

Queimadas

Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira

PHILIP M. FEARNSIDE

O FOGO NA AMAZÔNIA brasileira é responsável pela emissão de grandes quantidades de gases de efeito estufa por vários processos distintos, incluindo a queimada de floresta nas áreas que estão sendo desmatadas para agricultura e pecuária, incêndios florestais e queimada de capoeiras, pastagens, e diferentes tipos de savanas.

As queimadas que acompanham o desmatamento determinam as quantidades de gases emitidas não somente da parte da biomassa que queima, mas também da parte que não queima. Quando há uma queimada, além da liberação de gás carbônico (CO_2), são liberados também gases-traço como metano (CH_4), monóxido de carbono (CO) e nitroso de oxigênio (N_2O). A parte da biomassa que não queima na queimada inicial, que é quente, com chamas, também será oxidada. Parte disto ocorre por processos de decomposição (com alguma emissão de CH_4 pela madeira consumida por cupins) e parte pelas re-queimadas (queimadas das pastagens e capoeiras, que também consomem os remanescentes da floresta original ainda presentes nas áreas), queimadas estas de temperatura reduzida, com formação de brasas e maiores emissões de gases-traço.

As quantidades de gases de efeito estufa liberadas pelo desmatamento são significantes tanto em termos do impacto presente quanto do potencial para contribuição a longo prazo com a continuação do desmatamento da vasta área de florestas restante no Brasil. A forma em que são calculadas as emissões pode ter um grande efeito sobre o impacto atribuído ao desmatamento. As emissões líquidas comprometidas e o balanço anual de emissão líquida (ou, mais simplesmente, o “balanço anual”) são dois índices importantes para expressar o impacto do desmatamento sobre o efeito estufa.

Emissões líquidas comprometidas representam a contribuição a longo prazo para transformar a cobertura florestal em uma nova paisagem, usando como base de comparação o mosaico de usos da terra, resultado de uma condição de equilíbrio criada por projeção das tendências atuais. Isto inclui emissões de decomposição e de requeimada dos troncos que não queimam quando a floresta é derrubada e queimada inicialmente (emissão comprometida), e absorção de car-

bono pelo crescimento de florestas secundárias em locais abandonados depois de uso em agricultura e em pecuária bovina (absorção comprometida) (Fearnside, 1997a).

A emissão líquida comprometida considera as emissões e absorções que ocorrerão à medida em que a paisagem se aproximar a uma nova condição de equilíbrio em uma determinada área desmatada. Aqui, a área considerada corresponde aos $13,8 \times 10^3 \text{ km}^2$ da floresta amazônica que foram cortados no Brasil em 1990, o ano de referência para os inventários nacionais de gases de efeito estufa sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima (UN-FCCC). As “emissões prontas” (emissões que entram na atmosfera no ano do desmatamento) são consideradas juntamente com as “emissões atrasadas” (emissões que entrarão na atmosfera em anos futuros), e também a absorção correspondente pelo recrescimento da vegetação de substituição nos locais desmatados. Não são incluídas as emissões de gases-traço da queima e decomposição de floresta secundária e de biomassa de pastagem na paisagem de substituição, embora sejam incluídos gases-traço e fluxos de gás carbônico para emissões que se originam de remanescentes da biomassa da floresta original, perda de fontes e sumidouros de florestas intactas, e estoques de carbono do solo. A emissão líquida comprometida é calculada como a diferença entre o carbono presente na floresta e na paisagem de substituição em equilíbrio, com fluxos de gases-traço calculados com base nas frações da biomassa que queimam ou se decompõem por diferentes processos.

Em contraste com a emissão líquida comprometida, o balanço anual considera as liberações e absorções de gases de efeito estufa em um determinado ano (Fearnside, 1996a). O balanço anual considera a região inteira (não apenas a parte desmatada em um único ano) e os fluxos de gases entrando e deixando a região, ambos por emissões de áreas recentemente desmatadas e pelas emissões e absorções “herdadas” dos desmatamentos em idades diferentes na paisagem. Emissões e absorções herdadas são os fluxos que acontecem no ano em questão, resultado de atividade do desmatamento em anos anteriores: por exemplo, da decomposição ou da requeimada de biomassa remanescente da floresta original. O balanço anual também inclui gases-traço da queima e decomposição de floresta secundária e de pastagens.

O balanço anual representa uma medida instantânea dos fluxos de gases de efeito estufa, entre eles o gás carbônico. Embora tais cálculos sejam feitos em uma base anual, eles são aqui chamados de “instantâneos” para enfatizar o fato de não incluírem as conseqüências futuras de desmatamento e de outras ações que ocorram durante o ano em questão.

Neste trabalho são atualizadas estimativas anteriores das emissões líquidas comprometidas (Fearnside, 1997a) e do balanço anual (Fearnside, 1996a). Incorporam-se nele informações adicionais sobre densidade de madeira (Fearnside,

1997b), biomassa debaixo do solo, biomassa de cerrado (Graça, 1997), liberação de carbono do solo (Fearnside & Barbosa, 1998), eficiências de queimada, formação de carvão entre outros fatores.

Biomassa florestal

A biomassa média presente nas florestas primárias na Amazônia brasileira foi calculada com base em análise de dados sobre volume de madeira, publicados de 2.954 ha de inventários florestais distribuídos em toda região (atualizado de Fearnside, 1994). A biomassa total média (inclusive os componentes mortos e debaixo do solo) é calculada em 463 t ha⁻¹ para todas as florestas maduras não-exploradas para madeira, originalmente presentes na Amazônia Legal brasileira. A biomassa média acima do solo é de 354 t ha⁻¹, dos quais 28 t ha⁻¹ dessa biomassa está morta; a média de biomassa debaixo do solo é calculada em 109 t ha⁻¹. Tais estimativas incluem a densidade de madeira calculada separadamente para cada tipo de floresta, tendo como base o volume de cada espécie presente e os dados publicados sobre densidade básica para 274 espécies (Fearnside, 1997b). As estimativas de biomassa total são desagregadas por estado e por tipo de floresta, permitindo assim o uso desses dados juntamente com aqueles sobre desmatamento baseados no satélite LANDSAT, que são divulgados para cada unidade federativa (Fearnside, 1993; 1997c).

Foram calculadas as áreas protegidas e desprotegidas de cada tipo de vegetação em cada um dos nove estados na Amazônia Legal (Fearnside & Ferraz, 1995). Multiplicando-se a biomassa por hectare de cada tipo de floresta pela a área desprotegida presente em cada estado, pode-se calcular a biomassa cortada, presumindo-se que o desmatamento dentro de cada estado esteja distribuído entre os diferentes tipos de vegetação na mesma proporção em que os tipos de vegetação estão presentes na área desprotegida do estado. Mediante a ponderação da média da biomassa pela taxa de desmatamento em cada estado, o total médio de biomassa sem exploração madeireira em áreas cortadas em 1990 foi calculado em 433 t ha⁻¹, ou 6,5% abaixo da média para florestas sem exploração madeireira presentes na Amazônia Legal como um todo (veja-se Fearnside, 1997a). Tal diferença é devida à concentração da atividade de desmatamento ao longo dos limites sul e oriental da floresta, onde a biomassa por hectare é mais baixa que nas áreas de desmatamento mais lento nas partes central e norte da região.

Os valores para a biomassa de floresta “não explorada para madeira” representam as melhores estimativas para cada tipo de floresta na época em que foi inventariada, ou seja, nos anos 50 no caso dos inventários florestais feitos pela Organização de Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO), que representam 10% dos dados, e no início da década de 70 no caso dos dados do Projeto RADAMBRASIL, representando os 90% restantes. Os dados da FAO

são de Heinsdijk (1957; 1958a, b, c) e Glerum (1960). Os dados do Projeto RADAMBRASIL foram extraídos de Brasil, Projeto RADAMBRASIL (1973-1983). Há certos índices, todavia, sugerindo que, ao elaborarem o inventário, as equipes que nele trabalharam evitaram locais com muita exploração madeireira (Sombroek, 1992). Além disso, os danos de exploração madeireira foram muito menos difundidos na época dos inventários do que são atualmente. A exploração madeireira continua progredindo, já que a porcentagem das áreas desmatadas antes exploradas para madeira aumentou rapidamente nos meados da década de 70, quando o acesso rodoviário melhorou na região. Além disso, madeira para carvão e lenha às vezes é cortada e vendida *depois* da queimada.

A redução da biomassa devido à exploração madeireira em áreas que são derrubadas é muito mais elevada do que a redução da biomassa média para a floresta como um todo, já que as áreas que estão sendo derrubadas geralmente têm o melhor acesso viário. Muito da redução de biomassa pela exploração madeireira resultará em liberação de gás semelhante às liberações que aconteceriam por uma derrubada. Isso ocorre pela decomposição dos resíduos florestais e do número significativo de árvores não-comerciais mortas ou danificadas durante o processo de exploração madeireira e/ou da decomposição e queima dos resíduos descartados no processo de beneficiamento, mais os gases liberados pela decomposição mais lenta dos produtos florestais resultantes das toras colhidas (Fearnside, 1995a). Com ajuste para a exploração madeireira, as áreas cortadas em 1990 representaram uma biomassa total média de 406 t ha⁻¹, dos quais 249 t ha⁻¹ eram biomassa viva acima do solo, 59 t ha⁻¹ biomassa morta acima do solo e 98 t ha⁻¹ biomassa debaixo do solo.

Emissões de gases de efeito estufa

Queimada inicial

A eficiência de queimada (porcentagem do carbono pré-queima acima do solo presumida de ser emitida como gases) foi, em média, 38,8% nas 10 medidas disponíveis em queimadas de florestas primárias na Amazônia brasileira (tabela 1). Ajustes para o efeito da exploração madeireira sobre a distribuição diamétrica das peças de biomassa dão uma eficiência de 39,4%.

O carvão vegetal formado na queimada é uma maneira pela qual o carbono pode ser transferido para um estoque de longo prazo, não podendo entrar novamente na atmosfera. O carvão no solo é um estoque de longo prazo, considerado na análise como seqüestrado permanentemente na análise. A média das quatro medidas disponíveis sobre a formação de carvão em queimadas em florestas primárias na Amazônia brasileira indica que 2,2% do carbono acima do solo é convertido em carvão (tabela 1).

Tabela 1. Estudos de combustão e de formação de carvão na Amazônia brasileira

Local	Estado	Queimada	Biomassa pré-queima acima do solo		Eficiência de queimada		Formação líquida de carvão		Fonte
			Peso seco (t/ha ⁻¹)	Carbono (t/ha ⁻¹)	% C pré-queima	Carbono (t/ha ⁻¹)	% do C da biomassa pré-queima		
<i>Floresta original (queimada inicial)</i>									
Manaus	Amazonas	1984	264,6	130,2	27,6	3,5	2,7	Fearnside et al., 1993	
Altamira	Pará	1986	263,0	129,9	41,9	1,6	1,3	Fearnside et al., 1999	
Manaus	Amazonas	1990	368,5	181,7	28,3	3,4	1,8	Fearnside et al., 2001	
Jacundá	Pará	1990	292,4	147,6	51,5			Kauffman et al., 1995	
Marabá	Pará	1991	434,6	218,2	51,3			Kauffman et al., 1995	
Sta. Bárbara	Rondônia	1992	290,2	142,1	40,5			Kauffman et al., 1995	
Jamari	Rondônia	1992	361,2	178,9	56,1			Kauffman et al., 1995	
Manaus	Amazônia	1992	424,4	203,5	25,1			Carvalho et al., 1995	
Tomé Açu	Pará	1993	214,2	96,2	21,9			Araújo et al., 1997	
Nova Vida	Rondonia	1994	360,5	142,3	34,6	4,1	2,9	Graça et al., 1999	
Média			321,9	157,0	39,0	3,2	2,2		
<i>Remanescente da floresta original (queimadas subsequentes)</i>									
Apiáú	Roraima	1991	101,2	48,4	30,1	0,6	1,3	Fearnside et al., s/d	
Apiáú	Roraima	1993	96,3	46,1	13,2	0,3	0,7	Barbosa & Fearnside, 1996	
Média			98,7	47,2	21,6	0,5	1,0		
<i>Floresta secundária (não incluindo remanescentes da floresta original)</i>									
Altamira	Pará	1991	25,1	11,3	25,9	0,1	1,1	Guimarães, 1993	
Apiáú	Roraima	1991	41,5	17,8	66,5	0,2	1,2	Fearnside et al., s/d	
Apiáú	Roraima	1993	6,2	2,8	69,1	0,02	0,8	Barbosa & Fearnside, 1996	
Média			24,6	10,7	53,6	0,1	1,0		
<i>Pastagem</i>									
Apiáú	Roraima	1993	8,0	3,4	93,4	0,04	1,1	Barbosa & Fearnside, 1996	

O carbono grafítico particulado é outro sumidouro para o carbono queimado. Uma pequena quantidade de carbono elementar é formada como particulados grafíticos na fumaça, e mais de 80% do carbono elementar formado permanece no local em forma de carvão (Kuhlbusch & Crutzen, 1995). O carbono grafítico particulado é calculado por meio de fatores de emissão a partir da quantidade de madeira que passa pelo processo de combustão. O carbono que entra neste sumidouro é de apenas 1/13 daquele que entra no sumidouro de carvão.

A floresta secundária anterior a 1970 deve ser considerada separadamente da floresta primária, já que estas áreas não foram incluídas na estimativa de taxa de desmatamento ($13,8 \times 10^6 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$) em 1990. Uma estimativa grosseira da derrubada é de $713 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ (Fearnside, 1996a). A floresta secundária pré-1970 torna-se pertinente apenas ao balanço anual, mas não à emissão líquida comprometida. Os gases do efeito estufa resultantes do corte de floresta secundária antes de 1970 são irrelevantes.

Para calcular a emissão líquida comprometida foram tabuladas as emissões e absorções de gases de efeito estufa: em um “cenário de gases-traço baixo” (tabela 2) e em “cenário de gases-traço alto” (tabela 3). Nestes dois cenários foram usados valores altos e baixos tirados da literatura quanto aos fatores de emissão para cada gás nos diferentes tipos de queimada (revisão da literatura em Fearnside, 1997a). Eles não refletem a incerteza com relação à biomassa de floresta, à taxa de desmatamento, à eficiência de queimada e a outros fatores importantes.

A queimada inicial representa $270 \times 10^6 \text{ t}$ de gás de CO_2 , ou 27% da emissão comprometida bruta de $999 \times 10^6 \text{ t}$. A emissão bruta de um gás refere-se a todas as liberações do gás, mas não às suas absorções. A contribuição da queimada inicial de CH_4 é 0,87-1,05 do total de $1,18\text{-}1,51 \times 10^6 \text{ t}$ (70-74%); a de CO é 21-26 do total de $30\text{-}37 \times 10^6 \text{ t}$ (68-70%); a de N_2O é 0,05-0,14 do total de $0,07\text{-}0,18 \times 10^6 \text{ t}$ (71-78%). Para compostos de nitrogênio e oxigênio, como NO e NO_2 (NO_x), e para hidrocarbonetos não-metanos (NMHC), se considerada a parte da perda de fontes nas florestas maduras, representam respectivamente 0,66 do total de $0,81 \times 10^6 \text{ t}$ (81%) e 0,55-1,10 do total de $0,63\text{-}1,26 \times 10^6 \text{ t}$ (87-92%).

Queimadas subseqüentes

O comportamento dos fazendeiros com relação à queimada pode alterar a quantidade de carbono que passa para o estoque a longo prazo em forma de carvão. Fazendeiros requeimam as pastagens em intervalos de 2-3 anos para combater a invasão de vegetação lenhosa não-comestível. Quando essas requeimas acontecem, os troncos sobre o chão são freqüentemente queimados. Pode-se esperar que algum carvão resultante de queimadas anteriores também sofra combustão.

Parâmetros para as transformações dos estoques brutos de carbono são determinados em Fearnside (1997a: 337-338) com as mudanças na biomassa; na fração da biomassa presente acima do solo; na eficiência de queimada na formação de carvão; na liberação de carbono do solo, como mencionado em outros tópicos deste trabalho. Um cenário típico de três requeimadas ao longo de um período de 10 anos elevaria a porcentagem de C acima do solo – que é convertida em carvão – de 2,2% para 2,9%. Parâmetros para emissões de carbono por caminhos diferentes, como na forma de CO₂, CO e CH₄ e para outras emissões de gases-traço, também são encontrados em Fearnside (1997a: 341-344). Os cálculos, realizados por um programa chamado “DEFOREST”, mais conhecido como BIG CARBON, foram feitos em aproximadamente 150 planilhas eletrônicas interligadas.

Decomposição de remanescentes não-queimados

A decomposição acima do solo de remanescentes não-queimados é calculada mediante estudos disponíveis, listados em Fearnside (1996a: 611). A decomposição representa uma contribuição significativa às emissões de gases de efeito estufa, evidenciando que o grande interesse pelo assunto de queima de biomassa muitas vezes tende a levar as pesquisas a negligenciarem essas contribuições. As estimativas de emissões de gases de efeito estufa do desmatamento que têm sido divulgadas por fontes oficiais do governo brasileiro (Borges, 1992; Silveira, 1992) são inferiores aos cálculos feitos no presente trabalho por um fator de três, principalmente por ignorarem as emissões herdadas, nas quais a decomposição desempenha grande papel.

A decomposição bacteriana e a atividade de térmitas ocorreram em grande parte durante a primeira década. Emissões de metano por térmitas oriundas da decomposição de biomassa não-queimada (Martius *et al.*, 1996) são substancialmente menores que estimativas anteriores (Fearnside, 1991; 1992). Isto ocorreu principalmente porque as estimativas do número de térmitas em áreas desflorestadas indicavam serem as populações insuficientes para consumir a quantidade de madeira que tinha sido presumida anteriormente. Produção mais baixa de metano (0,002 g CH₄ por g de madeira seca consumida) também contribuiu para reduzir as emissões desta fonte, que são calculadas em um total de apenas 0,014 x 10⁶ t ano⁻¹ de gás de CH₄ nas áreas desmatadas da floresta original até 1990 (tabelas 2 e 3).

Exploração madeireira

Em uma situação típica, as florestas acessíveis por terra ou por transporte fluvial são exploradas para extração de madeira, reduzindo assim a biomassa tanto pela remoção de madeira quanto por matar ou danificar muitas árvores não-colhidas. Essa floresta já degradada pela exploração madeireira é derrubada posteriormente para agricultura ou pecuária bovina.

Tabela 2. Emissão líquida comprometida de gás de efeito estufa por cada fonte para o desmatamento de 1990 na Amazônia Legal: cenário de gases-traço-baixo

Fonte	Área afetada (10 ³ km ²)	Emissões (milhões de toneladas de gás)					
		CO ₂	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x	NMHC
<i>Floresta</i>							
Queimada inicial	13,8	270	0,87	20,90	0,05	0,66	0,55
Requeimadas	13,8	57	0,28	8,89	0,01	0,15	0,14
Decomposição acima do solo por térmitas	13,8	17	0,014				
Outra decomposição acima do solo	13,8	365					
Decomposição abaixo do solo	13,8	247					
Gado (a)			0,010				
Solo sob pastagem (a)	6,1				0,002		
Perdas de fontes e sumidouros da floresta intata (a)	7,3		0,003			-0,01	-0,09
Carbono do solo (8m superiores)	13,8	43					
Recrescimento de floresta secundária	13,8	-65					
Subtotal para florestas		934	1,18	29,79	0,07	0,81	0,63
<i>Cerrado</i>							
Queimada inicial	5,0	11	0,04	0,85	0,002	0,03	0,02
Requeimadas	5,0	1	0,01	0,18	0,01	0,003	0,003
Decomposição acima do solo por térmitas	5,0	0,1	0,0001				
Outra decomposição acima do solo	5,0	2					
Decomposição abaixo do solo	5,0	9					
Gado (a)	5,0		0,008				
Solo sob pastagem (a)	5,0				0,002		
Perda de fontes e sumidouros de cerrado intato (a) (b)	5,0		0,0002			-0,0004	-0,004
Carbono do solo (8m superiores)	5,0	16					
Recrescimento de floresta secundária	5,0	-9					
Subtotal para cerrado		31	0,05	1,03	0,004	0,03	0,02
Total para a Amazônia Legal		964	1,23	30,83	0,07	0,83	0,66

(a) Efeitos periódicos (metano de gado, sumidouro de metano no solo da floresta, N₂O do solo da pastagem), somado ao longo de um período de 100 anos para consistência com os cálculos da IPCC para um horizonte de tempo de 100 anos.

(b) fontes de cerrado intato para NO_x e NMHC foram derivadas da emissão por hectare de floresta, presumindo que a emissão é proporcional ao peso seco da biomassa foliar das árvores em cada ecossistema. Para cerrado, biomassa seca de folhas de árvores (estação seca) = 0,756 t ha⁻¹ (dos Santos, 1989: 194); floresta (em Tucuruí, Pará) = 12,94 t ha⁻¹ (Revilla Cardenas *et al.*, 1982).

Tabela 3. Emissão líquida comprometida de gás de efeito estufa por cada fonte para o desmatamento de 1990 na Amazônia Legal: cenário de gases-traço-alto

Fonte	Área afetada (10 ³ km ²)	Emissões (milhões de toneladas de gás)					
		CO ₂	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x	NMHC
<i>Floresta</i>							
Queimada inicial	13,8	270	1,05	26,13	0,14	0,66	1,10
Requeimadas	13,8	57	0,44	11,32	0,03	0,15	0,25
Decomposição acima do solo por térmitas	13,8	17	0,014				
Outra decomposição acima do solo	13,8	365					
Decomposição abaixo do solo	13,8	247					
Gado (a)	6,1		0,01				
Solo sob pastagem (a)	6,1				0,002		
Perdas de fontes e sumidouros da floresta intata (a)	7,3		0,0003			-0,01	-0,09
Carbono do solo (8m superiores)	13,8	43					
Recrescimento de floresta secundária	13,8	-65					
Subtotal para florestas		934	1,51	37,45	0,18	0,81	1,26
<i>Cerrado</i>							
Queimada inicial	5,0	11	0,04	1,07	0,006	0,027	0,04
Requeimadas	5,0	2	0,01	0,36	0,001	0,005	0,01
Decomposição acima do solo por térmitas	5,0	0,1	0,0001				
Outra decomposição acima do solo	5,0	2					
Decomposição abaixo do solo	5,0	15					
Gado (a)	5,0		0,01				
Solo sob pastagem (a)	5,0				0,002		
Perda de fontes e sumidouros de cerrado intato (a) (b)	5,0		0,0002			-0,0004	-0,004
Carbono do solo (8m superiores)	5,0	16					
Recrescimento de floresta secundária	5,0	-9					
Subtotal para cerrado		37	0,07	1,43	0,009	0,03	0,05
Total para a Amazônia Legal		971	1,88	38,87	0,18	0,84	1,31

(a) Efeitos periódicos (metano de gado, sumidouro de metano no solo da floresta, N₂O do solo da pastagem), somado ao longo de um período de 100 anos para consistência com os cálculos da IPCC para um horizonte de tempo de 100 anos.

(b) fontes de cerrado intato para NO_x e NMHC foram derivadas da emissão por hectare de floresta, presumindo que a emissão é proporcional ao peso seco da biomassa foliar das árvores em cada ecossistema. Para cerrado, biomassa seca de folhas de árvores (estação seca) = 0,756 t ha⁻¹ (dos Santos, 1989: 194); floresta (em Tucuruí, Pará) = 12,94 t ha⁻¹ (Revilla Cardenas *et al.*, 1982).

O efeito causado pela exploração madeireira não é tão direto quanto pode parecer. A remoção dos fustes das árvores grandes aumentará a eficiência de queimada, como também aumentará a taxa de decomposição média da biomassa não-queimada. Isto porque os galhos de diâmetro pequeno queimam melhor e se decompõe mais rapidamente do que os grandes troncos. Tais medidas compensarão parcialmente a redução nas emissões devido à biomassa menor. Em cálculos que incluam taxas de desconto ou ponderação por preferência temporal é dada ênfase às emissões a curto prazo e ao efeito de exploração madeireira no impacto de desmatamento. Quando as áreas exploradas para a extração da madeira são desmatadas subseqüentemente, a redução de emissões será maior, já que os troncos grandes removidos teriam decomposição lenta se tivessem sido deixados para serem cortados no processo de desmatamento.

Absorção pela vegetação de substituição

A paisagem de substituição

Uma matriz de Markov de probabilidades anuais de transição foi construída para calcular a composição da paisagem em 1990 e para projetar mudanças futuras, presumindo-se que o comportamento dos fazendeiros permanecesse inalterado. As probabilidades de transição para pequenos agricultores foram derivadas, usando os resultados de estudos de satélite em áreas de assentamento (Moran *et al.*, 1994; Skole *et al.*, 1994). As probabilidades para fazendeiros foram derivadas do comportamento típico indicado por levantamento mediante entrevistas realizadas por Uhl *et al.* (1988). Foram considerados seis usos para a terra os quais, quando divididos para refletir a estrutura etária das parcelas, resultaram em uma matriz de 98 linhas e colunas.

A paisagem calculada para 1990 em áreas desmatadas era composta de 5,4% áreas cultivadas, 44,8% de pastagens produtivas, 2,2% de pastagens degradadas, 2,1% de floresta secundária “jovem” (1970 ou depois) derivada de agricultura, 28,1% de floresta secundária “jovem” derivada de pastagens e 17,4% de floresta secundária “velha” (pré-1970). Esta paisagem chegaria a um equilíbrio de 4% de áreas cultivadas, 43,8% de pastagens produtivas, 5,2% de pastagens degradadas, 2% de floresta secundária derivada de agricultura e 44,9% de floresta secundária derivada de pastagens. Porcentagem insignificante representou “floresta regenerada” (definida como floresta secundária com mais de 100 anos). A biomassa total média (matéria seca, inclusive debaixo do solo e componentes mortos) foi de 43,5 t ha⁻¹ em 1990 nos 410 x 10³ km² desmatados antes daquele ano para usos que não fossem represas hidrelétricas. A biomassa média em equilíbrio seria 28,5 t ha⁻¹ em toda a área desmatada (excluindo represas) (Fearnside, 1996b). Fontes oficiais alegavam uma absorção maciça de C em “plantações”, pressupondo que as emissões líquidas do desmatamento seriam zero (ISTOÉ, 1997). Tal alegação é completamente discrepante no que se refere aos resultados apresentados neste trabalho.

Uma melhor quantificação dos sumidouros de carbono como florestas secundárias é importante por razões científicas e diplomáticas. Do ponto de vista científico, são melhores avaliações dos fluxos de carbono para estes sumidouros, que possibilitarão melhores estimativas das emissões líquidas, e, por conseguinte, estimativas melhores de quantidades, tal como o “sumidouro faltante”. Do ponto de vista diplomático, os cientistas que trabalham com o efeito estufa são criticados freqüentemente por gastarem tempo e dinheiro medindo emissões de carbono em vez de sumidouros, implicando portanto pouca surpresa que tais pesquisadores concluam que as emissões de carbono representam um problema grave. Investigação completa de todos os possíveis sumidouros impediria tais argumentos por aqueles que buscam desculpas para a recusa em tomar medidas contra o efeito estufa.

Taxas de crescimento de florestas secundárias

A taxa de crescimento de florestas secundárias é crítica na determinação da absorção de carbono pela paisagem de substituição. A maioria das discussões sobre absorção mediante florestas secundárias presume que estas crescerão às taxas rápidas que caracterizam os pousios de agricultura itinerante (Lugo & Brown, 1981; 1982). Na Amazônia brasileira, no entanto, a maioria do desmatamento é destinada a pastagens, e a agricultura itinerante desempenha um papel relativamente secundário (Fearnside, 1993). Florestas secundárias em pastagens degradadas crescem muito mais lentamente do que em locais onde foram plantadas apenas culturas anuais após a derrubada inicial da floresta.

Brown & Lugo (1990) revisaram os dados disponíveis sobre crescimento de florestas secundárias tropicais. As informações disponíveis são virtualmente todas de pousios de agricultura itinerante. Brown & Lugo (1990: 17) desenharam um gráfico a mão livre incluindo os dados encontrados para florestas secundárias, que variaram em idade de 1 a 80 anos, inclusive biomassa de madeira (gravetos, galhos e talos: 13 pontos de dados), folhas (10 pontos de dados) e raízes (12 pontos de dados). Isto foi usado para calcular a taxa de crescimento e a razão das partes subterrâneas às partes aéreas (razão raiz/broto) para pousios de agricultura itinerante de idades diferentes. Florestas secundárias em pastagens abandonadas crescem mais lentamente (Guimarães, 1993; Uhl *et al.*, 1988). As informações sobre taxas de crescimento de vegetação secundária de origens diferentes foram usadas para calcular a absorção pela paisagem em 1990 (Fearnside & Guimarães, 1996).

Balanco anual de emissões líquidas

Na tabela 4 são apresentadas as fontes das emissões e absorções de gases de efeito estufa para o balanço anual de 1990 para o cenário de gases-traço baixo e na tabela 5 para o cenário de gases-traço alto. Considerando-se somente o CO₂, 1.218-1.233 x 10⁶ t de gás foram emitidos (emissão bruta) por desmatamento

(não incluindo emissões da exploração madeireira). Subtraindo-se a absorção de 29×10^6 t de gás de CO_2 tem-se uma emissão líquida de $1.189-1.204 \times 10^6$ t de CO_2 , ou $324-328 \times 10^6$ t de carbono. Acrescentando-se os efeitos de gases-traço, usando-se os potenciais de aquecimento global (GWPs) do Segundo Relatório de Avaliação (SAR) do IPCC para um horizonte de tempo de 100 anos, os impactos aumentam para $353-359 \times 10^6$ t de carbono equivalente a carbono de CO_2 . Considerando-se os efeitos indiretos dos gases-traço estes valores seriam substancialmente elevados: o SAR reconhece alguns efeitos indiretos do CH_4 , mas nenhum do CO que é um componente importante das emissões da queima de biomassa. A exploração madeireira acrescentaria 224×10^6 t de gás de CO_2 , mais gases-traço, que elevariam o impacto para $228-229 \times 10^6$ t de gás equivalente de CO_2 (63×10^6 t de carbono equivalente a carbono de CO_2).

Em termos de gás carbônico da biomassa da floresta original, apenas 27% da emissão (antes de subtrair as absorções) no balanço anual era de emissões prontas de desmatamento naquele ano, e 73% de emissões herdadas da decomposição e requeimada de biomassa não-queimada oriunda de derrubadas feitas em anos anteriores. Por causa das emissões herdadas, mais altas nas áreas desmatadas nos anos de desmatamento mais rápido que precederam o ano 1990, o balanço anual é mais alto que as emissões líquidas comprometidas em 27-29% se só for considerado o CO_2 , e em 29-32% se também forem incluídos os equivalentes de CO_2 dos outros gases. As emissões líquidas comprometidas seriam iguais ao balanço anual se o desmatamento resultasse uma taxa constante ao longo de um período prolongado.

A emissão líquida comprometida e o balanço anual são comparados na tabela 6 para os cenários de gases-traço baixo e alto, em ambos os cenários considerando-se apenas o CO_2 e os equivalentes de CO_2 calculados com os potenciais de aquecimento global (GWPs) usados pelo Segundo Relatório de Avaliação (SAR) da IPCC com 100 anos de integração. Também são tabuladas as emissões por exploração madeireira. A inclusão de gases-traço (usando os GWPs do SAR para 100 anos) aumenta o impacto da emissão líquida comprometida em 5-9%, e do balanço anual em 8-11%. É provável que os impactos de gases-traço aumentem quando a IPCC chegar a um acordo sobre os efeitos indiretos adicionais dos gases. Por exemplo, se o impacto de CO fosse calculado usando-se o potencial de aquecimento global de 2, adotado no relatório da IPCC de 1990 (Shine *et al.*, 1990: 60), mas não utilizados nos relatórios subsequentes enquanto não houve acordo, o balanço anual seria aumentado pelo equivalente de $75-92 \times 10^6$ t de gás de CO_2 , enquanto a inclusão do efeito adicional de CO em estender a vida atmosférica de CH_4 devido à remoção dos radicais OH (Shine *et al.*, 1990: 59) ainda mais aumentaria este impacto.

Tabela 4. Balanço anual em 1990 de emissão líquida por fonte na área originalmente florestada da Amazônia Legal (a): cenário de gases-traço baixo

Fonte	Emissões (milhões de toneladas de gás)						Sumidouro (milhões t de carbono)	
	CO ₂	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x	NMHC	carbono carvão vegetal	carbono gráfico
<i>Biomassa da floresta original</i>								
Queimada inicial	269,97	0,87	20,96	0,05	0,66	0,66	3,52	0,20
Requeimadas	65,95	0,32	10,21	0,01	0,51	0,16	1,05	0,08
Decomposição acima do solo por térmitas	14,60	0,02						
Outra decomposição acima do solo	357,08							
Decomposição debaixo do solo	321,55							
<i>Biomassa da floresta secundária</i>								
Queimada (b)	52,06	0,17	4,03	0,010	0,06	0,11	0,25	0,04
Decomposição acima do solo por térmitas	0,98	0,001						
Outra decomposição acima do solo	21,29							
Decomposição debaixo do solo	23,60							
Térmitas na floresta secundária		0,003						
<i>Biomassa da floresta secundária pré-1970</i>								
Queimada inicial	5,34	0,017	0,419	0,001	0,013	0,012	0,069	0,004
Requeimadas	0,85	0,004	0,135	0,0002	0,007	0,002	0,014	0,001
Decomposição acima do solo por térmitas	0,21	0,0002						
Outra decomposição acima do solo	5,21							
Decomposição debaixo do solo	3,03							
Térmitas na floresta secundária pré-1970		0,0035						
<i>Queimada de pastagens</i>								
		0,07	1,69	0,004	0,12	0,05	0,08	0,02
<i>Represas hidrelétricas</i>								
Biomassa florestal	35,75	0,12						
Água		0,11						
Macrófitas		0,04						

- continua -

- continuação -

Tabela 4. Balanço anual em 1990 de emissão líquida por fonte na área originalmente florestada da Amazônia Legal (a): cenário de gases-traço baixo

Fonte	Emissões (milhões de toneladas de gás)						Sumidouro (milhões t de carbono)	
	CO ₂	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x	NMHC	carbono carvão vegetal	carbono grafitico
<i>Outras fontes</i>								
Gado		0,31						
Solo sob pastagens				0,07				
Perda de fontes e sumidouros de floresta intacta		0,02			-4,24	-0,46		
Perda de térmitas de floresta natural		-0,03						
Carbono do solo (8m superiores)	56,65							
<i>Emissões Totais</i>								
	1233,4	2,04	37,37	0,16	-2,87	0,45	4,98	0,34
<i>Absorção</i>								
	-28,98							
<i>Emissões líquidas</i>								
	1204,12	2,04	37,37	0,16	-2,87	0,45	4,98	0,34

(a) Desmatamento na área originalmente florestada em 1990 era 1.381.800 ha.

(b) A queimada de floresta secundária inclui tanto a inicial quanto as queimadas subsequentes para floresta secundária derivada de ambos agricultura e pastagem, e para pastagens degradadas que estão cortadas e recuperadas.

(c) O CO₂ das queimadas para manutenção de pastagens não é contado, já que isto é re-assimilado anualmente com o recrescimento das pastagens, fazendo com que o fluxo líquido seja igual a zero. O fluxo bruto em 1990 desta fonte é calculado em 22 milhões de toneladas de gás de CO₂.

Tabela 5. Balanço anual em 1990 de emissão líquida por fonte na área originalmente florestada da Amazônia Legal (a): cenário de gases-traço alto

Fonte	Emissões (milhões de toneladas de gás)						Sumidouro (milhões t de carbono)	
	CO ₂	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x	NMHC	carbono carvão vegetal	carbono gráfico
<i>Biomassa da floresta original</i>								
Queimada inicial	269,97	1,05	26,13	0,05	0,66	1,10	3,52	0,24
Requeimadas	64,95	0,51	12,99	0,1	0,51	0,31	1,05	0,12
Decomposição acima do solo por térmitas	16,02	0,02						
Outra decomposição acima do solo	357,09							
Decomposição debaixo do solo	321,53							
<i>Biomassa da floresta secundária</i>								
Queimada (b)	40,24	0,16	3,89	0,008	0,04	0,16	0,23	0,04
Decomposição acima do solo por térmitas	0,93	0,0007						
Outra decomposição acima do solo	20,25							
Decomposição debaixo do solo	22,49							
Térmitas na floresta secundária		0,003						
<i>Biomassa da floresta secundária pré-1970</i>								
Queimada inicial	5,34	0,021	0,516	0,001	0,013	0,022	0,069	0,005
Requeimadas	0,85	0,007	0,170	0,001	0,007	0,004	0,014	0,002
Decomposição acima do solo por térmitas	0,23	0,0002						
Outra decomposição acima do solo	5,31							
Decomposição debaixo do solo	3,03							
Térmitas na floresta secundária pré-1970		0,0027						
<i>Queimada de pastagens</i>								
	(c)	0,08	2,02	0,004	0,11	0,08	0,08	0,02
<i>Represas hidrelétricas</i>								
Biomassa florestal	35,75	0,12						
Água		0,11						
Macrófitas		0,04						

- continua -

- continuação -

Tabela 5. Balanço anual em 1990 de emissão líquida por fonte na área originalmente florestada da Amazônia Legal (a): cenário de gases-traço alto

Fonte	Emissões (milhões de toneladas de gás)						Sumidouro (milhões t de carbono)	
	CO ₂	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x	NMHC	carbono carvão vegetal	carbono gráfico
<i>Outras fontes</i>								
Gado		0,29						
Solo sob pastagens				0,07				
Perda de fontes e sumidouros de floresta intacta		0,02			-4,06	-0,44		
Perda de térmitas de floresta natural		-0,03						
Carbono do solo (8m superiores)	54,43							
<i>Emissões Totais</i>								
	1218,37	2,39	45,72	0,25	-2,71	1,23	4,96	0,42
<i>Absorção</i>								
	-28,98							
<i>Emissões líquidas</i>								
	1189,39	2,39	45,72	0,25	-2,31	1,23	4,96	0,42

(a) Desmatamento na área originalmente florestada em 1990 era 1.381.800 ha.

(b) A queimada de floresta secundária inclui tanto a inicial quanto as queimadas subseqüentes para floresta secundária derivada de ambos agricultura e pastagem, e para pastagens degradadas que estão cortadas e recuperadas.

(c) O CO₂ das queimadas para manutenção de pastagens não é contado, já que isto é re-assimilado anualmente com o recrescimento das pastagens, fazendo com que o fluxo líquido seja igual a zero. O fluxo bruto em 1990 desta fonte é calculado em 22 milhões de toneladas de gás de CO₂.

Tabela 6. Comparação de métodos para calcular o impacto sobre o efeito estufa do desmatamento feito em 1990 em áreas originalmente florestadas na Amazônia brasileira em milhões de toneladas de carbono equivalente a carbono de CO₂

Gases incluídos	Emissões líquidas comprometidas (apenas desmatamento)	Balanço anual		
		Apenas desmatamento	Exploração madeireira	Desmatamento + exploração madeireira
<i>Cenário de gases-traço baixo</i>				
CO ₂ apenas	255	328	61	390
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	267	353	62	415
<i>Cenário de gases-traço alto</i>				
CO ₂ apenas	255	324	61	386
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	278	359	63	422

Carlão Lima / Agência Estado



A escultura *Árvore da vida*, com nove metros de altura e três mil folhas de lata, foi atração do *Fórum Global*, organizado no Aterro do Flamengo por ONGs brasileiras e internacionais durante a *Rio-92*. O artista inglês Peter Avery, autor da obra, disse na ocasião que as folhas representam mensagens em defesa do meio ambiente enviadas por crianças de várias partes do mundo para o encontro no Rio.

Os incêndios florestais representam uma grande fonte adicional de emissões de gases de efeito estufa, não considerada nos cálculos de emissões por desmatamento. No “Grande Incêndio de Roraima” durante o evento El Niño de 1997 e 1998, 38.144 e 40.678 km², respectivamente, queimaram totalmente, sendo 11.394 e 13.928 km² de florestas primárias (intactas, em pé) e o restante de savanas (22.583 km²), campinas/campinaranas (1.388 km²) e ambientes florestais já transformados como pastagens, área agrícolas e florestas secundárias (2.780 km²) (Barbosa & Fearnside, 1999). O total de carbono afetado pelos incêndios foi de 46,02 x 10⁶ t, sendo 19,13 x 10⁶ t liberados por combustão, 26,36 x 10⁶ t seguiram para a classe de decomposição e 0,52 x 10⁶ t foram depositados nos sistemas na forma de carvão (estoque de longo prazo). A emissão bruta de gases do efeito estufa em milhões de toneladas do gás, considerando-se apenas os emitidos por combustão, foi de 61,51 de CO₂, 0,18-0,22 de CH₄, 4,45-5,60 de CO, 0,001-0,003 de N₂O, 0,06-0,09 de NO_x e 0,69 de NMHC. O total de carbono equivalente a CO₂ emitido por combustão, quando considerado o potencial de aquecimento global de cada gás em um horizonte de tempo de 100 anos utilizado pelo IPCC, foi de 17,9-18,3 10⁶ t de toneladas, das quais 67% eram de floresta primária impactada pelo fogo, ou 12-12,3 x 10⁶ t de C equivalente a CO₂ (Barbosa & Fearnside, 1999).

Uma das fonte de emissões em áreas desmatadas é a queimada das pastagens que predominam nas paisagens derivadas de florestas cortadas na Amazônia brasileira. O CO₂ oriundo da queima da biomassa de capim e de ervas daninhas ou de crescimento secundário jovem (“juquira”) nessas pastagens não representa uma contribuição líquida ao efeito estufa, já que a mesma quantidade de carbono seria removida da atmosfera no ano seguinte com o recrescimento do capim. Aproximadamente 21-22 x 10⁶ t CO₂ (5,7-6 x 10⁶ t C) oscila anualmente entre a biomassa nas pastagens e a atmosfera na Amazônia brasileira (tabelas 4 e 5). Os gases-traço liberados na queimada das pastagens não entram no processo de fotossíntese e, portanto, se acumulam na atmosfera. Estas emissões têm sido estimadas considerando-se o destino de biomassa em pastagens em Roraima (Barbosa & Fearnside, 1996), e estão estimadas para a Amazônia Legal em 1990 nas tabelas 4 e 5.

As queimadas de florestas secundárias (capoeiras) contribuem com gases-traço, da mesma forma que a queima das pastagens (tabelas 4 e 5). Para o efeito sobre CO₂, diferente das pastagens, deve-se calcular explicitamente os fluxos brutos, com estimativas da emissão e da absorção por recrescimento. Um total de 29 x 10⁶ t CO₂ gas (7,9 x 10⁶ t C) foi reabsorvido pelas capoeiras em 1990 (tabelas 4 e 5). Estima-se que, sem considerar as florestas secundárias pré-1970, a biomassa de capoeira exposta a fogo em 1990 liberou 40-52 x 10⁶ t CO₂ (11-14,2 x 10⁶ t C) por combustão, e a decomposição de biomassa não-queimada de capoeira liberou 44-46 x 10⁶ t CO₂ (12-12,5 x 10⁶ t C). Dessa forma, uma emissão líquida de 76- 90 x 10⁶ t CO₂ (20,7-24,5 x 10⁶ t C) (tabelas 4 e 5) significando tratar-se de áreas que originalmente eram floresta.

Planos para a construção de infra-estrutura implicam aumentos substanciais nas taxas de desmatamento e na degradação de florestas em pé. Estudos realizados por Nepstad *et al.* (2000) e Carvalho *et al.* (2001) estimaram que a infra-estrutura rodoviária planejada sob o programa Avança Brasil provocaria 120.000-270.000 km² de desmatamento adicional ao longo de 20-30 anos (400.000-1.350.000 ha/ano), que libertaria 6-11 x 10⁹ t C apenas pelo desmatamento (200-550 x 10⁶ t C/ano). Em uma projeção mais conservadora, Laurance *et al.* (2001a, b) estimaram que as obras anunciadas levariam, ao longo do período 2000-2020, de 269.000 a 506.000 ha/ano de desmatamento adicional como resultado de infra-estrutura planejada, mais a conversão de 1,53-2,37 milhões de ha/ano de florestas das duas categorias menos degradadas (primitiva ou ligeiramente degradada) para as duas categorias mais degradadas (moderadamente ou pesadamente degradada). O desmatamento por si só resultaria em um aumento de emissões de carbono de 52,2-98,2 milhões de t C/ano.

Conclusões

Em 1990 – o ano base dos inventários nacionais sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima – mudanças de uso da terra nos 5 x 10⁶ km² da Amazônia Legal incluíram 13,8 x 10³ km² de desmatamento, aproximadamente 5 x 10³ km² de corte de cerrado, que originalmente ocupou aproximadamente 20% da Amazônia Legal, 7 x 10² km² em florestas secundárias “velhas” (pré-1970) e 19 x 10³ km² em florestas secundárias “jovens” (1970+); queimada de 40 x 10³ km² de pastagens produtivas (33% da área presente), e recrescimento em 121 x 10³ km² de florestas secundárias “jovens”. Nenhuma nova represa hidrelétrica foi criada em 1990, mas a decomposição continuou nos 4,8 x 10³ km² de reservatórios já existentes. A exploração madeireira de 24,6 x 10⁶ m³ de toras foi presumida à taxa oficial para 1988.

A biomassa total média sem exploração madeireira para florestas originais na Amazônia brasileira é calculada em 463 toneladas por hectare (t ha⁻¹), inclusive componentes mortos e debaixo do solo. Ajustes para a distribuição espacial do desmatamento e para a exploração madeireira indicam uma biomassa total média desmatada em 1990 de 406 t ha⁻¹ em áreas de florestas originais, 309 t ha⁻¹ das quais estão acima do solo (expostas à queimada inicial). Além de emissões da queimada inicial, os remanescentes de desmatamentos em anos anteriores emitiram gases por decomposição e por combustão em requeimadas. Desmatamento mais rápido nos anos que precederam 1990 faz com que as emissões herdadas sejam maiores do que teriam sido caso a taxa de desmatamento fosse constante em nível em 1990.

Emissão líquida comprometida calculada pelas quantias líquidas de gases de efeito estufa que serão emitidos a longo prazo (como resultado do desmatamento feito em um determinado ano) de desmatamento (não incluindo

emissões da exploração madeireira ou da corte de cerrado) totalizaram 934×10^6 t de CO_2 , $1,3\text{-}1,5 \times 10^6$ t de CH_4 , $30\text{-}37 \times 10^6$ t de CO, e $0,07\text{-}0,18 \times 10^6$ t de N_2O . Estas emissões são equivalentes a $267\text{-}278 \times 10^6$ t de carbono equivalente a carbono de CO_2 , usando os GWPs de 100 anos do SAR da IPCC. Emissões de CO_2 incluem 270×10^6 t de gás da queimada inicial, 628×10^6 t de decomposição, 57×10^6 t de queimadas subseqüentes de biomassa da floresta primária e 43×10^6 t C de carbono do solo nos 8m superiores. A longo prazo, a paisagem de substituição chega a armazenar 65×10^6 C, ou 6,5% da emissão total. As faixas de variação de emissões acima mencionadas referem-se aos cenários de gases-traço baixo e alto, refletindo a gama de fatores de emissão que aparecem na literatura para diferentes processos de queima e de decomposição. Estes cenários não refletem a incerteza nos valores sobre taxa de desmatamento, biomassa de floresta, intensidade de exploração madeireira entre outros fatores no cálculo. Algum carbono entra em sumidouros pela conversão para carvão (5×10^6 t C) e para carbono de particulados gráfiticos ($0,42 \times 10^6$ t C).

O balanço anual de emissões líquidas em 1990 (fluxos líquidos em um único ano na região como um todo) incluiu $1.189\text{-}1.204 \times 10^6$ t de CO_2 , $2,1\text{-}2,4 \times 10^6$ t de CH_4 , $37,4\text{-}45,7 \times 10^6$ t de CO, e $0,16\text{-}0,25 \times 10^6$ t de N_2O . Emissões de CO_2 incluem 270×10^6 t de gás da queimada inicial, $693\text{-}695 \times 10^6$ t de decomposição, $65\text{-}66 \times 10^6$ t de queimadas subseqüentes de biomassa de floresta primária e $46\text{-}58 \times 10^6$ t de queimada de biomassa de floresta secundária de todas as idades, $54\text{-}57 \times 10^6$ t CO_2 de liberações líquidas de carbono do solo até 8m de profundidade (primeiros 15 anos apenas), 224×10^6 t de exploração madeireira e 36×10^6 t de reservatórios hidrelétricos. O recrescimento de floresta secundária em 1990 absorveu 29×10^6 t de gás de CO_2 (apenas 2,4% da emissão total, excluindo hidrelétricas e emissões de pastagens). Pastagens liberam por meio da queimada (e assimilam por meio do crescimento) $21\text{-}22 \times 10^6$ t de gás de CO_2 , não considerados nos cálculos. O efeito de desmatamento no balanço anual é uma emissão líquida equivalente a $353\text{-}359 \times 10^6$ t de carbono equivalente a carbono de CO_2 , enquanto a exploração madeireira acrescenta 62×10^6 t de carbono equivalente ao carbono de CO_2 .

A emissão líquida comprometida e o balanço anual de emissões líquidas de mudança do uso da terra na Amazônia brasileira em 1990 eram dominados pelo desmatamento. Devido às taxas de desmatamento terem diminuído nos três anos que precederam 1990, o balanço anual de desmatamento (i.e., excluindo a exploração madeireira) é mais alto que as emissão líquida comprometida.

Estes resultados indicam que o desmatamento na Amazônia brasileira traz uma contribuição significativa ao efeito estufa, e indicam a alta prioridade que deveria ser dada à melhoria das estimativas destas emissões e das incertezas nelas contidas. Mudanças no manejo na paisagem desmatada só podem contribuir para uma fração pequena deste impacto. Portanto, as medidas que teriam maior

potencial para reduzir a emissão líquida de gases de efeito estufa da Amazônia seriam mudanças nas políticas a fim de que fossem reduzidas as taxas de desmatamento.

Referências bibliográficas

- ARAÚJO, T.M.; CARVALHO JR., J.A.; HIGUCHI, N.; BRASIL JR., A.C.P. & MESQUITA, A.L.A. Estimativa de taxas de liberação de carbono em experimento de queimada no Estado do Pará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 69, p. 575-585, 1997.
- BARBOSA, R.I. & FEARNSTIDE, P.M. Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of aboveground carbon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, v. 101 (D20), p. 25.847-25.857, 1996.
- _____. Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento “El Niño” (1997/98). *Acta Amazonica*, v. 29, n. 4, p. 513-534, 1999.
- BORGES, L. Desmatamento emite só 1,4% de carbono, diz Inpe. *O Estado de S. Paulo*, 10 abr. 1992, p. 13.
- BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. *Levantamento de Recursos Naturais*, v. 1-23. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 1973-1983.
- BROWN, S. & LUGO, A.E. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology*, v. 6, p. 1-32, 1990.
- CARVALHO JR., J.A.; SANTOS, J.M.; SANTOS, J.C.; LEITÃO, M.M. & HIGUCHI, N. A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the Manaus region, *Atmospheric Environment*, v. 29, n. 17, p. 2301-2309, 1995.
- CARVALHO, G.; BARROS, A.C.; MOUTINHO, P. & NEPSTAD, D. Sensitive development could protect Amazonia instead of destroying it. *Nature*, v. 409, p. 131, 2001.
- DOS SANTOS, J.R. Estimativa da biomassa foliar das savanas brasileiras: uma abordagem por sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO LATINAMERICANO EN PERCEPCIÓN REMOTA, 4; REUNIÓN PLENARIA SELPER, 10. Bariloche, Argentina, t. 1. SELPER, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (SP), 19-24 de novembro de 1989.
- FEARNSTIDE, P.M. Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia. In: J.S. Levine (ed.), *Global biomass burning: atmospheric, climatic, and biospheric implications*. Boston, Massachusetts, E.U.A., MIT Press, 1991, p. 92-105.
- FEARNSTIDE, P.M. *Greenhouse gas emissions from deforestation in the Brazilian Amazon. Carbon emissions and sequestration in forests: case studies from developing countries*, v. 2. LBL-32758, UC-402. Washington, DC, Climate Change Division, Environmental

- Protection Agency & Berkeley, California, Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), University of California (UC), EUA, 1992, 73 p.
- FEARNSIDE, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: the effect of population and land tenure. *Ambio*, n. 22, p. 537-545, 1993.
- _____. Biomassa das florestas Amazônicas brasileiras. SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂, *Anais*, p. 95-124 Rio de Janeiro, Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), 1994.
- _____. Global warming response options in Brazil's forest sector: comparison of project-level costs and benefits. *Biomass and Bioenergy*, v. 8, p. 309-322, .1995a.
- _____. Amazonia and global warming. Annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. p. 606-617 In: J. Levine (ed.), *Biomass Burning and Global Change*, v. 2, Biomass Burning in South America, Southeast Asia and Temperate and Boreal Ecosystems and the Oil Fires of Kuwait. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1996a, p. 606-617
- _____. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*. v. 80, p. 21-34, 1996b.
- _____. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change*, v. 35, p. 321-360, 1997a.
- _____. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v. 90, p. 59-89, 1997b.
- _____. Monitoring needs to transform Amazonian forest maintenance into a global warming mitigation option. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 2, p. 285-302, 1997c.
- _____. Greenhouse gas emissions from land use change in Brazil's Amazon region, p. 231-249. In: R. Lal, J.M. Kimble & B.A. Stewart (eds.). *Global climate change and tropical ecosystems*. Florida, Advances in Soil Science. CRC Press, Boca Raton, 2000. 438 p.
- _____. Emissões de gases de efeito estufa oriundas da mudança do uso da terra na Amazônia brasileira. In: REUNIÃO ESPECIAL DA SBPC: AMAZÔNIA NO BRASIL E NO MUNDO, 7. Manaus, Amazonas, 25-27 de abril de 2001. SBPC, São Paulo.(CD-ROM: ISBN 85-86957-03-8). (<http://www.sbpcnet.br/>).
- FEARNSIDE, P.M. & BARBOSA, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v. 108, p. 147-166, 1998.
- FEARNSIDE, P.M. & W.M. GUIMARÃES. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*. v. 80: 35-46, 1996.
- FEARNSIDE, P.M.; LEAL FILHO, N. & FERNANDES, F.M. Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation

- in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, v. 98 (D9), p. 16733-16743, 1993.
- FEARNSIDE, P.M.; GRAÇA, P.M.L.A.; LEAL FILHO, N.; RODRIGUES, F.J.A. & ROBINSON, J.M. Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurements of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *Forest Ecology and Management*, v. 123, n. 1, p. 65-79, 1999.
- FEARNSIDE, P.M.; GRAÇA, P.M.L.A. & RODRIGUES, F.J.A. Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. *Forest Ecology and Management* (no prelo).
- FEARNSIDE, P.M.; BARBOSA R.I. & GRAÇA, P.M.L.A. Burning of secondary forest in Amazonia: biomass, burning efficiency and charcoal formation during land preparation for agriculture in Apiaú, Roraima, Brazil (em preparação).
- GLERUM, B.B. Report to the government of Brazil on a Forestry Inventory in the Amazon Valley (part 5) (Region between Rio Caete and Rio Maracassume). Roma, Itália, *FAO Report n. 1250, Project No. BRA/FO, Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1960. 67 p.
- GRAÇA, P.M.L.A. *Conteúdo de carbono na biomassa florestal da Amazônia e alterações após à queima*. Piracicaba, São Paulo, 1997. Dissertação (mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 105 p.
- GRAÇA, P.M.L.A.; FEARNSIDE, P.M. & CERRI, C.C. Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: biomass, charcoal formation and burning efficiency. *Forest Ecology and Management*, v. 120, n. 1-3, p. 179-191, 1999.
- GUIMARÃES, W.M. Liberação de carbono e mudanças nos estoques dos nutrientes contidos na biomassa aérea e no solo resultante de queimadas de florestas secundárias em áreas de pastagens abandonadas, em Altamira, Pará. Manaus, Amazonas, 1993. Tese (doutoramento). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazônia (INPA/FUA. 69 p.)
- HEINSDIJK, D. Report to the government of Brazil on a Forest Inventory in the Amazon Valley (Region between Rio Tapajós and Rio Xingu). Roma, Itália, *FAO Report n. 601, Project No. BRA/FO, Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1957. 135 p.
- _____. Report to the government of Brazil on a Forest Inventory in the Amazon Valley (part 3) (Region between Rio Tapajós and Rio Madeira). Roma, Itália, *FAO Report n. 969, Project No. BRA/FO, Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1958a. 83 p.
- _____. Report to the government of Brazil on a Forest Inventory in the Amazon Valley (part 4) (Region between Rio Tocantins and Rios Guamá and Capim). Roma, Itália, *FAO Report n. 992, Project No. BRA/FO, Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1958b. 72 p.
- HEINSDIJK, D. Report to the government of Brazil on a Forestry Inventory in the Amazon Valley (part 2) (Region between Rio Xingu and Rio Tocantins). Roma,

- Itália, *FAO Report n. 949, Project No. BRA/FO, Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), 1958c. 94 p.
- ISTOÉ. A versão do Brasil. São Paulo, 15 out. 1997, 98 p.
- KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D.L.; WARD, D.E. & BABBITT, R. Fire in the Brazilian Amazon. 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. *Oecologia* 104, p. 397-408, 1995.
- KUHLBUSCH, T.A.J. & CRUTZEN, P.J. A global estimate of black carbon in residues of vegetation fires representing a sink of atmospheric CO₂ and a source of O₂. *Global Biogeochemical Cycles*. v. 9, p. 491-501, 1995.
- LAURANCE, W.F.; OCHRANE, M.A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P.M.; DELAMÔNICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S. & FERNANDES, T. The future of the Brazilian Amazon. *Science*, v. 291, p. 438-439, 2001a.
- _____. The Future of the Brazilian Amazon: Supplementary Material. *Science Online* (<http://sciencemag.org/cgi/content/full/291/5503/438/DC1>). 2001b.
- LUGO, A.E. & BROWN, S. Tropical lands: popular misconceptions. *Mazingira*. v. 5, p. 10-19, 1981.
- _____. Conversion of tropical moist forests: A critique. *Interciencia*. v. 7, p. 89-93, 1982.
- MARTIUS, C., P.M. FEARNSIDE, A.G. BANDEIRA, & R. WASSMANN. Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere*. v. 33: 517-536, 1996.
- MORAN, E.F., E. BRONDIZIO, P. MAUSEL & Y. WO. Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. *BioScience*. v. 44: 329-338, 1994.
- NEPSTAD, D.; CAPOBIANCO, J.P.; BARROS, A.C.; CARVALHO, G.; MOUTINHO, P.; LOPES U. & LEFEBVRE, P. Avança Brasil: os custos ambientais para Amazônia. Belém, Pará, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM). 24 p. (disponível em <http://www.ipam.org.br/avanca/politicas.htm>). 2000.
- REVILLA CARDENAS, J.D.; KAHN, F.L. & GUILLAUMET, J.L. Estimativa da fitomassa do Reservatório da UHE de Tucuruí. p. 1-11 In: Brasil, Presidência da República, Ministério das Minas e Energia, Centrais Elétricas do Norte S.A. (ELETRONORTE) & Brasil, Secretaria do Planejamento, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (SEPLAN-CNPq-INPA), Projeto Tucuruí. Manaus, Amazonas, *Relatório Semestral Jan./Jun. 1982*, v. 2: Limnologia, Macrófitas, Fitomassa, Degradação de Fitomassa, Doenças Endêmicas, Solos, 1982. 32 p.
- SHINE, K.P.; DERWENT, R.G.; WUEBBLES, D.J. & MORCRETTE, J.-J. Radiative forcing of climate. p. 41-68 In: J.T. Houghton, G.J. Jenkins & J.J. Ephraums (eds.), *Climate change: the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 1990. 365 p.
- SILVEIRA, V. Amazônia polui com apenas 1,4%. *Gazeta Mercantil* [São Paulo] 29 maio 1992, p. 2 & 6.

SKOLE, D.L., CHOMENTOWSKI, W.H.; SALAS, W.A. & NOBRE, A.D. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience*. v. 44, p. 314-322, 1994.

SOMBROEK, W.G. Biomass and carbon storage in the Amazon ecosystems. *Interciencia*. v. 17, p. 269-272, 1992.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R. & SERRÃO, E.A.S. Abandoned pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology*. v. 76, p. 663-681, 1988.

Philip M. Fearnside é pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) . e-mail pmfearn@inpa.gov.br

Parte deste texto é atualizada de Fearnside (2001), uma tradução de Fearnside (2000). O autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq AI 350230/97-98) e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA PPIs 5-3150 e 1-3160) pelo apoio financeiro.