

Gases de efeito estufa em hidrelétricas da Amazônia

Os chamados gases-estufa, entre os quais se destacam o dióxido de carbono e o metano (também conhecido como 'gás do pântano'), dificultam a dissipação da radiação refletida pela Terra. Embora a discussão sobre as reais conseqüências do aumento da concentração desses gases na atmosfera seja polêmica, é provável – caso as emissões se mantenham nos níveis atuais – que no futuro o planeta enfrente catástrofes ocasionadas por mudanças climáticas. Ao apresentar neste artigo dados sobre o lançamento de gases-estufa por hidrelétricas da Amazônia brasileira, o autor traz importante contribuição para um debate imparcial do tema.

Philip M. Fearnside

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Quem abre uma garrafa de refrigerante vê minúsculas bolhas emergirem do líquido. Nesse caso, o gás carbônico (CO₂) está dissolvido na água, que compõe a maior parte da bebida. A solubilidade do gás é mais alta sob pressão na garrafa fechada do que quando ela é aberta, de acordo com o princípio químico conhecido como Lei de Henry, que estabelece que a solubilidade de um gás em um líquido é diretamente proporcional à pressão parcial do gás. Os mergulhadores, vale lembrar, estão familiarizados com o fato de que a queda súbita de pressão pode liberar bolhas de nitrogênio no sangue, pondo em risco a vida daqueles que sobem rapidamente à superfície da água.

No caso da água que emerge do fundo de uma hidrelétrica, o efeito da pressão age em conjunto com o efeito da temperatura (segundo o Princípio de Le Châtelier, o aquecimento da água também reduz a solubilidade dos gases nela dissolvidos). O efeito causado pela liberação da pressão é grande e imediato, mas requer um curto período de tempo para que o Princípio de Le Châtelier se estabeleça e a temperatura se reequilibre.

A diferença de pressão entre uma garrafa de refrigerante fechada e aberta é pequena se com-

parada à pressão no fundo do reservatório de uma hidrelétrica. A 34,6 m (profundidade das tomadas d'água das turbinas na hidrelétrica de Tucuruí), a pressão é alta (aproximadamente três atmosferas). A 10 m há uma estratificação da água em camadas de temperaturas diferentes: a água mais fria das camadas baixas não se mistura com a água mais quente das camadas superiores, impedindo o movimento do CH₄ (metano) para a superfície.

O METANO

À medida que a profundidade aumenta na coluna d'água, a concentração de CH₄ também aumenta (figura 1). No reservatório de Tucuruí, a concentração desse gás a 30 m de profundidade era, em março de 1989, de 6 mg por litro de água (mg/l), uma estimativa conservadora para a concentração nessa época do ano a 34,6 m. O valor sobe para 7,5 mg/l após ajuste para o ciclo anual, com base em medidas tomadas pela equipe de Corinne Galy-Lacaux na represa de Petit Saut (Guiana Francesa).

Os dados desse reservatório, onde se tomam medidas ao longo de todo o ano, são mais comple-

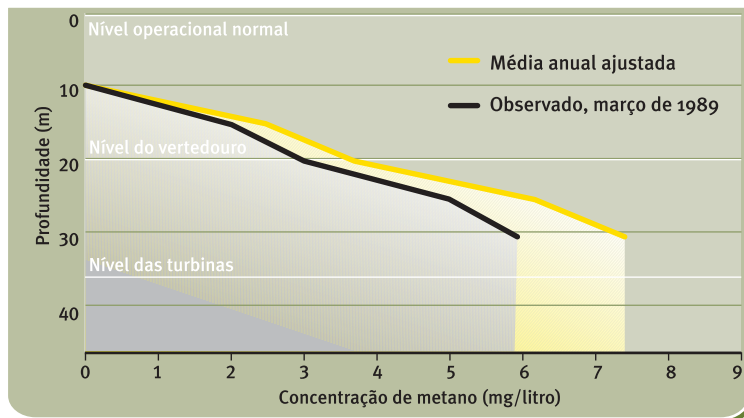


Figura 1. Perfil da concentração de metano (CH₄) na usina hidrelétrica de Tucuruí em março de 1989, com ajuste para um ciclo anual

tos que os relativos às hidrelétricas da Amazônia brasileira. Embora os dados de Petit Saut possam ser usados para ajustar valores pontuais brasileiros, com base em números relativos (percentagens), não se pode lançar mão de valores absolutos por causa da diferença de idade entre os reservatórios.

Logo que a água emerge das turbinas, a pressão cai até o nível de uma atmosfera, e a maior parte do gás nela dissolvido é imediatamente liberada. A água colhida no fundo de um reservatório e trazida até a superfície em um frasco de amostragem espuma feito refrigerante quando ele é aberto. Gases assim liberados incluem o CO₂ e o CH₄. Embora presente na água em menor quantidade que o CO₂, o CH₄ é que torna as hidrelétricas uma preocupação no que se refere ao aumento do efeito estufa.

O metano também é liberado no percurso da água pelo vertedouro, onde a liberação de gás é causada não só pela mudança de pressão e temperatura, mas também pela provisão súbita de uma vasta área da superfície, quando a água é pulveri-



zada em pequenas gotas. No vertedouro da hidrelétrica de Tucuruí, a água sai em um jato a partir de uma fenda horizontal estreita a 20 m de profundidade. Nessa profundidade a água tem uma carga significativa de metano: 3,1 mg/l, em média, ao longo do ano.

Em forma de salto de esqui, o vertedouro foi projetado para maximizar a oxigenação do rio a jusante da barragem (figura 2). Em consequência, o metano presente na água é imediatamente liberado. Considerando que 353,6 trilhões de litros d'água, em média, passam anualmente pelas turbinas e vertedouros da barragem de Tucuruí, verifica-se que a quantidade de CH₄ exportada por essas estruturas é tremenda.

Levando-se em conta as suposições relativas às percentagens de CH₄ liberadas dessa água, em 1991 foi lançado um total de 0,7-1,2 milhão de toneladas de CH₄ em Tucuruí, o equivalente a 4-7,1 milhões de toneladas de carbono na forma de CO₂, computado com base no potencial de aquecimento global de 21, adotado para o metano pelo Protocolo de Kyoto – isso significa que cada tonelada de CH₄ tem, sobre o aquecimento global, o impacto de 21 toneladas de CO₂. A equivalência é conservadora, já que cálculos atuais do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas indicam um valor de 23 para o potencial de aquecimento global do metano, o que aumentaria o impacto da emissão desse gás pelas hidrelétricas em 12% em relação aos valores adotados pelo Protocolo de Kyoto. Há propostas alternativas para o cálculo da equivalência entre os diferentes gases, mas os cálculos aqui apresentados se baseiam na metodologia adotada pelo Protocolo de Kyoto, por ser internacionalmente aceita.

A pressão parcial do CH₄ na atmosfera é muito baixa: $1,5 \times 10^{-6}$ (em cada milhão de moléculas presentes no ar, apenas 1,5, em média, é de metano). Dada a constante da Lei de Henry para o metano, o equilíbrio de CH₄ à pressão de uma atmosfera e à temperatura de 25°C é de apenas 0,035 mg/l. Quando a água emerge das turbinas de Tucuruí com uma concentração de 7,5 mg de metano por litro, 99,5% se perdem em razão do efeito combinado da queda da pressão, até o nível de uma atmosfera, e da elevação da temperatura, até cerca de 25°C. O papel da temperatura nesse processo pode ser visto a partir da relação entre a temperatura e a solubilidade de CH₄: um aumento na temperatura de 15°C para 25°C, por exemplo, reduz a solubilidade de CH₄ na água em 18,3%.

Figura 2. Em forma de salto de esqui, o vertedouro da hidrelétrica de Tucuruí oxigena a água mas simultaneamente libera metano

Algumas estimativas do impacto de hidrelétricas consideram desprezíveis as emissões de gases pelas turbinas e vertedouros, com base na medida do fluxo de gases na superfície da água, feitas de várias centenas de metros a várias dezenas de quilômetros a jusante da barragem. Infelizmente para o ambiente, a liberação de gás da água que emerge das turbinas ocorre em questão de segundos. O fato de que pouco ou nenhum metano seja liberado rio abaixo é irrelevante. A quantidade de CH_4 liberado nas turbinas e no vertedouro é adequadamente calculada por meio da diferença entre a concentração de CH_4 na água à profundidade da tomada d'água das turbinas atrás da barragem e a concentração na água do rio a jusante da barragem. Como o novo equilíbrio é alcançado rapidamente, logo que a água emerge das turbinas, não há tempo para as bactérias reduzirem o CH_4 a CO_2 antes de o gás ganhar a atmosfera.

Com o sobe-e-desce do nível de água, inundando e expondo grandes áreas de terra ao redor da margem, as represas se tornam verdadeiras fábricas de metano. A vegetação cresce depressa na lama exposta e se decompõe em condições anaeróbicas no fundo do reservatório quando a água volta a subir. Isso converte gás carbônico atmosférico em metano, com um impacto muito maior sobre o efeito estufa do que o CO_2 retirado da atmosfera por ação das plantas (21 vezes mais por tonelada de gás ou 7,6 vezes mais por tonelada de carbono). A emissão natural desse gás ao longo de um rio sem barragens é pequena se comparada à emissão de um reservatório.

O DIÓXIDO DE CARBONO

A emissão de gás carbônico de reservatórios é bastante diferente da emissão de metano no que se refere ao impacto líquido sobre o efeito estufa. Diferente do metano, só uma porção do gás carbônico emitido pode ser considerada impactante, pois grande parte do fluxo de CO_2 é cancelada por meio de absorções que ocorrem no reservatório. O metano não entra em processos fotossintéticos, embora seja reduzido lentamente a CO_2 , que pode ser removido na fotossíntese. Durante os cerca de 10 anos que cada molécula de metano permanece na atmosfera, o efeito estufa que isso causa deve ser considerado um impacto líquido da represa.

O CO_2 liberado na superfície do reservatório, bem como o CO_2 liberado em turbinas e vertedouros, não pode ser considerado emissão líquida. O carbono desse CO_2 terá entrado na água a partir de fontes de fotossíntese no reservatório, como fitoplâncton e macrófitas, de material orgânico e



Figura 3. Vista parcial do lago da hidrelétrica de Samuel, em Rondônia, 13 anos após o fechamento da barragem. Partes de árvores mortas permanecem acima da água, e a decomposição dessa biomassa libera CO_2 , sobretudo na primeira década após a formação da represa

solo erodido e de carbono orgânico dissolvido que alcança o rio a partir do lençol freático. O carbono de CO_2 derivado da fotossíntese no reservatório é apenas reciclado da atmosfera; o proveniente da terra firme está sujeito a decomposição aeróbica.

O carbono da represa que não é oxidado pode depositar-se em sumidouros (como os sedimentos do fundo do reservatório), a jusante (na várzea ou foz) ou em sedimentos oceânicos, podendo ainda permanecer como carbono orgânico dissolvido por um longo período. A remoção de carbono por deposição no reservatório não pode ser vista como benefício, uma vez que o carbono dos sedimentos provavelmente ter-se-ia acumulado em outros sumidouros na ausência de barragens.

No cálculo do impacto líquido causado por reservatórios, deve-se levar em conta o CO_2 liberado pela decomposição de partes das árvores inundadas que se projetam para fora d'água (figura 3). Após o enchimento do reservatório, a quantidade de carbono envolvida é significativa na primeira década. Uma estimativa das emissões dessa fonte feita pelo autor deste artigo durante o ano de 1990 indicou um total de 10 milhões de toneladas de carbono para as represas da Amazônia brasileira: 2,55 em Tucuruí; 6,43 em Balbina; 1,13 em Samuel; e 0,01 em Curuá-Una. ▶

SUGESTÕES
PARA LEITURA

FEARNSIDE, P.M.
'Greenhouse gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives', in *Environmental Conservation*, 24: 64-75, 1997.

FEARNSIDE, P.M.
'Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications', in *Water, Air and Soil Pollution*, 133: 69-96, 2002.

FEARNSIDE, P.M.
'Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source', in *Climatic Change* (no prelo).

GALY-LACAU, C., DELMAS, R., KOUADIO, J., RICHARD, S., & GOSSE, P.

'Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions', in *Global Biogeochemical Cycles*, 13: 503-517, 1999.

GÁS	FONTE DE EMISSÃO	C EQUIVALENTE A CO ₂ (MILHÕES DE T)*		CONTRIBUIÇÃO RELATIVA (%)	
		CENÁRIO 'ALTO'	CENÁRIO 'BAIXO'	CENÁRIO 'ALTO'	CENÁRIO 'BAIXO'
CH ₄	EBULIÇÃO + DIFUSÃO	0,537	0,537	5%	8%
	DECOMPOSIÇÃO ACIMA D'ÁGUA	0,003	0,003	0,03%	0,04%
	PERDA DE SUMIDOUROS NO SOLO DA FLORESTA	0,001	0,001	0,01%	0,01%
	PERDA DE CUPINS DA FLORESTA	-0,015	-0,015	-0,15%	-0,22%
	TURBINAS	4,023	0,945	40%	13%
CO ₂	VERTEDOIRO	3,066	3,066	30%	44%
	CH ₄ TOTAL	7,61	4,54	75%	64%
CO ₂	DECOMPOSIÇÃO ACIMA D'ÁGUA**	2,55	2,55	25%	36%
	DECOMPOSIÇÃO ABAIXO D'ÁGUA	0,03	0,03	0,30%	0,43%
	PERDA DE ABSORÇÃO DA FLORESTA	0,06	0,06	1%	1%
	CO ₂ TOTAL	2,64	2,64	26%	38%
N ₂ O***	PERDA DE FONTES NO SOLO DA FLORESTA	-0,14	-0,14	-1%	-2%
TOTAL		10,11	7,03	100%	100%

*Potencial de aquecimento global de CH₄ = 21; N₂O = 310.

**Baseada na decomposição acima do solo, em área de floresta derrubada para implantação de atividades agropecuárias.

***Óxido nitroso.

HIDRELÉTRICAS E OUTRAS FONTES
DE ENERGIA: UMA COMPARAÇÃO

Emissões de várias fontes se concentram no início da vida de uma hidrelétrica, e o efeito estufa que provoca para gerar energia tem um perfil temporal bem diferente do perfil das emissões causadas pela produção da mesma quantidade de energia a partir de combustíveis fósseis. As emissões em uma barragem ocorrem até vários anos antes de ela começar a produzir energia, resultando também da fabricação de cimento e aço empregados na sua construção. A liberação de CO₂ pela decomposição de árvores mortas acima da água e do CH₄ resultante da decomposição das partes macias da vegetação inicial e das macrófitas é mais alta nos primeiros anos, após o enchimento do reservatório. Qualquer ponderação das emissões por tempo (atualmente não incluídas no Protocolo de Kyoto) favoreceria a alternativa dos combustíveis fósseis, em comparação com a geração de energia hidrelétrica.

Mesmo sem considerar as emissões decorrentes da construção da barragem e as ponderações acerca do tempo, é expressiva a emissão de gases de efeito estufa por hidrelétricas amazônicas. Isso se aplica não só a barragens com potência muito baixa por área inundada, como Balbina e Samuel (ver "Balbina: lições trágicas na Amazônia", em *Ciência Hoje* nº 64), mas também a barragens como Tucuruí, cuja potência por metro quadrado inundado é superior à média das barragens planejadas na Amazônia em geral.

Figura 4. Emissões de gases-estufa na hidrelétrica de Tucuruí em 1990. Os componentes são de anos diferentes: áreas de hábitat e níveis de água (1988); emissão por unidade de área por ebulição e difusão (1996-1997); fluxos de água das turbinas e do vertedouro (1991); conteúdo de CH₄ na água (1989); emissões de decomposição (1990)

Em Tucuruí, o impacto total das emissões e sumidouros dos diferentes gases de efeito estufa somava em 1990 (seis anos após o fechamento da barragem) o equivalente a 7-10,1 milhões de toneladas de carbono de CO₂. Um cenário 'alto' e outro 'baixo' refletem uma larga faixa de incerteza, que se deve sobretudo às suposições acerca da percentagem de CH₄ liberada pelas turbinas (figura 4).

A magnitude dessa emissão pode ser entendida por comparação com a que se verifica na cidade de São Paulo. Em 1990, o Brasil emitiu 53 milhões de toneladas de carbono de combustíveis fósseis, segundo cálculos do especialista em energia Emílio La Rovere, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Portanto, a emissão de 7-10,1 milhões de toneladas de carbono equivalente a CO₂ de Tucuruí em 1990 representava de 13% a 19% da emissão de combustível fóssil produzida na época pela população do país (170 milhões de habitantes). A emissão de Tucuruí era de 1,3 a 1,9 vezes maior que a do combustível fóssil queimado pelos 17 milhões de habitantes da área metropolitana de São Paulo (10% da população brasileira). ■