as emissões para todas as 223 grandes barragens no Brasil naquela época, com uma superfície total de 32.975 km² de água, uma área maior do que a da Bélgica. A correção continuou a ser aplicada (DOS SANTOS et al., 2008). Esses ajustes da Eletrobrás reduzem as estimativas de emissão para superfícies em 76%, em comparação com a média simples dos valores medidos

⁴ Apêndice 7.1.3.1; ver Fearnside (2011).

nos dados do mesmo estudo⁵. O problema é que as bolhas da superfície do reservatório normalmente ocorrem em episódios esporádicos, com borbulhamento intenso durante curto período, seguido por longos períodos com poucas bolhas. Como o número de amostras é inevitavelmente insuficiente para representar esses eventos relativamente pouco frequentes, pode-se aplicar uma correção da lei de potência para os dados de medição. No entanto, os eventos raros, porém de alto impacto, aumentam, ao invés de diminuir as emissões. Na verdade, há pelo menos cinco grandes erros matemáticos no cálculo da Eletrobrás, incluindo uma inversão do sinal de positivo para negativo. A subestimativa dos erros na aplicação da correção pela lei de potência aplica-se não só ao metano, mas também à propagação de CO₂, porém nem toda essa emissão é uma contribuição líquida ao aquecimento global. A correta aplicação da lei de potência resulta em estimativas das emissões de superfície de metano, que são 345% mais elevadas do que as da Eletrobrás⁶.

O método inadequado de amostragem é outra maneira que pode levar a estimativas de emissões várias vezes mais baixas do que deveriam ser (FEARNSIDE; PUEYO, 2012). Como já mencionado, a tentativa de estimar as emissões de turbinas e vertedouros apenas por meio de medições de fluxo da superfície abaixo da barragem está fadada a perder grande parte das emissões, resultando em forte subestimativa do impacto total. Este é um fator importante nos baixos valores estimados por Furnas e Eletrobrás.

Estimativas (incluindo as minhas), mesmo sendo baseadas em concentração, têm subestimado as emissões, devido ao método de amostragem utilizado para obter a água de perto do fundo do reservatório. O método quase universal é a garrafa de Ruttner, um tubo com “portas” que se abrem em cada extremidade, o qual é abaixado por meio de um cabo, com as duas portas abertas, que, em seguida, são fechadas, e a garrafa é puxada para cima até a superfície. Então, uma amostra da água é removida para análise química. O problema é que gases dissolvidos na água sobre pressão formarão bolhas no interior da garrafa de Ruttner, quando esta está sendo puxada para a superfície. O gás vaza para fora em torno das

⁵ Ver Pueyo e Fearnside (2011).

⁶ Ver Pueyo e Fearnside (2011).

portas (que não são herméticas) e, em qualquer caso, seria perdido quando a água fosse removida (com uma seringa), para uma determinação do tipo “espaço de cabeça” (“*head-space*”) do volume de gás durante a análise química.

Esse problema foi recentemente abordado por Kemenes, Forsberg e Melack (2011). Alexandre Kemenes inventou uma “garrafa Kemenes”, que recolhe a água em uma seringa, a qual é abaixada para a profundidade desejada. A seringa tem um mecanismo de mola, que tira a água para a amostra, e as bolhas de gás, que emergem quando a amostra é levantada até a superfície, são capturadas e medidas. Uma comparação entre os dois métodos de amostragem indica que a concentração média de metano para uma amostra tirada de 30 m de profundidade é 116% superior, se for medida com a garrafa Kemenes, mais do que dobrando a quantidade de metano estimada para passar através das turbinas em Balbina. A diferença seria ainda maior para reservatórios com turbinas mais profundas, como em Tucuruí.

Outra questão importante que afeta o impacto calculado para hidrelétricas é o potencial de aquecimento global (GWP) do metano, o qual é fator de conversão para traduzir toneladas de metano em toneladas de CO₂-equivalentes. Os valores para esse conversor aumentaram em sucessivas estimativas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). As conversões baseiam-se no horizonte de tempo de 100 anos, adotado pelo Protocolo de Quioto. O relatório intercalar de 1994 do IPCC estimou valor de 11 para o GWP do metano, ou seja, o lançamento de uma tonelada de metano teria o mesmo impacto sobre o aquecimento global do que a liberação de 11 toneladas de CO₂ (ALBRITTON et al., 1995). Isso foi aumentado para 21, em 1995, no segundo relatório de avaliação utilizado pelo Protocolo de Quioto (SCHIMMEL et al., 1996). Em 2001, o valor do GWP aumentou para 23, no terceiro relatório de avaliação (RAMASWAMY et al., 2001), e depois para 25, em 2007, no quarto relatório de avaliação (FORSTER et al., 2007). No quinto relatório de avaliação (AR5), esse valor aumentou para 28, se calculado da mesma forma (horizonte de tempo de 100 anos e sem considerar as retroalimentações entre o carbono e o clima, em resposta a emissões de CH₄), mas também nele há um valor de 34, quando essas retroalimentações são incluídas (MYHRE et al., 2013). O intervalo de incerteza para esta estimativa estende-se para um valor de mais de 40 (SHINDELL et al., 2009). O AR5 calcula também um valor de 86 para o GWP do metano, se o horizonte de tempo for reduzido para 20 anos (MYHRE et al., 2013).

Este horizonte de tempo mais curto é muito mais relevante para o estabelecimento de políticas de mitigação do aquecimento global, sendo as emissões neste período que determinarão se a temperatura média global ultrapassará o limite acordado em Paris em 2015 como sendo “perigoso”: um nível “bem abaixo” do marco de 2 °C acima da média pré-industrial (FEARNSIDE, 2017d). Em comparação com o valor de 21, adotado pelo Protocolo de Quioto para o primeiro período de compromisso (2008-2012), o valor de 34 representa um aumento de 62%, enquanto o de 86 efetivamente quadruplica o impacto das hidrelétricas tropicais, para as quais as emissões de metano representam a maior parte do impacto, enquanto para os combustíveis fósseis quase toda a emissão é feita na forma de CO₂.

• Recuperação de metano

Propostas foram feitas para recuperar e usar uma parte do metano que está sendo produzido em hidrelétricas, o que seria interessante tanto para reduzir a quantidade de metano liberado para a atmosfera quanto para gerar eletricidade adicional, sem aumentar as emissões globais (BAMBACE et al., 2007; LIMA et al., 2008). Um projeto visa bombear a água rica em metano tirada do nível abaixo do termoclina (RAMOS et al., 2009), enquanto outro iria capturar o metano que é desgaseificado imediatamente abaixo das turbinas (KEMENES; FORSBERG, 2008). Até agora, na prática, nenhum sistema de captura desse gás tem sido implementado.

COMPARAÇÕES DE BARRAGENS COM COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

O valor do tempo é crucial para comparar o impacto no aquecimento global provocado por energia hidrelétrica com o desenvolvido por combustíveis fósseis ou por outras fontes de energia. Uma diferença está nos gases emitidos. Uma tonelada de metano tem impacto instantâneo muito elevado na radiação infravermelha que é emitida pela superfície terrestre (aumentando as temperaturas da superfície da Terra), mas cada molécula permanece na atmosfera apenas por um período médio de 12,4 anos (MYHRE et al., 2013). Uma tonelada de CO₂

bloqueia muito menos radiação infravermelha do que uma tonelada de CH_4 em termos instantâneos, mas o tempo médio que uma molécula de CO_2 permanece na atmosfera é, aproximadamente, dez vezes maior do que o da molécula de CH_4 . Isso se reflete no valor muito mais elevado do GWP do metano em uma base de 20 anos, em comparação com uma base de 100 anos, como no caso do GWP que foi usado pelo Protocolo de Quioto.

Qualquer estratégia capaz de impedir que a temperatura média global ultrapassasse o limite de aumento “bem abaixo” de $2\text{ }^\circ\text{C}$, definido como mudança climática “perigosa”, deve incluir a redução das emissões de metano dentro deste período de 20 anos (SHINDELL et al., 2012). A tendência geral de omitir e desconsiderar as emissões de metano calculadas com a base de 20 anos é uma falha grave em quase toda a discussão de políticas públicas de combate ao efeito estufa (OCKO et al., 2017).

Uma hidrelétrica tem uma tremenda emissão nos primeiros anos, oriunda da morte das árvores, da decomposição subaquática do carbono do solo e das folhas da floresta original, bem como da explosão das macrófitas nesses momentos, devido à fertilidade mais elevada da água. Nos anos seguintes, esta emissão declinará para um nível inferior, que será mantido por tempo indeterminado, a partir de fontes renováveis, como a inundação anual da vegetação macia na zona de deplecionamento. O grande pico das emissões nos primeiros anos cria uma “dívida”, que será lentamente paga com a geração de energia pela barragem, para substituir a geração por combustíveis fósseis ao longo dos anos subsequentes. O tempo decorrido pode ser substancial. Por exemplo, no caso de Belo Monte, junto com a primeira represa que seria construída rio acima (Babaquara/Altamira), o tempo necessário para saldar a dívida de emissão inicial é estimado em 41 anos (FEARNSIDE, 2009), considerando-se o verdadeiro impacto sendo subestimado por ter usado o valor do Protocolo de Quioto de 21 para o GWP do metano e por ter usado concentrações de metano medidas com as tradicionais garrafas de Ruttner. Um período de 41 anos tem uma enorme importância para a Amazônia, e os benefícios do limite de aumento da temperatura média, global, acordado em Paris, seriam ultrapassados muito antes desse prazo. Uma fonte de energia que leva 41 ou mais anos só para sair de um saldo negativo em termos de aquecimento global dificilmente pode ser considerada como energia “verde”.

Barragens têm muitos outros impactos, além da emissão de gases de efeito estufa, incluindo o deslocamento de populações humanas e a perda dos meios de subsistência (de pesca) para os moradores ribeirinhos a montante e a jusante de um reservatório (WORLD COMMISSION ON DAMS, 2001). Reservatórios destroem a biodiversidade (LEES et al., 2016) e as terras agrícolas e urbanas (MAGALHÃES; CUNHA, 2017) e provocam, ainda, a metilação de mercúrio, que está presente no solo, num processo que ocorre em condições anóxicas no fundo dos reservatórios – levando à acumulação desta forma tóxica de mercúrio aos peixes e aos humanos, que os consomem (LEINO; LODENIUS, 1995). Barragens também perturbam os fluxos de sedimentos e geram as migrações de peixes, entre outros impactos⁷.

Outras fontes geradoras de energia têm impactos severos, mas nenhuma se aproxima em força destruidora à destruição ambiental e social provocada por barragens, única em sua força. Além disso, a concentração excessiva dos impactos de hidrelétricas sobre as populações locais (que, por acaso, vivem no caminho desta forma de desenvolvimento) representa um custo social mais pronunciado no caso das barragens do que para outras opções energéticas. Isso faz com que o impacto de represas seja ainda maior do que uma hipotética “média” dispersa por toda a sociedade indicaria. As barragens contribuem para o aquecimento global, o que aumenta ainda mais o dano por ela causado, mas que não é geralmente considerado quando se trata desses impactos.

Controlar o aquecimento global vai exigir uma contabilidade exata de emissões líquidas em todo o planeta: qualquer emissão que é deixada de fora ou subestimada implica que as ações de mitigação projetadas para conter o aumento da temperatura dentro de um limite especificado (tais como o limite “bem abaixo” de 2 °C, atualmente acordado no âmbito do Acordo de Paris) simplesmente falharão, no futuro, não impedindo que a temperatura continue a aumentar. A Amazônia é um dos lugares que deverá sofrer as consequências mais graves se falharmos nessa responsabilidade.

⁷ Ver comentários para barragens individuais em Fearnside (1989, 1999, 2001, 2005a, 2006b, 2013a, 2014a, 2014b, 2015b, 2015c).

CRÉDITO DE CARBONO PARA A ENERGIA HIDRELÉTRICA

Os créditos de carbono que atualmente são concedidos a projetos de energia hidrelétrica por meio do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) é um dos aspectos mais controversos dos esforços para mitigar o aquecimento global no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change* - UNFCCC). As hidrelétricas são uma forma cada vez mais importante de mitigação sob o MDL, e representaram 28% da emissão de créditos de projetos no “*pipeline*” (projeto-duto) para conseguir financiamento em 01 de julho de 2014. Esperava-se conceder um total anual mundial de 342,8 milhões em reduções certificadas de emissões (RCE), ou seja, de crédito de carbono expresso em toneladas de CO₂-equivalente (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2014). Esta quantidade de CO₂-equivalente é igual a 93,5 milhões de toneladas de carbono por ano, ou aproximadamente igual à emissão anual do Brasil a partir de combustíveis fósseis.

As regras atuais permitem que projetos hidrelétricos aleguem produzir pouca ou nenhuma emissão⁸, o que representa uma lacuna significativa, especialmente porque espera-se que grande parte da futura expansão de hidrelétricas ocorra nos trópicos, onde as barragens têm emissões mais altas. Ainda mais importante é o fato de que os países em todo o mundo constroem barragens como parte de programas nacionais de desenvolvimento, que não têm nada a ver com preocupações referentes ao aquecimento global. A vontade dos governos e das empresas para investir grandes somas em barragens, muito antes de qualquer crédito de carbono ser aprovado, também indica que esses empreendimentos seriam construídos independentemente de qualquer rendimento adicional oriundo da venda de RCE. Os cálculos financeiros incluídos nos projetos de carbono, submetidos ao MDL para substanciar reivindicações de que as barragens seriam construídas apenas por causa da renda do carbono (ou seja, que elas são “adicionais”), estão em desacordo com o comportamento dos governos e das empresas quanto à construção de barragens, indicando deficiências nas

⁸ Ver Fearnside (2013b, 2013c).

metodologias atuais do MDL para a determinação da “adicionalidade” de projetos de energia hidrelétrica (FEARNSIDE, 2013b, 2013c, 2015d). Quando o crédito é concedido a projetos que seriam construídos de qualquer forma, os países que o compram posteriormente emitem essa quantidade de CO₂, sem que a emissão realmente seja compensada, aumentando, assim, ainda mais o aquecimento global.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As hidrelétricas tropicais emitem quantidades substanciais de gases de efeito estufa. Os montantes emitidos variam muito entre barragens, mas as emissões contadas variam ainda mais devido a frequentes omissões nas emissões relatadas, tal como a liberação de metano da água que passa através de turbinas e vertedouros. Emissões de hidrelétricas ocorrem em um grande pulso nos primeiros anos, depois de criar um reservatório, seguidos por uma emissão menor, porém sustentada indefinidamente.

A comparação com o impacto das emissões de geração de energia de combustíveis fósseis, portanto, depende muito do horizonte de tempo e de qualquer ponderação para preferência de tempo usada na comparação. Mesmo sem qualquer ponderação pela preferência temporal, represas amazônicas podem levar quatro ou mais décadas para “empatar” quanto ao impacto no efeito estufa, fazendo com que estejam longe de ser energia “verde”, que pode ser retratada como mitigadora de aquecimento global.

As hidrelétricas também contribuem para o aquecimento global através do crédito de carbono emitido para barragens, porque as emissões são subestimadas ou ignoradas e permitem a emissão de gases pelos países compradores do crédito de carbono, concedido às represas que seriam construídas independentemente de qualquer renda extra oriunda da venda desses créditos.

AGRADECIMENTOS

As pesquisas são financiadas exclusivamente por fontes acadêmicas: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - processos

305880/2007-1; 5-575853/2008; 304020/2010-9; 573810/2008-7), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM - processo 708565) e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA - PRJ15.125).

REFERÊNCIAS

ABRIL, Gwenaël; PARIZE, Marcelo; PÉREZE, Marcela A. P.; FILIZOLAA, Naziano. Wood decomposition in Amazonian hydropower reservoirs: an additional source of greenhouse gases. **Journal of South American Earth Sciences**, [S. l.], v. 44, p. 104-107, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.11.007>.

ABRIL, Gwenaël; RICHARD, Sandrine; DELMAS, Robert; GALY LACAUX, Corinne; GOSSE, Philippe; TREMBLAY, Alain; VARFALVY, Louis; SANTOS, Marco Aurelio dos; MATVIENKO, Bohdan. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). **Global Biogeochemical Cycles**, [S. l.], v. 19, n. 4, p. 1-16, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005GB002457>.

ALBRITTON, D. L.; DERWENT, R. G.; ISAKSEN, I. S. A.; LAL, M.; WUEBBLES, D. J. 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. (ed.). **Climate Change 1994: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 1995. p. 205-231.

ARAÚJO, A. C.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; ELBERS, J. A.; DALLAROSA, R.; STEFANI, P.; VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; CULF, A. D.; GASH, J. H. C.; VALENTINI, R.; KABAT, P. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonia rainforest: the Manaus LBA site. **Journal of Geophysical Research**, [S. l.], v. 107, n. D20, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001JD000676>.

BAMBACE, L. A. W.; RAMOS, F. M.; LIMA, I. B. T.; ROSA, R. R. Mitigation and recovery of methane emissions from tropical hydroelectric dams. **Energy**, [S. l.], v. 32, n. 6, p. 1038-1046, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.09.008>.

BARNTHOUSE, L. W.; CADA, G. F.; CHENG, M.-D.; EASTERLY, C. E.; KROODSMA, R. L.; LEE, R.; SHRINER, D. S.; TOLBERT, V. R.; TURNER, R. S. **Estimating externalities of the hydro fuel cycles**. Oak Ridge, E.U.A.: Oak Ridge National Laboratory, 1994. 205 p. Report 6.

BARROS, Nathan; COLE, Jonathan J.; TRANVIK, Lars J.; PRAIRIE, Yves T.; BASTVIKEN, David; HUSZAR, Vera L. M.; GIORGIO, Paul del; ROLAND, Fábio. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. **Nature Geoscience**, [S. l.], v. 4, p. 593-596, 2011.

BARTHEM, Ronaldo Borges; RIBEIRO, Mauro César Lambert de Brito; PETRERE JÚNIOR, Miguel. Life strategies of some long distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the Amazon Basin. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 55, n. 3, p. 339-345, 1991. DOI: [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(91\)90037-A](https://doi.org/10.1016/0006-3207(91)90037-A).

BASTVIKEN, David. Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink. **Science**, [S. l.], v. 331, n. 6013, p. 5, 2011. DOI: [10.1126/science.1196808](https://doi.org/10.1126/science.1196808).

BRASIL. Centrais Elétricas Brasileiras S/A. **Emissões de Dióxido de Carbono e de Metano pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros**. Rio de Janeiro: ELETRÓBRÁS, 2000. 176 p. Relatório Final.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança de Clima**. Brasília: MCTI, 2016. v. III. Disponível em: <http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706739/Volume+3.pdf/355d4a1e-9f3c-474a-982e-b4a63312813b>. Acesso em: 22 ago. 2018.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, DF: MCT, 2010. 520 p. 2 v.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, DF: MCT, 2004. 276 p. Disponível em: <http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706391/205854.pdf/5eadb8ca-f316-49ec-9dd1-7ba80754b20d>. Acesso em: 22 ago. 2018.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Brasília, DF: MME, 2013. 373 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2022>. Acesso em: 22 ago. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Aproveitamento hidrelétrico Belo Monte**: estudo de impacto ambiental. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009. v. 8. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/BM/BELO%20MONTE.htm. Acesso em: 22 ago. 2018.

DA SILVA, M.; MATVIENKO, B.; DOS SANTOS, M. A.; SIKAR, E.; ROSA, L. P.; DOS SANTOS, E.; ROCHA, C. Does methane from hydro-reservoirs fiz out from the water upon turbine discharge? SIL. *In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF THEORETICAL AND APPLIED LIMNOLOGY*, 3., 2007, Montreal. **Anais** [...]. Canada: International Association of Theoretical and Applied Limnology, 2007.

DE FARIA, Felipe A. M.; JARAMILLO, Paulina; SAWAKUCHI, Henrique O.; RICHEY, Jeffrey E.; BARROS, Nathan. Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs. **Environmental Research Letters**, [S.l.], v. 10, n. 12, p. 1-13, 2015.

DE OLIVEIRA, P. J.; ROCHA, Edson José Paulino da; FISCH, Gilberto; KRUIJT, Bart; RIBEIRO, João Batista Miranda. Efeitos de um evento de friagem nas condições meteorológicas na Amazônia: um estudo de caso. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 34, n. 4, p. 613-619, 2004.

DELMAS, Robert; RICHARD, Sandrine; GUÉRIN, Frédéric; ABRIL, Gwénaél; GALY-LACAUX, Corinne; DELON, Claire; GRÉGOIRE, Alain. Long term greenhouse gas emissions from the hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) and potential impacts. *In: TREMBLAY, Alain; VARFALVY, Louis; ROEHM, Charlotte; GARNEAU, Michelle (ed.). Greenhouse gas emissions - fluxes and processes: hydroelectric reservoirs and natural environments*. New York: Springer, 2005. p. 293-312.

DENHOLM, Paul; KULCINSKI, Gerald L. Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems. **Energy Conversion and Management**, [S.l.], v. 45, n. 13/14, p. 2153-2172, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.10.014>.

DEVOL, Allan H.; RICHEY, Jeffrey E.; FORSBERG, Bruce R.; MARTINELLI, Luiz A. Seasonal dynamics in methane emissions from the Amazon River floodplain to the troposphere. **Journal of Geophysical Research**, [S.l.], v. 95, n. D10, p. 16417-16426, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1029/JD095iD10p16417>.

DONES, R.; BAUER, C.; BOLLIGER, R.; BURGER, B.; HECK, T.; RODER, A.; EMENEGGER, M. F.; FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N.; TUCHSCHMID, M. **Life cycle inventories of energy systems**: results for current systems in Switzerland and other UCTE countries. Villigen, Suíça: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007. 185 p. Ecoinvent Report, n. 5. Disponível em: http://www.ecolo.org/documents/documents_in_english/Life-cycle-analysis-PSI-05.pdf. Acesso em: 19 ago. 2018.

DONES, R.; HECK, T.; BAUER, C.; HIRSCHBERG, S.; BICKEL, P.; PREISS, P.; PANIS, L. I.; DE VLIENER, I. **Externalities of energy**: extension of accounting framework and policy applications. Villigen, Suíça: Paul Scherrer Institute, 2005. 76 p. Final Report on Work Package, 6. Disponível em: http://www.externe.info/externe_2006/expolwp6.pdf. Acesso em: 19 ago. 2018.

DOS SANTOS, Marco Aurélio; ROSA, L. P.; MATVIENKO, B.; SANTOS, E. O.; ROCHA, C. H. E. D.; SIKAR, E.; SILVA, M. B.; P. B. JUNIOR, A. M. Estimate of degassing greenhouse gas emissions of the turbinated water at tropical hydroelectric reservoirs. **Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie**, [S.l.], v. 30, n. 6, p. 834-837, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/03680770.2009.11902251>.

DOS SANTOS, M. A.; ROSA, L. P.; MATVIENKO, B.; DOS SANTOS, E. O.; D'ALMEIDA ROCHA, C. H. E.; SIKAR, E.; SILVA, M. B.; MAYR JÚNIOR, M. P. B. Emissões de gases de efeito estufa por reservatórios de hidrelétricas. **Oecologia Brasiliensis**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 116-129, 2008.

DOS SANTOS, Marco Aurélio. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivadas de hidrelétricas**. 2000. 148 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/masantos.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2018.

DUCHEMIN, É. Appendix 3: CH₄ emissions from flooded land- basis for future methodological development. *In*: EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (ed.). **Agriculture, forestry and other land use**. Hayama, Japão: IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006. p. Ap3.1-Ap3.8. v. 4.

EDENHOFER, O.; PICHS-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; SEYBOTH, K.; MATSCHOSS, P.; KADNER, S.; ZWICKEL, T.; EICKEMEIER, P.; HANSEN, G.; SCHLÖMER, S.; VON STECHOW, C. (ed.). **Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 2012. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/srren/>. Acesso em: 25 nov. 2018.

FEARNSIDE, Philip M. **Controvérsias amazônicas**: os dois lados de 22 controvérsias sobre a Amazônia. [S. l.], 2018. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/amazonian%20controversies-1.htm. Acesso em: 25 nov. 2018.

FEARNSIDE, Philip M. Planned disinformation: the example of the Belo Monte Dam as a source of greenhouse gases. *In*: ISSBERNER, Liz-Rejane; LÉNA, Philippe (ed.). **Brazil in the Anthropocene**: conflicts between predatory development and environmental policies. New York: Routledge, 2017a. p. 125-142.

FEARNSIDE, Philip M. Belo Monte: actors and arguments in the struggle over Brazil's most controversial Amazonian dam. **Die Erde**, Berlim, v. 148, n. 1, p. 14-26, 2017b.

FEARNSIDE, Philip M. Brazil's Belo Monte Dam: lessons of an Amazonian resource struggle. **Die Erde**, Berlim, v. 148, n. 2/3, p. 167-184, 2017c.

FEARNSIDE, Philip M. Dams with big reservoirs: Brazil's hydroelectric plans threaten its Paris climate commitments. **The Globalist**, 29 de janeiro de 2017d. Disponível em: <http://www.theglobalist.com/dams-climate-change-global-warming-brazil-paris-agreement/>. Acesso em: 22 ago. 2018.

FEARNSIDE, Philip M. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams in tropical forests. *In*: LEHR, Jay H.; KEELEY, Jack (ed.). **Alternative energy and shale gas encyclopedia**. New York: Wiley, 2016a. p. 428-438.

FEARNSIDE, Philip M. Interactive comment on “Organic carbon burial efficiency in a large tropical hydroelectric reservoir” by Mendonça et al. **Biogeosciences Discussions**, v. 12, p. C9548–C9548, 2016b.

FEARNSIDE, Philip M. Greenhouse gas emissions from Brazil’s Amazonian hydroelectric dams. **Environmental Research Letters**, [S.l.], v. 11, n. 1, 2016c. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/1/011002>.

FEARNSIDE, Philip M. Emissions from tropical hydropower and the IPCC. **Environmental Science & Policy**, [S.l.], v. 50, p. 225-239, 2015a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.002>.

FEARNSIDE, Philip M. **Hidrelétricas na Amazônia**: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. Manaus, AM: INPA, 2015b. v. 1. Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2015/Livro-Hidro-V1/Livro Hidrelétricas V.1.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2015/Livro-Hidro-V1/Livro%20Hidrel%C3%A9tricas%20V.1.pdf). Acesso: em 22 ago. 2018.

FEARNSIDE, Philip M. **Hidrelétricas na Amazônia**: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. Manaus, AM: INPA, 2015c. v. 2. Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2015/Livro-Hidro-V2/Livro Hidrelétricas V.2.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2015/Livro-Hidro-V2/Livro%20Hidrel%C3%A9tricas%20V.2.pdf). Acesso: em 22 ago. 2018.

FEARNSIDE, Philip M. Tropical hydropower in the clean development mechanism: Brazil’s Santo Antônio Dam as an example of the need for change. **Climatic Change**, Países Baixos, v. 131, n. 4, p. 575-589, 2015d.

FEARNSIDE, Philip M. Impacts of Brazil’s Madeira River dams: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Science & Policy**, [S.l.], v. 38, p. 164-172, 2014a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.11.004>.

FEARNSIDE, Philip M. Brazil’s Madeira River dams: a setback for environmental policy in Amazonian development. **Water Alternatives**, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 256-269. 2014b.

FEARNSIDE, Philip M. Decision-making on Amazon dams: politics trumps uncertainty in the Madeira River sediments controversy. **Water Alternatives**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 313-325, 2013a.

FEARNSIDE, Philip M. 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**, [S.l.], v. 18, n. 5, p. 691-699, 2013b.

FEARNSIDE, Philip M. Credit for climate mitigation by Amazonian dams: loopholes and impacts illustrated by Brazil’s Jirau Hydroelectric Project. **Carbon Management**, [S.l.], v. 4, n. 6, p. 681-696, 2013c. DOI: <https://doi.org/10.4155/cmt.13.57>.

FEARNSIDE, Philip M. Gases de efeito estufa no EIA-RIMA da hidrelétrica de Belo Monte. **Novos Cadernos NAEA**, Belém, v. 14, n. 1, p. 5-19, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v14i1.596>.

FEARNSIDE, Philip M. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. **Novos Cadernos NAEA**, Belém, v. 12, n. 2, p. 5-56, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v12i2.315>.

FEARNSIDE, Philip M. Hidrelétricas como “fábricas de metano”: o papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 100-115, 2008.

FEARNSIDE, Philip M. Why hydropower is not clean energy. **Scitizen**. Paris, 2007. Disponível em: http://www.scitizen.com/future-energies/why-hydropower-is-not-clean-energy_a-14-298.html. Acesso em: 22 ago. 2018.

FEARNSIDE, Philip M. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: reply to Rosa et al. **Climatic Change**, Países Baixos, v. 75, n. 1/2, p. 103-109, 2006a. DOI: 10.1007/s10584-005-9016-z.

FEARNSIDE, Philip M. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's hydroelectric development of the Xingu River basin. **Environmental Management**, New York, v. 38, n. 1, p. 16-27, 2006b.

FEARNSIDE, Philip M. Brazil's Samuel Dam: lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. **Environmental Management**, New York, v. 35, n. 1, p. 1-19, 2005a.

FEARNSIDE, Philip M. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [S.l.], v. 10, n. 4, p. 675-691, 2005b.

FEARNSIDE, Philip M. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source. **Climatic Change**, Países Baixos, v. 66, n. 1, p. 1-8, 2004.

FEARNSIDE, Philip M. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. **Water, Air and Soil Pollution**, Países Baixos, v. 133, n. 1/4, p. 69-96, 2002.

FEARNSIDE, Philip M. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Management**, New York, v. 27, n. 3, p. 377-396, 2001.

FEARNSIDE, Philip M. 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**, Países Baixos, v. 46, n. 1/2, p. 115-158, 2000.

FEARNSIDE, Philip M. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. **Environmental Management**, New York, v. 24, n. 4, p. 485-495, 1999.

FEARNSIDE, Philip M. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: the example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. **Environmental Conservation**, [S.l.], v. 24, n. 1, p. 64-75, 1997.

FEARNSIDE, Philip M. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. **Environmental Conservation**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 7-19, 1995.

FEARNSIDE, Philip M. Brazil's Balbina Dam: environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. **Environmental Management**, New York, v. 13, n. 4, p. 401-423, 1989.

FEARNSIDE, Philip M.; PUEYO, Salvador. Greenhouse-gas emissions from tropical dams. **Nature Climate Change**, [S.l.], v. 2, n. 6, p. 382-384, 2012.

FEITOSA, Gleicyane Souza; GRAÇA, Paulo Maurício Lima de Alencastro; FEARNSIDE, Philip M. Estimativa da zona de deplecionamento da hidrelétrica de Balbina por técnica de sensoriamento remoto. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 6713-6720. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.15.55/doc/6713-6720.pdf>. 2007. Acesso em: 22 ago. 2018.

FORSBERG, B. R.; MELACK, J. M.; DUNNE, T.; BARTHEM, R. B.; GOULDING, M.; PAIVA, R. C. D.; SORRIBAS, M. V.; DA SILVA JR., U. L.; WEISSER, S. The potential impact of new Andean dams on Amazon fluvial ecosystems. **PLoS ONE**, [S.l.], v. 12, n. 8, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182254>.

FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D. W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D. C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHULZ, M.; VAN DORLAND, R. 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. (org.). **Climate change 2007: the physical science basis**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University, 2007. p. 129-234. Disponível em: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm. Acesso em: 22 ago. 2018.

GAGNON, Luc. **The International Rivers Network statement on GHG emissions from reservoirs, a case of misleading science**. Reino Unido: International Hydropower Association, 2002. 9 p.

GALY-LACAUX, C.; DELMAS, R.; KOUADIO, J.; RICHARD, S.; GOSSE, P. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. **Global Biogeochemical Cycles**, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 503-517, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1029/1998GB900015>.

GALY-LACAUX, C.; DELMAS, R.; JAMBERT, C.; DUMESTRE, J.-F.; LABROUE, L.; RICHARD, S.; GOSSE, P. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: a case study in French Guyana. **Global Biogeochemical Cycles**, [S.l.], v. 11, n. 4, p. 471-483, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1029/97GB01625>.

GARCIA, R. 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**, São Paulo, p. A-16, 1 maio 2007.

GUNKEL, Günter. Hydropower: a green energy? Tropical reservoirs and greenhouse gas emissions. **CLEAN: Soil, Air, Water**, [S.l.], v. 37, n. 9, p. 726-734, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.200900062>.

GUÉRIN, F.; ABRIL, G.; TREMBLAY, A.; DELMAS, R. Nitrous oxide emissions from tropical hydroelectric reservoirs. **Geophysical Research Letters**, [S.l.], v. 35, n. 6. p. 1-6, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007GL033057>.

GUÉRIN, F.; ABRIL, G.; RICHARD, S.; BURBAN, B.; REYNOUARD, C.; SEYLER, P.; DELMAS, R. Methane and carbon dioxide emissions from tropical reservoirs: significance of downstream rivers. **Geophysical Research Letters**, [S.l.], v. 33, n. 21, p. 1-6, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL027929>.

HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Oxygen depletion and carbon dioxide and methane production in waters of Pantanal wetland of Brazil. **Biogeochemistry**, [S.l.], v. 30, n. 2, p. 115-141, 1995.

HORVATH, Arpad. **Decision-making in electricity generation based on global warming potential and life-cycle assessment for climate change**. Berkeley, California: University of California Energy Institute, 2005. 12 p. Disponível em: <http://repositories.cdlib.org/ucei/devtech/EDT-006>. Acesso em: 19 ago. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Benign energy?: The environmental implications of renewables**. Paris, França: IEA, 1998. 128 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Revised 1996 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. IPCC, Bracknell, Reino Unido, 1997. 3 v.

KELLER, Michael; JACOB, D. J.; WOFSEY, S. C.; HARRISS, R. C. Effects of tropical deforestation on global and regional atmospheric chemistry. **Climatic Change**, Netherlands, v. 19, n. 1/2, p. 139-158, 1991.

KEMENES, A.; FORSBERG, B. R. Potencial ampliado: Gerado nos reservatórios, gás de efeito estufa pode ser aproveitado para produção de energia em termelétricas. **Scientific American Brasil**, [S.l.], n. 2, p. 18-23, 2008. Especial Amazônia.

KEMENES, Alexandre; FORSBERG, Bruce Rider; MELACK, John Michael. Downstream emissions of CH₄ and CO₂ from hydroelectric reservoirs (Tucuruí, Samuel, and Curuá-Una) in the Amazon basin. **Inland Waters**, [S.l.], v. 6, n. 3, p. 295-302, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/IW-6.3.980>.

KEMENES, Alexandre; FORSBERG, Bruce Rider; MELACK, John Michael. CO₂ emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). **Journal of Geophysical Research**, [S.l.], v. 116, p. 1-11, 2011.

KEMENES, Alexandre; FORSBERG, Bruce Rider; MELACK, John Michael. As hidrelétricas e o aquecimento global. **Ciência Hoje**, [S.l.], v. 41, n. 145, p. 20-25, 2008.

KEMENES, Alexandre; FORSBERG, Bruce Rider; MELACK, John Michael. Methane release below a tropical hydroelectric dam. **Geophysical Research Letters**, [S.l.], v. 34, n. 12, p. 1-5, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007GL029479>.

KRUIJT, B.; ELBERS, J. A.; VON RANDOW, C.; ARAUJO, A. C.; OLIVEIRA, P. J.; CULF, A.; MANZI, A. O.; NOBRE, A. D.; KABAT, P.; MOORS, E. J. The robustness of eddy correlation fluxes for Amazon rain forest conditions. **Ecological Applications**, [S.l.], v. 14, n. 4, p. S101-S113, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1890/02-6004>.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E. Y.; DUNNE, T.; PARK, E.; BAKER, V. R.; D'HORTA, F. M.; WIGHT, C.; WITTMANN, F.; ZUANON, J.; BAKER, P. A.; RIBAS, C. C.; NORGAARD, R. B.; FILIZOLA, N.; ANSAR, A.; FLYVBJERG, B.; STEVAUX, J. C. Damming the rivers of the Amazon basin. **Nature**, [S.l.], v. 546, p. 363-369, 2017.

LEES, A. C.; PERES, C. A.; FEARNSSIDE, P. M.; SCHNEIDER, M.; ZUANON, J. A. Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. **Biodiversity and Conservation**, [S.l.], v. 25, n. 3, p. 451-466, 2016.

LEINO, Tuija; LODENIUS, Martin. Human hair mercury levels in Tucuruí area, state of Pará, Brazil. **Science of the Total Environment**, [S.l.], v. 175, n. 2, p. 119-125, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04908-J](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04908-J).

LIMA, I. B. T.; RAMOS, F. M.; BAMBACE, L. A. W.; ROSA, R. R. Methane emissions from large dams as renewable energy sources: a developing nation perspective. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 193-206, 2008.

LIMA, Ivan B. T.; VICTORIA, R. L.; NOVO, E. M. L. M.; FEIGL, B. J.; BALLESTER, M. V. R.; OMETTO, J. M. Methane, carbon dioxide and nitrous oxide emissions from two Amazonian reservoirs during high water table. **Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie**, [S.l.], v. 28, n. 1, p. 438-442, 2002.

MAGALHÃES, Sônia Barbosa; CUNHA, Manuela Carneiro da (coord.). **A expulsão de ribeirinhos em Belo Monte**: relatório da SBPC. São Paulo, SP: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2017. 448 p. Disponível em: <http://portal.sbpnet.org.br/livro/belomonte.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2018.

MALHI, Yadvinder; WOOD, D.; BAKER, T. R.; WRIGHT, J.; PHILLIPS, O. L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; NÚÑEZ VARGAS, P.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMÃO, R.; SILVA, J. N. M., ARMANDO; LEZAMA, T.; TERBORGH, J.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; VINCETTI, B. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. **Global Change Biology**, [S.l.], v. 12, n. 7, p. 1107-1138, 2006.

MATTHEWS, C. J. D.; JOYCE, E. M.; ST. LOUIS, V. L.; SCHIFF, S.; JIVANKITESWARAN, J.; HALL, B. D.; BODALY, R. A.; BEATY, K. Carbon dioxide and methane production in small reservoirs flooding upland boreal forest. **Ecosystems**, [S.l.], v. 8, n. 3, p. 267-285, 2005.

MELACK, J. M.; HESS, L. L.; GASTIL, M.; FORSBERG, B. R.; HAMILTON, S. K.; LIMA, I. B. T.; NOVO, E. M. L. M. Regionalization of methane emission in the Amazon Basin with microwave remote sensing. **Global Change Biology**, [S.l.], v. 10, n. 5, p. 530-544, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00763.x>.

MENDONÇA, R.; KOSTEN, S.; SOBEK, S.; CARDOSO, S. J.; FIGUEIREDO-BARROS, M. P.; ESTRADA, C. H. D.; ROLAND, F. Organic carbon burial efficiency in a subtropical hydroelectric reservoir. **Biogeosciences**, [S.l.], v. 13, n. 11, p. 3331-3342, 2016. DOI: 10.5194/bg-13-3331-2016.

MONTEIRO, Maria Terezinha Ferreira. **Interações na dinâmica do carbono e nutrientes da liteira entre a floresta de terra firme e o igarapé de drenagem na Amazônia Central**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, 2005.

MOOMAW, W.; BURGHER, P.; HEATH, G.; LENZEN, M.; NYBOER, J.; VERBRUGGEN, A. Annex II: Methodology. In: EDENHOFER, Ottmar et al. (ed.). **Special report on renewable energy sources and climate change mitigation**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University, 2012. p. 181-208. Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_Full_Report.pdf. Acesso em: 25 nov. 2018.

MYHRE, G.; SHINDELL, D.; BRÉON, F.-M.; COLLINS, W.; FUGLESTVEDT, J.; HUANG, J.; KOCH, D.; LAMARQUE, J.-F.; LEE, D.; MENDOZA, B.; NAKAJIMA, T.; ROBOCK, A.; STEPHENS, G.; TAKEMURA, T.; ZHANG, H. 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. (org.). **Climate change 2013: the physical science basis**. Reino Unido: Cambridge University, 2013. p. 661-740. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. Acesso em: 22 ago. 2018.

OCKO, I. B.; HAMBURG, S. P.; JACOB, D. J.; KEITH, D. W.; KEOHANE, N. O.; OPPENHEIMER, M.; ROY-MAYHEW, J. D.; SCHRAG, D. P.; PACALA, S. P. Unmask temporal trade-offs in climate policy debates: both 20- and 100-year time scales should always be reported. **Science**, [S.l.], v. 356, n. 6337, p. 492-493, 2017.

OMETTO, J. P.; CIMBLERIS, A. C. P.; DOS SANTOS, M. A.; ROSA, L. P.; ABE, D.; TUNDISI, J. G.; STECH, J. L.; BARROS, N.; ROLAND, F. Carbon emission as a function of energy generation in hydroelectric reservoirs in Brazilian dry tropical biome. **Energy Policy**, [S.l.], v. 58, p. 109-116, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.02.041>.

OMETTO, J. P.; PACHECO, F. S.; CIMBLERIS, A. C. P.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, 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. Carbon dynamic and emissions in Brazilian hydropower reservoirs. *In*: DE ALCANTARA, E. H. (org). **Energy resources**: development, distribution, and exploitation. Hauppauge, E.U.A.: Nova Science Publishers, 2011. p. 155-188.

OMETTO, J. P.; NOBRE, A. D.; ROCHA, H.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. Amazonia and the modern carbon cycle: lessons learned. **Oecologia**, [S.l.], v. 143, n. 4, p. 483-500, 2005.

PACCA, Sergio. Impacts from decommissioning of hydroelectric dams: a life cycle perspective. **Climatic Change**, [S.l.], v. 84, p. 281-294, 2007.

PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; NÚÑEZ VARGAS, P.; SILVA, J. N. M.; TERBORGH, J.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; ALEXIADES, M.; ALMEIDA, S.; BROWN, S.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; CZIMCZIK, C. I.; DI FIORE, A.; ERWIN, T.; KUEBLER, C.; LAURANCE, S. G.; NASCIMENTO, H. E. M.; OLIVIER, J.; PALACIOS, W.; PATIÑO, S.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALDIAS, M.; TORRES LEZAMA, A.; VINCETI, B. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**, [S.l.], v. 359, n. 1443, p. 381-407, 2004.

PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y. HIGUCHI, N.; LAURANCE, W. F.; NÚÑEZ, P. V.; VÁSQUEZ, R. M.; LAURANCE, S. G.; FERREIRA, L. V.; STERN, M.; BROWN, S.; GRACE, J. Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. **Science**, [S.l.], v. 282, n. 5388, p. 439-442, 1998.

POTTER, Christopher S.; DAVIDSON, Eric A.; VERCHOT, Louis V. Estimation of global biogeochemical controls and seasonality on soil methane consumption. **Chemosphere**, [S.l.], v. 32, n. 11, p. 2219-2246, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(96\)00119-1](https://doi.org/10.1016/0045-6535(96)00119-1).

PUEYO, Salvador; FEARNSIDE, Philip M. Emissões de gases de efeito estufa dos reservatórios de hidrelétricas: implicações de uma possível lei de potência. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 114-127, 2011.

RAMASWAMY, V.; BOUCHER, O.; HAIGH, J.; HAUGLUSTAIN, D.; HAYWOOD, J.; MYHRE, G.; NAKAJIMA, T.; SHI, G. Y.; SOLOMON, S.; BETTS, R.; CHARLSON, R.; CHUANG, C.; DANIEL, J. S.; DEL GENIO, A.; VAN DORLAND, R.; FEICHTER, J.; FUGLESTVEDT, J.; FORSTER, P. M. DE F.; GHAN, S. J.; JONES, A.; KIEHL, J. T.; KOCH, D.; LAND, C.; LEAN, J.; LOHMANN, U.; MINSCHWANER, K.; PENNER, J. E.; ROBERTS, D. L.; RODHE, H.; ROELOFS, G. J.; ROTSTAYN, L. D.; SCHNEIDER, T. L.; SCHUMANN, U.; SCHWARTZ, S. E.; SCHWARZKOPF, M. D.; SHINE, K.P.; SMITH, S.; STEVENSON, D. S.; STORDAL, F.; TEGEN, I.; ZHANG, Y. Radiative forcing of climate change. *In*: HOUGHTON, J.; HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. G.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, R. J.; XIAUSU, D. (org). **Climate Change 2001**: the scientific basis. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 2001. p. 349-416. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/index.php?idp=0>. Acesso em: 22 ago. 2018.

RAMOS, F. M.; BAMBACE, L. A. W.; LIMA, I. B. T.; ROSA, R. R.; MAZZI, E. A.; FEARNSIDE, P. M. Methane stocks in tropical hydropower reservoirs as a potential energy source: an editorial essay. **Climatic Change**, Países Baixos, v. 93, n. 1, p. 1-13, 2009.

RIBEIRO, Ivan Linhares. **As incursões de ar frio no estado do Amazonas**. 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas-UFAM, Manaus, 2012. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/2807/4/IVAN%20LINHARES%20RIBEIRO.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2018.

RIBEIRO, Flávio Miranda; DA SILVA, Gil Anderi. Life-cycle inventory for hydroelectric generation: a Brazilian case study. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 44-54, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.006>.

RICHEY, J. E.; MELACK, J. M.; AUFDENKAMPE, K.; BALLESTER, V. M.; HESS, L. L. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. **Nature**, [S.l.], v. 416, p. 617-620, 2002.

RHODES, S.; WAZLAW, J.; CHAFFEE, C.; KOMMONEN, E.; APFELBAUM, S.; BROWN, L. **A study of the Lake Chelan hydroelectric project based on life-cycle stressor-effects assessment**. Oakland, E.U.A.: Scientific Certification Systems, 2000. 193 p. Final Report.

ROSA, L. P., DOS SANTOS, M. A.; MATVIENKO, B.; SIKAR, E.; DOS SANTOS, E. O. Scientific errors in the Fearnside comments on greenhouse gas emissions (GHG) from hydroelectric dams and response to his political claiming. **Climatic Change**, Países Baixos, v. 75, n. 1/2, p. 75-91, 2006a.

ROSA, L. P.; SIKAR, B. M.; dos SANTOS, M. A.; SIKAR, E. M. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, Relatórios de referência**: emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006b. 119 P. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/730/2/emissoes%20de%20dióxido%20de%20carbono%20e%20de%20metano%20pelos%20reservatorios%20hidreletricos%20brasileiros.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2018.

ROSA, L. P.; DOS SANTOS, M. A.; MATVIENKO, B.; DOS SANTOS, E. O.; SIKAR, E. Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions. **Climatic Change**, [S.l.], v. 66, n. 1/2, p. 9-21, 2004.

SAINT LOUIS, V. C.; KELLY, C.; DUCHEMIN, E.; RUDD, J. W. M.; ROSENBERG, D. M. Reservoir surface as sources of greenhouse gases to the atmosphere: a global estimate. **BioScience**, v. 50, n. 9, p. 766-775, 2000.

SCHIMMEL, D.; ALVES, D.; ENTING, I.; HEIMANN, M.; JOOS, R.; RAYNAUD, D.; WIGLEY, T.; PRATHER, M.; DERWENT, R.; EHHALT, D.; ERASER, R.; SANHUEZA, E.; ZHOU, X.; JONAS, R.; CHARLSON, R.; RODHE, H.; SADASIVAN, S.; SHINE, K. R.; FOUQUART, Y.; RAMASWAMY, V.; SOLOMON, S.; SRINIVASAN, J.; ALBRITTON, D.; DERWENT, R.; ISAKSEN, I.; LAL, M.; WUEBBLES, D. Radiative forcing of climate change. In: HOUGHTON, J. T.; L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (ed.) **Climate change 1995: the science of climate change**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 1996. p. 65-131. Disponível em: http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_I/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf. Acesso em: 22 ago. 2018.

SHINDELL, Drew T.; KUYLENSTIERNA, J. C. I.; VIGNATI, Elisabetta; VAN DINGENEN, Rita; AMANN, Markus; KLIMONT, Zbigniew; ANENBERG, Susan C.; MULLER, Nicholas; JANSSENS-MAENHOUT, Greet; RAES, Frank; SCHWARTZ, Joel; FALUVEGI, Greg; POZZOLI, Luca; KUPIAINEN, Kaarle; HÖGLUND-ISAKSSON, Lena; EMBERSON, Lisa; STREETS, David; RAMANATHAN, V.; HICKS, Kevin; KIM OANH, N. T.; MILLY, George; WILLIAMS, Martin; DEMKINE, Volodymyr; FOWLER, David. Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security. **Science**, [S.l.], v. 335, n. 6065, p. 183-189, 2012.

SHINDELL, D. T.; FALUVEGI, G.; KOCH, D. M.; SCHMIDT, G. A.; UNGER, N.; BAUER, S. E. Improved attribution of climate forcing to emissions. *Science*, [S.l.], v. 326, n. 5953, p. 716-718, 2009.

TREMBLAY, A.; VARFALVY, L.; ROEHM, C.; GARNEAU, M. **The issue of greenhouse gases from hydroelectric reservoirs: from boreal to tropical regions.** Montréal, Canadá: Hydro-Québec, [2005?]. 11 p. Manuscrito não publicado de Hydro-Québec. Disponível em: http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/energy/op/hydro_tremblaypaper.pdf. Acesso em: 22 ago. 2018.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos.** 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 678 p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Risoe CDM/JI Pipeline analysis and database.** Risø, Dinamarca: UNEP Risø Centre, 2014. Disponível em: <http://www.cdmpipeline.org/>. Acesso em: 22 ago. 2018.

VATTENFALL AB GENERATION NORDIC. **Vattenfall AB Generation Nordic Certified Environmental Product Declaration EPD® of Electricity from Vattenfall's Nordic Hydropower.** Estocolmo, Suécia: Vattenfall, 2008. 50 p. Report No. S-P-00088.

VERCHOT, L. V.; DAVIDSON, E. A.; CATTÂNIO, J. H.; AKERMAN, I. L.; ERICKSON, H. E.; KELLER, M. Land use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. *Global BioGeochemical Cycles*, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 31-46, 1999.

VILELA, Thais; REID, John. Improving hydropower choices via an online and open access tool. *PLoS ONE*, [S.l.], v. 12, n. 6, 2017.

WASSMANN, Reiner; MARTIUS, Christopher. Methane emissions from the Amazon floodplain. In: JUNK, Wolfgang J. (ed.). **The Central Amazon Floodplain: ecology of a pulsing system.** Heidelberg, Alemanha: Springer, 1997. p. 137-143. (Ecological Studies 126).

WORLD COMMISSION ON DAMS. **Dams and development: a new framework for decision making.** London, Reino Unido: Earthscan, 2001. 404 p. Disponível em: <http://pubs.iied.org/pdfs/9126IIED.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2018.

ZHANG, Q.; KARNEY, B.; MACLEAN, H. L.; FENG, J. Life-cycle inventory of energy use and greenhouse gas emissions for two hydropower projects in China. *Journal of Infrastructure Systems*, [S.l.], v. 13, n. 4, p. 271-279, 2007.