

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)

Reinaldo Imbrozio BARBOSA¹, Philip Martin FEARNside²

RESUMO — Foi estimada a área queimada, a biomassa vegetal total acima e abaixo do solo, a formação de carvão, a eficiência de queimada e a concentração de carbono de diferentes paisagens naturais e agroecossistemas que foram atingidos pelos incêndios ocorridos durante a passagem do "El Niño" em 1997/98 no Estado de Roraima, extremo norte da Amazônia Brasileira. O objetivo foi o de calcular a emissão bruta de gases do efeito estufa liberados por combustão das diversas classes de biomassa que compõem cada tipo fitofisionômico atingido. A área total efetivamente queimada foi estimada entre 38.144-40.678 km², sendo 11.394-13.928 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). O total de carbono afetado pelos incêndios foi de 42,558 milhões de toneladas, sendo que 19,73 milhões foram liberados por combustão, 22,33 milhões seguiram para a classe de decomposição e 0,52 milhões 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 apenas o emitido por combustão foi de 17,3 de CO₂, 0,21-0,35 de CH₄, 1,99-3,68 de CO, 0,001-0,003 de N₂O, 0,06-0,09 de NO_x e 0,25 de hidrocarbonetos não-metânicos (HCNM). 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 6,1-7,0 milhões de toneladas.

Palavras-chave: incêndios florestais, carbono, Amazônia, Roraima, efeito estufa, El Niño, aquecimento global.

Fires in the Brazilian Amazon: Estimate of Greenhouse Gas Emissions from Burning of Ecosystems in Roraima, During the 1997-98 "El Niño" Event

ABSTRACT — The area burned, total biomass above and below-ground, charcoal formation, burning efficiency and the carbon concentration were estimated for the different natural landscapes and agricultural systems that were exposed to fire during the "El Niño" of 1997-98 in the state of Roraima, in the northernmost part of Brazilian Amazonia. The objective was to calculate the gross emissions of greenhouse gases released by combustion from the various biomass classes comprising each landscape type. The total area burned was 38,144-40,678 km², of which 11,394-13,928 km² was intact primary forest, 22,583 km² was savanna, 1,388 km² was white sand scrub formations, and 2,780 km² was pastures, secondary forest and agricultural plots. Total carbon affected by the fire was 42.58 × 10⁶ tons (t), with 19.73 × 10⁶ t being released from combustion, 22.33 × 10⁶ t from decomposition, and 0.552 × 10⁶ t converted to charcoal (long-term carbon storage) formed during the burns. Gross emissions of greenhouse gases emitted by combustion were 17.3 × 10⁶ t CO₂, 0.21-0.35 × 10⁶ t CH₄, 1.99-3.68 × 10⁶ t CO, 0.001-0.003 × 10⁶ t N₂O, 0.06-0.09 × 10⁶ t NO_x and 0.25 × 10⁶ t NMHC (non-methane hydrocarbons). The total emission in carbon equivalent to CO₂ emitted by combustion, based on the global warming potentials for each gas over the 100-yr horizon used by the IPCC, was 6.1-7.0 × 10⁶ t C.

Key- words: forest fires, carbon, Amazônia, Roraima, greenhouse effect, El Niño, global warming.

¹. INPA/CTA-Conv. INPA/GERR - Caixa Postal 96 - 69301-970 Boa Vista/Roraima-Brasil. e-mail: imbrozio@technet.com.br

². INPA/Coordenação de Pesquisas em Ecologia - Caixa Postal 478 - 69011-970 Manaus/ Amazonas-Brasil. e-mail: pmfearn@inpa.gov.br

INTRODUÇÃO

Incêndios florestais de grandes proporções em regiões com elevada umidade na Amazônia poderiam ser considerados como eventos raros, sendo que poucas pessoas teriam dado crédito a esta idéia há pouco tempo atrás (Uhl *et al.*, 1988; Kauffman, 1991; Nelson & Irmão, 1998). Entretanto, entre o final de 1997 e o início de 1998, ocorreram incêndios que penetraram não só em florestas primárias como também em outros diferentes tipos de ecossistemas do Estado de Roraima, situado no extremo norte da Amazônia Brasileira (Barbosa, 1998a;b;c; IBAMA, 1998; INPE, 1998; 1999a; Shulze, 1998). Fogos em eco-regiões como savanas e sistemas florestais transformados (capoeiras, pastagens e desmatamentos), que tradicionalmente queimam neste período, se alastraram por milhares de quilômetros quadrados e atingiram uma grande área de floresta primária (intacta, em pé), provocando a morte de árvores e a emissão de milhões de toneladas de gases do efeito estufa para a atmosfera. A enorme proporção do fogo foi creditada, principalmente, à estiagem provocada pelo forte fenômeno "El Niño" do biênio 1997/98. Entretanto, o grande fogo ocorrido em Roraima não deve ser visto como um evento ocasionado exclusivamente por este efeito climático. Mais do que isto, ele deve ser visto como uma série de fatores que agiram simultaneamente onde, o "El Niño", foi um maximizador de agentes pré-existentes que

ocasionaram a queima de grandes áreas de florestas em Roraima. Na verdade, a probabilidade deste risco ocorrer ao longo do tempo pode ser esperada a aumentar devido a pressão de assentamentos humanos em áreas de floresta por toda a Amazônia, amplificados pelo incremento nas atividades de exploração florestal, agricultura de corte e queima e conversão de florestas primárias em pastagens, todos incrementando a vulnerabilidade das florestas adjacentes (Kauffman *et al.*, 1988; Negreiros *et al.*, 1996; Cochrane, 1999; Nepstad *et al.*, 1999a;b).

Devido ao recente interesse e as poucas oportunidades de observações em grandes áreas contínuas, são raros os estudos que tentam avaliar os riscos de susceptibilidade de incêndios na Amazônia provocados por algum tipo de desequilíbrio climático e/ou antrópico. Pelo mesmo motivo, não existem investigações que se reportem a liberação de gases do efeito estufa provocados por incêndios desta natureza. Com o crescimento das atividades humanas na Amazônia, há necessidade de se aumentar o volume de informações sobre os impactos climáticos futuros que este tipo de evento pode acarretar ao nível regional e global. Pensando nisto, nós objetivamos calcular a emissão de gases do efeito estufa, provocada pelos incêndios de Roraima em diferentes tipos de sistemas naturais e agroecossistemas que sofreram a ação do fogo entre 1997 e 1998. Para fazer os cálculos nós estimamos os

seguintes parâmetros: (a) a área de cada sistema natural e agroecossistema atingido, (b) a biomassa vegetal total (acima e abaixo do solo) por unidade de área, (c) a mortalidade arbórea devido ao fogo, (d) a formação de carvão nos sistemas atingidos, (e) a eficiência de queimada para as diferentes classes vegetais que compõe cada sistema e (f) a concentração de carbono em cada uma destas classes.

Descrição Geral de Área

Roraima é um dos antigos territórios federais transformados em estado da federação pela Constituição Federal de 1988, situado no extremo norte da Amazônia brasileira. Entre 1980 e 1998, a população local triplicou, passando de 82.018 para 260.705 habitantes (IBGE, 1999). A explosão migratória deste período foi incentivada pelo próprio poder público local em três grandes fases: (a) ao final da década de 1970, com apoio do Governo Federal, dentro do Programa de Pólos da Amazônia (POLO-AMAZÔNIA), sub-programa POLO-RORAIMA, (b) ao final da década de 1980, quando da transformação do território em estado, através do “boom” mineral em terras indígenas Yanomami e (c) ao início dos anos 1990 dentro dos programas estaduais de recrutamento de migrantes em outras regiões do país com problemas fundiários (Barbosa, 1993). O crescimento populacional provocou um aumento de 55,6 vezes na área total de florestas desmatadas, passando de 100 km² em 1978 para 5.560 km²

em 1997 (INPE, 1999b).

A vegetação natural de Roraima é um mosaico de paisagens que vão de savanas (nordeste) a florestas (sul e oeste), passando por diferentes tipos de sistemas oligotróficos como campinas e campinaranas no centro-sul do Estado (Silva, 1997). A precipitação pluviométrica anual é variável e pode se estabelecer em um gradiente que vai de 1.000mm (extremo nordeste das savanas) até 2.300 mm (regiões sul e extremo oeste) (Barbosa, 1997). A localidade com maior volume de dados climáticos é a da capital Boa Vista. Sua média anual de precipitação é de 1.614 mm (1910 a 1995). Entre setembro de 1997 e março de 1998, a precipitação foi de apenas 30,6 mm nesta região, quando o esperado pela média histórica do mesmo período seria de 352 mm (DEFARA/INMET, 1999). A umidade relativa do ar (%) ficou abaixo dos 60% entre fevereiro e março de 1998 (MAA/INMET, 1998).

Área dos Sistemas Naturais e Agroecossistemas Atingidos

Área Original

Para determinar a área total atingida pelo fogo, dimensionamos a área original de todas as fitofisionomias originais existentes em Roraima. Utilizamos como base uma digitalização do Mapa de Vegetação da Amazônia na escala de 1:2.500.000 (SUDAM/IBGE, 1989), porque esta base usa a classificação tipológica padrão da vegetação brasileira descrita

em IBGE (1992). Após a determinação macroespacial dos tipos que fazem parte do cenário regional, todo o conjunto foi escaneado e codificado por cores para facilitar a medida de área original. Baseado em observações de campo e no Mosaico de Imagens de Satélite LANDSAT TM (1:1.000.000) (SENAGRO/ITERAIMA, 1996), realizamos ajustes e modificações no mapa digitalizado, devido a algumas incorreções existentes, como por exemplo campinas denominadas como savanas ou florestas densas definidas como contatos. Com auxílio do IDRISI (Eastman, 1995), um programa de computador que analisa dados de informação geográfica para classificação espacial (no caso, tons de cores), estimamos o número de "pixels" de cada tipo de vegetação e, proporcionalizamos a área de cada feição vegetal, considerando a área total de Roraima como 225.116,1 km².

Para estimar a área líquida presente em 1997/98 por tipologia original, foi necessário fazer dois tipos de descontos nas áreas calculadas: (a) das áreas antropizadas (rurais e urbanas) e (b) dos cursos d'água (principais rios). As áreas rurais foram quantificadas em função dos resultados alcançados pelo INPE (1999b) para áreas desmatadas até 1997 e, atualizadas até 1998 pela média da área anual de desmatamentos ocorridos entre 1992/97. A distribuição das áreas desmatadas em pastagens, agricultura e capoeiras (florestas secundárias) até 1997/98, foi proporcionalizada em função de uma

composição média de quatro resultados: (a) censo agropecuário de 1985 (IBGE, 1985), (b) censo agropecuário de 1995/96 (IBGE, 1995-96), (c) Fearnside (1996) para as três paisagens equilibradas no ano de 1990 e (d) o resumo dos diagnósticos dos assentamentos do INCRA em Roraima de 1998/99 (Luz, 1999). As áreas determinadas para as três categorias antropizadas foram subtraídas de cada eco-região-florestal a que pertenciam, proporcionalmente ao número de quilômetros lineares de estradas/vicinas existentes em cada sistema, assumindo uma relação direta entre estradas e áreas desmatadas. As áreas antropizadas urbanas foram computadas através da extrapolação do número de "pixels" médios contidos em cada sede municipal. Do mesmo modo que as rurais, foram descontadas de cada tipo paisagístico onde a cidade se encontra. Para estimar a área dos principais cursos d'água, utilizamos o mesmo procedimento para o cálculo das unidades tipológicas.

Área Queimada

Para o cálculo da área atingida pelo fogo por tipologia florestal e oligotrófica, digitalizamos as coordenadas geográficas obtidas em 16,5 horas de sobrevôos por Barbosa (1998b) no Sistema de Informação Geográfica (SGI/INPE, versão 7.0) utilizado pela Secretaria Executiva do Zoneamento Ecológico-Econômico de Roraima (ZEE/RR). Estes pontos geográficos sofreram adições e

correções em seus limites originais em função dos ajustes de campo e dos relatórios parciais apresentados pelo INPE (1998; 1999a) quando da análise de imagens dos satélites LANDSAT TM e DMSP. Feito isto, se estabeleceram três blocos de queima distribuídos ao longo da orla florestal que envolve a região de savanas de Roraima. Estes blocos de queima representavam as grandes divisões regionais onde o fogo estava presente: (a) Bloco 1: setor leste, entre a margem esquerda dos rios Branco e Tacutu (Cantá - RR 170 - Rio Anauá), (b) Bloco 2: setor oeste; entre a margem direita dos rios Branco e Uraricoera (Caracarái - Rio Uraricoera) e (c) Bloco 3: setor norte; entre a margem esquerda do rio Uraricoera e a direita do rio Tacutu (Ilha de Maracá - Pacaraima). Além disto, eles foram subdivididos em zonas de intensidade de queima florestal para indicar as diferenças existentes em cada uma destas subdivisões e, o tratamento diferenciado que cada uma delas deveria sofrer: (a) alta intensidade: mais de 50% das áreas florestadas atingidas, (b) média intensidade: entre 5 e 50% e (c) baixa intensidade: abaixo de 5%, mas com algumas alternâncias.

Os blocos de queima foram dispostos sobre a base fitofisionômica montada a partir do mapa da SUDAM/IBGE (1989) para estimar a área atingida pelo fogo por cada tipo florestal e oligotrófico (campinas e campinaranas). A área atingida representava a área total onde o fogo

estava presente (Fig 1). Entretanto, para os sistemas florestais, foi necessário realizar descontos (antropismos, cursos d'água, outras paisagens não-queimadas, etc.) para evitar sobreposições e/ou contabilização de ambientes que não queimaram. Além disto, a área de florestas (já descontada) também teve que sofrer um ajuste em função da intensidade de queima onde ela se encontrava. Isto foi devido ao comportamento diferenciado do fogo em cada uma das zonas de intensidade. Para isto, nós definimos um fator de queima para cada uma das áreas em função de fotografias aéreas obtidas nos sobrevôos realizados durante e após os incêndios. Embora com baixa qualidade e representando uma pequena extensão, este foi o meio encontrado para não provocar maiores distorções do que aquelas já naturalmente existentes em um estudo desta magnitude. Por esta metodologia, a área efetivamente queimada de florestas (área onde o fogo realmente provocou algum tipo de dano no sistema) foi de 11.394 km² (Tab. 1).

Pelo alto grau de incertezas devido ao fogo superficial que não provocou estresse nas copas das árvores de algumas localidades e, portanto, não foi detectado pelas fotografias aéreas e nem pelas imagens de satélite, nós adotamos um intervalo de área queimada para efeito do cálculo das emissões de gases. Este intervalo foi formado pelo valor acima calculado e, pelo uso do fator de queima observado pela equipe de

trabalho terrestre do IBAMA (1998), que registrou a porcentagem de 80,9% de área florestal com algum tipo de dano (efetivamente queimada) pelo fogo, independente da intensidade do incêndio. Logo, aplicando esta porcentagem sobre o total de área atingida, determinamos que o intervalo para área efetivamente queimada se estabeleceria entre 11.394-13.928 km² ou, entre 7,4% e 9,0% de toda a área florestada presente. A título de cálculo das emissões, usaremos o valor médio deste intervalo.

Nossa estimativa atual esta acima dos primeiros resultados alcançados por Barbosa (1998a;b) em sobrevôos nas regiões atingidas (7.800-9.200 km²) e, pelo INPE (1999) a partir de imagens de satélite LANDSAT / TM (11.730 km²). No primeiro caso, várias áreas deixaram de ser quantificadas devido à limitação da cobertura aérea e, no segundo, o limite se deu devido a qualidade das imagens e a impossibilidade de detecção de fogos superficiais, sem estressamento da cobertura foliar das árvores. Entretanto, em qualquer das estimativas citadas, os valores são sempre superiores a área total já desmatada em Roraima até 1997 (5.560 km²) e muito acima das estimativas anunciadas anteriormente pelo governo para o evento (3.000 km²) (Braga, 1998).

Quanto ao procedimento para determinar a proporção de área queimada de ambientes antrópicos florestais (pastagens, capoeiras e

cultivos agrícolas), realizamos quatro (4) transectos terrestres distribuídos nas zonas de impacto do fogo (descritas acima): (a) transecto 1 (médio impacto): 147 km lineares entre a região do Cantá e a Vila União (RR 170), (b) transecto 2 (baixo impacto): 76 km lineares entre as Vilas Novo Paraíso (BR 174/210), Martins Pereira, Moderna e fechando novamente com Novo Paraíso, (c) transecto 3 (médio impacto): 60 km lineares entre Mucajaí e a divisa intermunicipal de Iracema e Caracará e (d) transecto 4 (alto impacto): 64 km lineares entre a vicinal 1 do Apiaú, vicinal 9, travessão da 9, Ribeiro Campos e vicinal 7. Em cada um destes transectos nós quantificamos o número de lotes antropizados por categoria e por sua condição: "queimado" ou "não-queimado". Feito isto, estimamos a porcentagem média de área queimada por zona de impacto de fogo nestes ambientes florestais transformados. Dos 5.776 km² de áreas antrópicas presentes em Roraima até 1998 (já incluído 220 km² de novos desmatamentos), calculamos que 48,1% (2.780 km²) haviam sido efetivamente queimadas. Os maiores fatores de queima foram determinados para as regiões localizadas nas zonas de alta intensidade de fogo, para capoeiras (73,7%) e pastagens (62,7%). O menor fator foi encontrado para áreas de cultivo agrícola nas regiões de baixa intensidade (15,4%).

Para os sistemas oligotróficos, as estimativas alcançaram um total de 1.388 km² de área queimada, levando

em consideração os procedimentos adotados anteriormente. Para o cálculo da área total queimada nas savanas, o procedimento foi descrito em Barbosa (1998b) e, leva em consideração as medidas realizadas entre julho de 1997 e junho de 1998 nos transectos estabelecidos ao longo de 540,1 km lineares de estradas que cortam todas as principais fisionomias de savanas de Roraima. A área queimada desta paisagem totalizou 22.583 km². Um resumo das áreas originais e das efetivamente queimadas por tipologia vegetal é dado na Tabela 2.

Biomassa Vegetal Total Original **Biomassa Presente**

O procedimento de cálculo para a maioria das eco-regiões florestais (densas e não-densas), foi baseado no método de expansão de volume (m³/ha) em biomassa (t/ha) de Brown & Lugo (1992), ajustado pelo método de Fearnside (1992). Para Roraima, este método sofreu ajustes nas categorias "biomassa morta acima do solo" e "biomassa abaixo do solo". Para estes dois itens, foram adicionados novos estudos aos anteriormente adotados por Fearnside (1992), como por exemplo os da Ilha de Maracá (Scott *et al.*, 1992; Thompson *et al.*, 1992; Nascimento, 1994, Villela, 1995) e, descartados outros que não se enquadravam nas características de fisionomia vegetal existentes em Roraima. Os dados volumétricos (m³/ha) em escala regional foram obtidos dos volumes 8, 9, 10, 11, 14 e 18 do RADAMBRASIL (1975-1978), que

abrange toda a região (e vizinhanças) onde está localizado o Estado de Roraima. Portanto, possuindo tipos fisonômicos semelhantes. A biomassa média total (ponderada) para todas as florestas densas foi de 320 t/ha e, para as florestas não-densas foi de 279 t/ha (Tab. 3). Em ambos os casos, há uma redução de 25% e 34%, respectivamente, em relação aos valores apresentados por Fearnside (1997b) para estimativas das emissões de carbono por desmatamento em Roraima no ano de 1990.

Para os sistemas não-florestais oligotróficos (campinas e campinaranas), além dos dados de volumetria do RADAMBRASIL, também fizemos uso dos estudos existentes em eco-regiões similares na Venezuela (Bongers *et al.*, 1985; Klinge & Herrera, 1983) e de um trabalho realizado no sul de Roraima por uma equipe da Coordenação de Pesquisas em Silvicultura Tropical do INPA em 1992 (Niro Higuchi, comunicação pessoal). Os valores de biomassa total variaram de 52 t/ha a 117 t/ha para estes sistemas. As demais eco-regiões não-florestais (savanas), foram ajustadas através dos estudos de R.I.B. que estão sendo realizados desde 1994 para determinação da emissão de gases do efeito estufa pela queima de savanas na Amazônia. Para a obtenção da biomassa abaixo do solo em sistemas de savanas, utilizamos as proporções obtidas por Castro & Kauffman (1998) em cerrados do Brasil Central. No geral, a biomassa total (acima e abaixo

Tabela 2. Área original e área efetivamente queimada dos tipos fitofisionômicos (naturais e agroecossistemas) presentes em Roraima entre 1997/98.

Categoria	Código	Grupo	Sub-grupo	Classe	Área 1997/98		(% da área queimada em relação à área presente)
					Presente	Efetivamente Queimada	
Floresta Densa	Da-0	floresta ombrófila	floresta densa	aluvial	2573	0	0,0
	Db-0	floresta ombrófila	floresta densa	terras baixas	7959	0	0,0
	Dm-0	floresta ombrófila	floresta densa	montana	21457	0	0,0
	Ds-0	floresta ombrófila	floresta densa	submontana	72821	2657	3,6
	Sub-total Floresta Densa					104810	2657
Floresta Não-Densa	Ae-0	floresta ombrófila	floresta aberta	submontana	8197	4	0,0
	Fs-0	floresta sazonal	semidecídua	submontana	1286	485	37,7
	ON-0	áreas de tensão ecológica e contígio		floresta ombrófila/ floresta sazonal	17230	7010	40,7
	SN-0	áreas de tensão ecológica e contígio		savana/floresta sazonal	1975	628	31,8
	SO-0	áreas de tensão ecológica e contígio		savana/floresta ombrófila	4456	215	4,8
	LO-0	áreas de tensão ecológica e contígio		vegetação oligotrófica lenhosa de brejos e areais/floresta ombrófila	16674	394	2,4
Sub-total Floresta Não-Densa					49817	8737	17,5
Não-florestal	Ld-0	vegetação oligotrófica lenhosa de brejos e areais		arbórea densa	12256	524	4,3
	La-0	vegetação oligotrófica lenhosa de brejos e areais		arbórea aberta	134	0	0,0
	Lg-0	vegetação oligotrófica lenhosa de brejos e areais		gramíneo-lenhosa	11573	864	7,5
	Sub-total Oligotróficas					23962	1388
Rural	rn-0	refúgio ecológico	alta altitude	montana	205	32	15,5
	Sg-0	savana	cerrado	gramíneo-lenhosa	15004	7932	52,9
	Sp-0 (2)	savana	cerrado	parque	12443	7329	58,9
	Td-3 (2)	savana estépica	Campos de Roraima	arbórea densa	2313	1779	76,9
	Tp-3	savana estépica	Campos de Roraima	parque	8733	5511	63,1
	Sub-total savana					38697	22583
Antrópico (1)	Rural	pastagens			3063	1538	50,2
		capoeiras			1699	854	50,3
		cultivos agrícolas			794	169	21,2
		desmatamentos/1998			220	220	100,0
Sub-total Antrópicos					5776	2780	48,1
Cursos d'água (3)	Urbano	cidades			251	0	-
						1803	0
Área total (km²)					225116	36144	16,9

(1) Rural: considerado como troca do uso da terra apenas em áreas de floresta principalmente das tipologias Ds, ON, Fs, LO e As; Urbano: sedes municipais (distribuídas da seguinte forma: 5 para Ds; 4 para ON; 1 para LO; 1 para SN; 2 para Sg; 1 para Sp; e 1 para Tp). Desmatamento foi considerado como totalmente atingido pelo fogo.

(2) Sp representa, a título de cálculo, a soma de Sp com Sa e, Td representa, a título de cálculo, a soma de Td com Ta.

(3) Representa os principais rios de Roraima.

Tabela 3. Biomassa total estimada por tipologia vegetal (t/ha) em Roraima.

C at e g o r i a	C ó d i g o	B i o m a s s a (t / h a) (2)			
		A c i m a d o S o l o		A b a i x o V i v a	T o t a l
		V i v a	M o r t a		
F l o r e s t a D e n s a	D a - 0	2 7 5	2 1	4 7	3 4 3
	D b - 0	2 7 6	2 1	4 7	3 4 5
	D m - 0	2 3 2	1 8	4 0	2 9 0
	D e - 0	2 6 1	2 0	4 5	3 2 6
	M é d i a P o n d . F l o r e s t a D e n s a	2 5 7	2 0	4 4	3 2 0
F l o r e s t a N ã o - D e n s a	A s - 0	2 2 6	1 7	3 9	2 8 3
	F s - 0	2 2 6	1 7	3 9	2 8 3
	O N - 0	2 2 6	1 7	3 9	2 8 3
	S N - 0	1 5 8	1 2	2 7	1 9 7
	S O - 0	1 5 8	1 2	2 7	1 9 7
	L O - 0	2 3 4	3 2	4 0	3 0 6
	M é d i a P o n d . F l o r e s t a N ã o - D e n s a	2 2 0	2 2	3 8	2 7 9
N ã o - F l o r e s t a l	L d - 0	3 9 8	7 8	6 9 0	1 1 7
	L a - 0	3 3 8	5 0	2 1 3	6 0
	L g - 0	5 8	3 7	4 2 0	5 2
	M é d i a P o n d . O l i g o t r ó f i c a s	2 3 3	5 8	5 5 7	8 5
	r m - 0	2 7	0 4	1 0 0	1 3
	S g - 0	2 9	0 4	1 0 9	1 4
	S p - 0	5 4	0 5	2 0 3	2 6
	T d - 3	2 6 1	2 9	6 6 5	9 5
	T p - 3	5 2	0 4	1 3 3	1 9
	M é d i a P o n d . S a v a n a s	5 6	0 5	1 7 8	2 4
A n t r ó p i c o (1)	R u r a l				
	p a s t a g e n s (1)	1 1 2	6 5 5	1 2 2	8 9
	c a p o e i r a s	3 0 9	1 1 2 4	2 2 8	1 6 6
	c u l t i v a s a g r í c o l a s	0 4	5 9 3	9 5	6 9
	d e s m a t a m e n t o s / 1 9 9 8	0 0	2 7 1 2	4 3 2	3 1 4
	M é d i a P o n d . A n t r ó p i c o s	1 5 1	8 6 3	1 6 1	1 1 7

(1) Média de 2 pastagens na região do Apiaú/RR. Viva acima do solo é o somatório de capim com pequenas ervas e arbustos. Morta acima do solo, compreende todo e qualquer material vegetal acima do solo pertencente a massa do pasto e a massa do sítio uso florestal (troncos, por exemplo). (Barbosa & Fearnside, 1996).

(2) Metodologia para obtenção da Biomassa (Viva e Morta) Acima e Abaixo do Solo.

- Da - Método de Expansão de Volume de Brown & Lugo (1992) aliado aos fatores de ajustes de Fearnside (1992), modificados para massa morta acima e viva abaixo do solo
- Db - Método de Expansão de Volume de Brown & Lugo (1992) aliado aos fatores de ajustes de Fearnside (1992), modificados para massa morta acima e viva abaixo do solo (foram ponderados dois valores: a) planalto sedimentar Roraima (10,7%) e b) montanhosa do Paríma (69,3%).
- Dm - Método de Expansão de Volume de Brown & Lugo (1992) aliado aos fatores de ajustes de Fearnside (1992), modificados para massa morta acima e viva abaixo do solo (foram utilizados dois valores (média simples): a) baixa cadeia de montanha do Complexo Guianense e b) sup. dissec. do Complexo Guianense).
- De - Por falta de referências locais, utilizou-se o mesmo valor determinado para ON.
- As - Por falta de referências locais, utilizou-se o mesmo valor determinado para ON
- Fs - Por falta de referências locais, utilizou-se o mesmo valor determinado para ON
- ON - Método de Expansão de Volume de Brown & Lugo (1992) aliado aos fatores de ajustes de Fearnside (1992), modificados para massa morta acima e viva abaixo do solo
- SN - Método de Expansão de Volume de Brown & Lugo (1992) aliado aos fatores de ajustes de Fearnside (1992), modificados para massa morta acima e viva abaixo do solo
- SO - Por falta de referências, utilizou-se o valor determinado para SN, (foi modificado a partir dos valores obtidos para "La" (RADAM), e comparado aos resultados encontrados por Silva (1993))
- LO - Utilizado como a média de três valores para compor a biomassa viva e morta acima do solo: a) expansão de volume; b) "Bana Alta" (Tall Amazon Caatinga), na Venezuela, por Bongers et al. (1985) e c) Caatinga Amazônica, na Venezuela, por Klinge & Herrera (1983). Para a biomassa abaixo do solo, utilizou-se a média de todo o restante do grupo, para formar a porcentagem em relação à biomassa viva acima do solo.
- Ld - Por falta de referências locais, utilizou-se o valor determinado para "Bana Baixa" (Low Amazon Caatinga), na Venezuela, de Bongers et al. (1985)
- La - Obtido a partir do trabalho de Cavalcanti & Higuchi (com. pess.), no sul de Roraima na paisagem denominada como "Campina/Campinarana" Os valores de Peso Fresco dos referidos autores foram ajustados para Peso Seco, segundo metodologia de Carvalho et al. (1995) e Higuchi et al. (1997). A correção de massa de outros componentes foi feita pelas médias obtidas de "outros componentes" de Bongers et al. (1985), para "Bana".
- Lg - Por falta de referências locais, utilizou-se o valor determinado para "Bana Aberta" (Open Amazon Caatinga), na Venezuela, de Bongers et al. (1985)
- rm - Estimativa baseada no estrato rasteiro das paisagens Sg, Sp e Tp.
- Sg - Biomassa acima do solo (morta e viva) segundo Barbosa (1998) e, biomassa abaixo do solo, assumida como a média obtida dos resultados encontrados por Castro & Kaufman (1998), para "campo limpo" e "campo sujo" à 2m de profundidade, próximo de Brasília (3,78 vezes a massa viva acima do solo)
- Sp (e Sa) - Biomassa acima do solo (morta e viva) segundo Barbosa (1998) e, biomassa abaixo do solo, assumida como a média obtida dos resultados encontrados por Castro & Kaufman (1998), para "campo limpo" e "campo sujo" à 2m de profundidade, próximo de Brasília (3,78 vezes a massa viva acima do solo)
- Tp - Biomassa acima do solo (morta e viva) segundo Barbosa (1998) e, biomassa abaixo do solo, assumida como a média obtida dos resultados encontrados por Castro & Kaufman (1998), para "cerrado aberto" e "cerrado denso" a 2m de profundidade, próximo de Brasília (2,55 vezes a massa viva acima do solo)
- Td (e Td) - Assumido o valor de Fearnside (s/d) - 29 t/ha para biomassa acima do solo e, paricionando este valor (vivo e morto), pela média dos demais valores de cerrado encontrados na tabela. Para biomassa abaixo do solo, o método foi o mesmo adotado para Tp.
- Pastagem - Biomassa viva acima do solo é o resultado da média simples de duas amostragens realizadas na região do Apiaú/RR (Barbosa & Fearnside, 1996) (o valor para biomassa morta acima do solo foi considerado o mesmo do determinado para capoeira - ambos os sistemas são provenientes de desmatamento; por ser uma paisagem resultante de desmatamento, a biomassa abaixo do solo foi considerada como uma média da biomassa abaixo do solo de todos os sistemas florestais)
- Capoeira - Biomassa acima do solo é assumida como o valor determinado para "capoeira" do 6-7 anos na região do Apiaú/RR (Fearnside et al., s/d). (biomassa morta foi considerada como "remanescente da floresta original" no mesmo estudo e, biomassa abaixo do solo é a mesma relação descrita para pastagem).
- Cultivos Agrícolas - Assumido como o mesmo apresentado por Fearnside (1997a) para "farmland", (o valor para biomassa morta acima do solo foi considerado como uma média simples entre a massa morta acima do solo de pastagens e capoeiras e,
- a biomassa viva de novos desmatamentos - todos considerados ambientes transformados)
- Desmatamento do Período - Considerado como a biomassa presente no momento da derrubada. Foi determinado como uma ponderação dos valores determinados para Ds, ON, Fs, LO e As. A biomassa morta acima do solo é o conjunto deste cálculo mais o litter (fino e grosso) pré-existente.

do solo) destes sistemas variou de 13-95 t/ha dependendo da proporção de árvores presente em cada ambiente.

A estimativa da biomassa pré-existente nos sistemas antrópicos foi realizada da seguinte forma: (a) pastagens: utilizamos a média simples entre duas pastagens (7 e 9 anos de idade) estudadas na região do Apiaú, em Roraima, por Barbosa & Fearnside (1996). No resultado de biomassa viva acima do solo, consideramos o somatório da massa do capim e da massa das pequenas ervas não-lenhosas. Para a biomassa morta acima do solo, consideramos o mesmo estudo e determinamos a média de toda a massa dos resíduos florestais encontrados nas duas pastagens. Para a biomassa abaixo do solo, consideramos as proporções médias existentes nos outros sistemas transformados para determinar a porcentagem em relação à massa viva acima do solo; (b) capoeiras (florestas secundárias): utilizamos os resultados obtidos por Fearnside *et al.* (sd) em uma derrubada de capoeira com 6 anos de idade na região do Apiaú, Roraima; (c) cultivos agrícolas: estimamos como o mesmo valor determinado por Fearnside (1997a) para biomassa viva acima do solo e, admitimos o mesmo resultado proporcional (viva/morta) para biomassa morta acima do solo nas pastagens da região do Apiaú, em Roraima; (d) desmatamento 1998: consideramos como a biomassa presente no ato da derrubada (antes da queimada); este valor foi estimado

como uma ponderação (em função da área) de todos os outros tipos florestais que sofrem a ação do desmatamento em Roraima. O resultado para biomassa total nestes sistemas foi de 89 t/ha (pastagens), 166 t/ha (capoeiras), 69 t/ha (cultivos agrícolas) e 314 t/ha (áreas recentemente desmatadas).

Biomassa Arbórea Florestal Morta pela Ação do Fogo

Para o levantamento da biomassa morta nas unidades fitofisionômicas florestais realizamos investigações pós-fogo em três regiões atingidas pelos incêndios: (a) Apiaú/Ribeiro Campos, (b) Trairão/Tepequém e (c) Paredão, todos dentro da fisionomia ON (área de tensão ecológica e contato floresta ombrófila / floresta sazonal), que foi a mais atingida dos sistemas florestais. Para as espécies arbóreas acima de 10cm de diâmetro à altura do peito (DAP), estabelecemos sete transectos de 750m² cada um, sendo três na primeira localidade, três na segunda e um na terceira. Cada transecto foi dividido em 6 quadras de 125m² (5m x 25m), separadas por uma distância de 20m. Em cada quadra nós medimos o DAP de todos os indivíduos mortos (câmbio seco e/ou copa com folhas secas) e aplicamos a fórmula geral de determinação de biomassa (peso fresco) de árvores de florestas tropicais indicada por Carvalho *et al.* (1995) e Higuchi *et al.* (1997, 1998). O valor foi ajustado para peso seco (t/ha) seguindo as recomendações dos referidos autores. Com isto, nós alcançamos o resultado

de 5,8 t/ha para os 2.173 indivíduos mortos com DAP abaixo de 10cm e 17,4 t/ha para os 46 indivíduos mortos com DAP acima de 10cm (Tab. 4).

Estes valores são similares aos 16,1 t/ha determinados para indivíduos mortos acima de 10cm de DAP, apresentado por Santos *et al.* (1998) na região do Apiaú e, com o levantamento de mortalidade de indivíduos que as equipes do IBAMA realizaram em 5 regiões afetadas pelos incêndios; média de 50 indivíduos mortos/ha com DAP acima de 10cm, incluindo palmeiras (IBAMA, 1998). Contudo, a variação dos valores distribuídos pelas classes diamétricas e localidades reflete uma grande variação entre as regiões avaliadas, apesar de todas serem classificadas na mesma categoria florestal (ON). Em

relação a outros estudos realizados em situações semelhantes, nosso valor porcentual para mortalidade de indivíduos (7,9%) é 5,5 vezes inferior aos 44% determinado para áreas queimadas de florestas derivadas de corte seletivo em Paragominas (Holdsworth & Uhl, 1997) e, 7,6 vezes menor que os 60,3% de mortalidade média encontrada 8 meses do pós-fogo em 4 localidades também do município de Paragominas, Pará, em áreas de floresta já pertubadas (Kauffman, 1991). Em termos de biomassa arbórea total morta acima do solo, nossos valores representam menos da metade das 50 t/ha de massa morta por um incêndio leve (área queimada apenas uma vez) constatado ao sul da cidade de Tailândia, Pará (Cochrane & Schulze, 1999). Embora

Tabela 4. Mortalidade de indivíduos (n/ha) e de biomassa (t/ha) arbórea acima do solo determinada por três estudos realizados em Roraima no pós-incêndio.

Parâmetros	Classes Diamétricas Simplificadas (cm)						Média Arbórea Acima Solo		Fonte
	< 5		5-10		> 10		Ind.	Bio.	
	n/ha	t/ha	n/ha	t/ha	n/ha	t/ha	n/ha	t/ha	
Ind/Bio Total (1)	2120	5,6	307	19,9	58,5	219,7	3011	245,2	
Mortas	1933	3,0	240	2,8	46	17,4	2219	23,3	Este Estudo
(%) mortalidade	91,2	54,2	78,3	14,1	7,9	7,9	73,7	9,5	
Ind/Bio Total (2)			340		425				
Mortas			122	3,0	68	16,1			Santos <i>et al.</i> (1998)
(%) mortalidade			35,9		16,0				
Ind/Bio Total					616				
Mortas					50				IBAMA (1998)
(%) mortalidade					8,1				

(1) Para DAP > ou = 10cm; localidades do Apiaú/Ribeiro Campos, Trairão/Tepequém e Paredão; Para DAP < 10cm; localidade do Apiaú/Ribeiro Campos

(2) Região do Apiaú/Mucajai

(3) Inclui palmeiras. Avaliação das áreas do arco do incêndio formado pelas regiões do Roxinho, Garacará, Apiaú, Pacaraima e Trairão.

haja diferenças entre as estruturas florestais naturais e aquelas já perturbadas pela ação antrópica, as comparações acima relatadas sugerem que uma avaliação pós-fogo nas circunstâncias de Roraima não deveria ser realizada apenas para investigar os impactos instantâneos que o incêndio provoca na floresta. Dramática troca de biomassa e número de indivíduos mortos, mesmo em sistemas pouco atingidos, devem ser observados e comparados com melhor exatidão em investigações de longo prazo.

A biomassa arbórea morta abaixo dos 10cm de DAP foi estimada através da contabilização dos indivíduos (mortos e vivos) em 2 transectos de 375m² cada (3 quadras de 125m²) estabelecidos na localidade do Apiaú/Ribeiro Campos. Os indivíduos foram divididos em duas categorias: (a) menor que 5cm de DAP (incluindo todas as mudas e rebentos de diferentes alturas) e (b) entre 5-10cm de DAP. O cálculo da biomassa destas duas categorias foi estimada em função da proporção existente entre o número de indivíduos presentes (mortos e vivos) e os valores determinados para biomassa abaixo de 10cm de DAP encontrados nas estimativas realizadas para biomassa total por tipologia florestal, descrita acima.

Formação de Carvão

O carvão formado pela passagem do fogo nos sistemas florestais primários foi estimado pelo estabelecimento de 20 quadras de 1m² cada, na localidade do Apiaú/Ribeiro Campos. As quadras foram distri-

buídas da seguinte forma: (a) 11 onde o fogo foi considerado de alta intensidade, (b) 5 em ambientes com danos de média intensidade e (c) 4 em ambientes com danos de baixa intensidade. Em cada quadra foram coletadas todas as peças de carvão que se encontravam sobre o solo. Foram determinados o peso úmido e, posteriormente, o peso seco (em estufa a 105°C até peso constante) por unidade de área. Nós ponderamos os valores encontrados por intensidade de queima para se estabelecer um resultado médio para toda a área queimada e por bloco de queima. O resultado médio foi de 229,7 kg de carvão formados por hectare atingido pelo incêndio nas áreas florestais. (Tab. 5). Este valor é, em média, 0,089-0,104% da biomassa total acima do solo existente nas florestas (densa e não-densa) de Roraima e, difere substancialmente dos valores encontrados para queima de sistemas transformados como pastagens (0,025% a 0,038%), capoeiras (0,006% a 0,020%) e desmatamentos recentes (0,019%) (Barbosa & Fearnside, 1996; Fearnside, 1997a,b; Fearnside *et al.*, sd).

Eficiência de Queimada

A eficiência de queimada para as categorias vegetais que compoem as fisionomias florestais que sofreram a ação do fogo foi decomposta em três grupos: (a) litter fino: folhas e gravetos inferiores a 2cm de diâmetro caídos sobre o chão da floresta, (b) litter grosso: troncos e galhos mortos

Tabela 5. Formação de carvão (t/ha) superficial decorrente dos incêndios em sistemas florestais de Roraima (1997/98), por zona de intensidade e por bloco de queima

Categoria de Intensidade de Queima Florestal	Média Simples por Intensidade (kg/ha)	Área Efetivamente Queimada dentro de Cada Bloco (2)			
		Bloco 1 (km ²)	Bloco 2 (km ²)	Bloco 3 (km ²)	Total
ALTA(1)	258,7	1208	5278	2702	9817
MÉDIA	51,3	793	459	235	1487
BAIXA	9,8	51	27	11	90
Média Ponderada por Bloco (kg de carvão/ha)	-	172,3	241,0	241,2	229,7

(1) Ponderamos o valor da zona de alta intensidade de queima porque 6 quadras foram coletadas em locais de terra-firme (173,9 kg/ha em 84% da área afetada e 5 em locais de pé-de-serra (707,3 kg/ha ou 16% da área afetada).

(2) O valor aqui utilizado foi o determinado pelo método das zonas de impacto do fogo.

sobre o solo com diâmetro acima de 2cm e (c) outros componentes: demais categorias vegetais que não se enquadram dentro de litter e também não são árvores. As estimativas percentuais de eficiência de queimada foram baseadas na média das medidas realizadas por Uhl *et al.* (1988) em uma queima experimental em São Carlos (Venezuela) e com os dados das equipes das localidades do Trairão e do Roxinho que compunham o grupo do IBAMA que realizou o levantamento terrestre (IBAMA, 1998). Os maiores e os menores valores foram distribuídos entre as zonas de intensidade de queima florestal e, em média, se estabeleceram entre 4,5% para o litter grosso na baixa intensidade e, 97,6% para o litter fino na alta intensidade (Tab. 6). Para as categorias vegetais que compõe as savanas, foram utilizados os dados dos estudos que R.I.B. esta realizando desde 1994 nas

áreas abertas locais. Os valores foram aglutinados em uma única categoria de intensidade de queima e variaram de 28% a 94,6%, dependendo da classe de biomassa a que se reportava. Para ambientes antrópicos os números se estabeleceram entre 11,9% e 97,6%.

Concentração de Carbono

A concentração de carbono (% C) nas categorias vegetais de sistemas florestais foi estimada através das medidas realizadas por Barbosa & Fearnside (1996) e Fearnside *et al.* (sd) em peças de madeira e outros elementos florestais encontrados em pastagens e capoeiras da região do Apiaú em Roraima. Para a determinação da concentração em categorias componentes das savanas, nós estamos utilizando os resultados obtidos por R.I.B. em seus estudos sobre emissão de gases pela queima e decomposição de savanas em Roraima. Os resultados variaram de

Tabela 6. Eficiência de queimada (%) por zona de intensidade de queima (florestal) e por tipo paisagístico, decorrente dos incêndios ocorridos em Roraima (1997/98).

Categoria	Código	Litter Fino			Litter Grosso			Outros Componentes		
		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
Floresta (Densa e Não Densa) (1)	Todas as Tipologias	69,3	83,4	97,6	4,5	39,2	73,8	4,5	28,0	51,5
Não Florestal (2)	Ld-0	-	-	83,4	-	-	39,2	-	-	28,0
	Lg-0	-	-	85,5	-	-	22,6	-	-	93,2
	rm-0	-	-	85,5	-	-	22,6	-	-	93,2
	Sg-0	-	-	81,9	-	-	18,6	-	-	90,2
	Sp-0	-	-	84,2	-	-	22,9	-	-	94,8
	Td-3	-	-	85,5	-	-	22,6	-	-	93,2
	Tp-3	-	-	90,4	-	-	26,3	-	-	94,6
Antrópico	Pastagem	-	-	45,6	-	-	11,9	-	-	82,1
	Capoeira	-	-	91,3	-	-	31,6	-	-	80,0
	Cultivo Agrícola	-	-	91,3	-	-	21,8	-	-	81,1
	Desmatamento (3)	-	-	97,6	-	-	30,0	-	-	75,7

(1) Consideramos uma média geral para todos os tipos de sistemas florestais.

(2) Para os sistemas não florestais, nós levamos em consideração os valores determinados para as savanas locais e estimamos para as regiões oligotróficas em função da massa presente em cada sistema.

(3) A eficiência de combustão para litter grosso e outros componentes em "desmatamento" foi considerada como o mesmo valor observado em Altamira por Fearnside *et al.* (1999). Para litter fino, utilizamos a média simples dos resultados encontrados pelos mesmos autores em Manaus e Altamira.

32,3% C para litter de savana gramíneo-lenhosa até 64,4% C para carvão encontrado em diferentes ambientes (Tab. 7).

Destino do Carbono Afetado pelo Fogo

A massa total de carbono afetada pelos incêndios em Roraima entre 1997/98 foi de 42,58 milhões de toneladas de carbono (t C) e seguiu três caminhos diferentes: (a) emitido instantaneamente para a atmosfera pela ação da combustão nos componentes vegetais: 19,73 milhões de t C ou 46,3% do total, (b) estocado na forma de carvão sobre o solo dos sistemas atingidos: 0,52 milhões de t C ou 1,2% e (c) material vegetal morto pelo fogo (principalmente árvores) em processo de decomposição:

22,33 milhões t C ou 52,4% (Tab. 8). Do total de carbono afetado, 73,9% (31,47 milhões de t C) foram atribuídos aos sistemas florestais primários que sofreram a ação do fogo. Os sistemas de menor contribuição foram os oligotróficos (outros sistemas não-florestais) com 2,0% do total afetado (0,84 milhões de t C).

Emissões Brutas de Gases do Efeito Estufa

Para estimar a quantidade de gases do efeito estufa (CO₂, CH₄, CO, N₂O, NOx e NMHC) emitidos para a atmosfera, adotamos o método de Fearnside (1997a,b), utilizando o potencial de aquecimento global do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) em um horizonte de

Tabela 7. Concentração de carbono média (% C) presente nos principais componentes dos sistemas ecológicos de Roraima.

Categoria	Código	Árvores Mortas (acima e abaixo do solo)	Litter (fino+grosso)	Outros Componentes	Carvão (Estoque de Longo Prazo)
Floresta (Densa e Não Densa)	Todas as Tipologias	48,2	39,8	48,2	64,4
Não Florestal	Ld-0	48,2	39,8	48,2	64,4
	Lg-0	46,1	38,3	39,6	64,4
	rm-0	46,1	38,3	39,6	64,4
	Sg-0	46,1	32,3	35,8	64,4
	Sp-0	46,1	40,6	41,6	64,4
	Td-3	46,1	38,3	39,6	64,4
	Tp-3	46,1	42,1	41,2	64,4
Antrópico	Pastagem	44,5	47,8	43,8	64,4
	Capoeira	44,5	42,9	45,5	64,4
	Cultivo Agrícola	44,5	45,4	44,6	63,8
	Desmatamento	44,5	45,4	44,6	63,8

Tabela 8. Destino do carbono afetado pela queima de sistemas vegetais em Roraima (1997/98).

Sistema	Combustão ⁽¹⁾		Carvão		Decomposição		Total	
	(10 ⁶ t)	(%)	(10 ⁶ t)	(%)	(10 ⁶ t)	(%)	(10 ⁶ t)	(%)
Florestas	12,64	64,0	0,18	34,4	18,66	83,5	31,47	73,9
Savanas	3,10	15,7	0,0022	0,4	2,77	12,4	5,87	13,8
Outros Sistemas Não Florestais	0,27	1,4	0,0008	0,2	0,58	2,6	0,84	2,0
Antrópicos	3,73	18,9	0,34	65,0	0,33	1,5	4,40	10,3
Total	19,73	46,3	0,52	1,2	22,33	52,4	42,58	100

(1) Combustão= emissão instantânea no ato da passagem do fogo; carvão= carvão formado pela combustão incompleta do material vegetal; decomposição= material que morreu e entrou em processo de decomposição após a passagem do fogo.

tempo de 100 anos (Schimel *et al.*, 1995), sem os descontos de sequestros de carbono da atmosfera pela biota terrestre. Este método diferencia dois cenários de emissão de gases-traço diferentes de CO₂: (a) baixo cenário (baixa emissão de gases-traço) e (b) alto cenário (alta emissão de gases-traço). Por ser um fato novo, não produzimos

nenhuma estimativa baseada na liberação líquida de gases pela decomposição do material vegetal morto nos incêndios ou mesmo pelo sequestro de carbono por sumidouros artificiais ou naturais. Portanto, nossos cálculos não se reportam ao balanço anual do evento ou às emissões líquidas comprometidas, mas sim a emissão

bruta de gases estimada a partir do carbono emitido instantaneamente por combustão no ato da passagem do fogo.

O total de gases emitidos, equivalente a CO_2 , foi de 22,1-25,4 milhões de toneladas, dependendo do cenário de baixa e alta emissão de gases-traço diferentes de CO_2 (Tab. 9). Isto corresponde a 6,1-7,0 milhões de t C equivalente a CO_2 . A maior parte destas emissões (68,1-78,1%) foi atribuída aos sistemas de floresta primária impactados pelo fogo (4,0-4,7 milhões de toneladas de C equivalente a CO_2), seguindo-se os ambientes antrópicos (1,2-1,4 milhões), as savanas (0,8-0,9 milhões) e os outros sistemas não-florestais (0,1 milhões). Mesmo assumindo uma redução de 25-34% nas estimativas anteriores de biomassa por unidade de área florestal, nosso valor médio total (6,55 milhões de t C equivalente a CO_2) equivale a 1,5 vezes o calculado por Fearnside (1997b) para Roraima, considerando todas as emissões líquidas comprometidas para o ano de 1990 e todas as fontes/sumidouros de carbono daquele ano (4,3-4,4 milhões de t C equivalente ao CO_2).

CONCLUSÃO

Incêndios florestais provocados por queimadas antrópicas na Amazônia em anos de grande seca como o do episódio "El Niño" de Roraima em 1997/98, podem provocar a emissão de grandes quantidades de gases do efeito estufa para a atmosfera. Nossos resultados indicaram que as florestas primárias

impactadas pelo fogo em 1997/98 emitiram 4,0-4,7 milhões de toneladas de C equivalente ao CO_2 . Levando em consideração que várias queimadas penetram em florestas anualmente por toda a Amazônia, é possível prever que as estimativas de carbono liberado anualmente pela região por distúrbios florestais sejam maiores do que os $0,3 \times 10^9$ Gt/ano atualmemnte assumidos (Fearnside, 1997a;b; Nepstad *et al.*, 1999b). A pressão antrópica, a ampliação das áreas perturbadas por desmatamentos, pastagens, cultivos agrícolas e exploração florestal por corte seletivo nos últimos 20 anos em Roraima, foram a fonte de ignição que provocou a queima de 38.144-40.678 km^2 de diferentes ambientes, destacando-se os 11.394-13.928 km^2 de florestas primárias atingidas pelo fogo. O evento "El Niño" apenas maximizou os efeitos do aumento da atividade humana em sistemas florestais de Roraima nos últimos anos, indicando que os riscos de ocorrerem incêndios desta magnitude por toda a Amazônia podem ser maiores do que aquele imaginado há pouco tempo.

AGRADECIMENTOS

Ademir J. dos Santos, Antônio C. Catâneo e Jaime França, do IBAMA, Carlo Zacchini da Comissão Pró-Yanomami (CCPY/RR) e o Conselho Indígena de Roraima (CIR) gentilmente cederam horas de vôo de seus projetos para facilitar as medições de área queimada via aérea. Rogério Gribel (INPA), Jeanine Felfili

Tabela 9. Emissão bruta de gases do efeito estufa (por combustão), provenientes dos incêndios em Roraima entre 1997/98, com o total dos gases em equivalência ao CO₂ em um horizonte de tempo de 100 anos.

Baixo Cenário ⁽²⁾												
Gas	GWP (1)	Florestas Intactas	Savanas	Out. Sist. N. florestais	Antrópicos	Total	Florestas Intactas	Savanas	Out. Sist. N. florestais	Antrópicos	Total	Contribuição cada gás
CO ₂	1	10,65	3,66	0,28	3,65	18,24	10,65	3,66	0,28	3,65	18,24	78,71
CH ₄	24,5	0,15	0,02	0,00	0,05	0,21	3,06	0,32	0,03	1,05	4,45	19,22
CO	0	1,13	0,58	0,04	0,39	2,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₂ O	320	0,00	0,00	0,00	0,00	0,002	0,30	0,06	0,01	0,10	0,48	2,07
NO _x	0	0,04	0,01	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NMHC	0	0,16	0,04	0,00	0,05	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total de gás equivalente a CO ₂							14,0	4,1	0,3	4,8	23,2	
C equivalente a CO ₂							3,9	1,1	0,1	1,3	6,4	

Alto Cenário ⁽²⁾												
Gas	GWP (1)	Florestas Intactas	Savanas	Out. Sist. N. florestais	Antrópicos	Total	Florestas Intactas	Savanas	Out. Sist. N. florestais	Antrópicos	Total	Contribuição cada gás
CO ₂	1	10,65	3,66	0,28	3,65	18,24	10,65	3,66	0,28	3,65	18,24	88,81
CH ₄	24,5	0,24	0,03	0,00	0,08	0,35	5,10	0,58	0,04	1,74	7,44	28,08
CO	0	2,26	0,78	0,06	0,78	3,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₂ O	320	0,00	0,00	0,00	0,00	0,003	0,53	0,10	0,01	0,18	0,82	3,11
NO _x	0	0,06	0,01	0,00	0,02	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NMHC	0	0,16	0,04	0,00	0,05	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total de gás equivalente a CO ₂							16,3	4,3	0,3	5,6	26,5	
C equivalente a CO ₂							4,5	1,2	0,1	1,5	7,3	

(1) GWP=Potencial de aquecimento global (é um valor determinado pelo IPCC para dar peso aos gases-traço em um horizonte de tempo de 100 anos)

(2) Os Baixo e Alto Cenários são relativos ao peso dado ao gases-traço diferentes de CO₂.

(3) Os fatores de emissão que determinam a fração de carbono que corresponde a uma quantidade qualquer de gás emitida foram retirados de: (a) florestas e desmatamentos: Fearnside (1997a) e IPCC/OECD (1997); (b) savanas e outros sistemas não-florestais: Hurst et al. (1996) e IPCC/OECD (1994).

(UnB), Ary T. O. Filho (U. F. de Lavras), Marco Aurélio Fontes (U. F. de Lavras) e Marcelo T. Nascimento (UENF), se colocaram a disposição cedendo gentilmente seus dados originais de campo para comparações com nossa base de cálculos de mortalidade dos indivíduos nos sistemas florestais. Viriato de Souza Cruz (ZEE/Roraima), operacionalizou todas as medidas de área queimada com a cessão da utilização dos equipamentos e “softwares” à disposição da Secretaria Executiva do ZEE/Roraima. Thelma Krug e João Roberto dos Santos, ambos do INPE, colaboraram com trocas de informações que facilitaram o ajuste final das áreas atingidas pelos incêndios. Sebastião Pereira do Nascimento e Herundino

Ribeiro do Nascimento (Convênio INPA/GERR), colaboraram com as atividades de campo.

Bibliografia citada

- Barbosa, R.I. 1993. Ocupação humana em Roraima. II. Uma revisão do equívoco da recente política de desenvolvimento e o crescimento desordenado. *Bol. Mus. Par. Emilio Goeldi* (S. Antrop.), 9(2): 177-197.
- Barbosa, R.I. 1997. Distribuição das Chuvas em Roraima. In: Barbosa, R.I.; Ferreira, E.; Castellón, E. (eds.). *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. INPA, Manaus. p. 325-335.
- Barbosa, R.I. 1998a. *Avaliação preliminar da área dos sistemas naturais e agroecossistemas atingida por incêndios no Estado de Roraima (01.12.1997 a 31.03.1998)*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Núcleo de

- Pesquisas de Roraima (INPA/NPRR), 02.04.1998. Boa Vista 18p. (manuscrito).
- Barbosa, R.I. 1998b. *Avaliação da área dos sistemas naturais e agroecossistemas atingida pelo fogo no Estado de Roraima (01.12.97 a 30.04.98)*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Núcleo de Pesquisas de Roraima (INPA/NPRR), 16.05.98. Boa Vista. 21p+anexos. (manuscrito).
- Barbosa, R.I. 1998c. *Incêndios de Roraima (1997/98): Área queimada, biomassa, mortalidade e formação de carvão nas principais fitofisionomias*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Núcleo de Pesquisas de Roraima (INPA/NPRR), 04.12.98. Boa Vista 20p. (manuscrito).
- Barbosa, R.I.; Fearnside, P.M. 1996. Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and storage and release of aboveground carbon. *Journal of Geophysical Research*, 101(D20): 25847-25857.
- Bongers, F.; Engelen, D.; Klinge, H. 1985. Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in southern Venezuela: the Bana woodland. *Vegetatio* 63: 13-34.
- Braga, I. 1998. FHC assume incêndio de Roraima. Amazonas em Tempo, Manaus, 09 de julho de 1998. p. B4.
- Brown, S.; Lugo, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17(1): 8-18.
- Carvalho, J.A.; Santos, J.M.; Santos, J.C.; Leitão, M.M.; Higuchi, N. 1995. A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the Manaus region. *Atmospheric Environment*, 29(17): 2301-2309.
- Castro, E.A.; Kauffman, J.B. 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology*, 14: 263-283.
- Cochrane, M.A.; Schulze, M.D. 1999. Fire as a recurrent event in tropical forests of the Eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. *Biotropica*, 31(1):2-16.
- Cochrane, M.A.; Alencar, A.; Schulze, M.D.; Souza, C.M.; Nepstad, D.C.; Lefebvre, P.; Davidson, E.A. 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science*, 284: 1832-1835.
- DEFARA/INMET. 1999. *Mapa das precipitações ocorridas em Boa Vista/RR no período de 01.01.97 a 25.03.99*. Delegacia Federal de Agricultura em Roraima/Instituto Nacional de Meteorologia (1o Distrito de Meteorologia). 3p.
- Eastman, J.R. 1995. *Idrisi for Windows* (v 1.0). Clark University, Worcester, Massachusetts.
- Fearnside, P.M. 1992. Forest biomass in Brazilian Amazonia: Comments on the estimate by Brown and Lugo. *Interciencia*, 17(1): 19-27.
- Fearnside, P.M. 1996. Amazonia and the global warming: Annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. In: Levine, J.S. (ed.). *Biomass Burning and Global Change*, vol. 2. Massachusetts Institute of Technology, Boston, EUA. p. 606-617.
- Fearnside, P.M. 1997a. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions. *Climatic Change*, 35(3): 321-360.
- Fearnside, P.M. 1997b. Roraima e o aquecimento global: balanço anual das emissões de gases do efeito estufa provenientes da mudança de uso da terra. In: Barbosa, R.I.; Ferreira, E.; Castellón, E. (eds.). *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. INPA, Manaus. p. 337-359.
- Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A.; Filho, N.L.; Rodrigues, F.J.A.; Robinson, J.M. 1999. Tropical forest burning in Brazilian

- Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *Forest Ecology and Management*, 123: 65-79.
- Fearnside, P.M.; Barbosa, R.I.; Graça, P.M.L.A. (sd). *Burning of secondary forest in Amazonia: Biomass, burning efficiency and charcoal formation during land preparation for agriculture in Roraima, Brazil*. (manuscrito em preparação).
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1997. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. In: *Biomassa e Nutrientes Florestais - Projeto BIONTE/Relatório Final*. MCT-INPA/DFID. pp. 49-64.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica*, 28(2): 153-166.
- Holdsworth, A. R., ; Uhl, C.. 1997. Fire in eastern Amazonian logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications* 7(2): 713-725.
- Hurst, D.F.; Griffith, D.W.T.; Cook, G.D. 1996. Trace-gas emissions from biomass burning in Australia. In: J.S. Levine (ed), Biomass burning and global change, Volume 2. Boston, Massachusetts Institute of Technology. p. 787-792.
- IBAMA 1998. *Avaliação rápida dos impactos ambientais dos incêndios sobre as florestas no estado de Roraima*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), versão revisada de setembro de 1998. 91p. (manuscrito)
- IBGE 1985. *Censo Agropecuário 1985 - Roraima*. IBGE, Rio de Janeiro. 238p
- IBGE 1992. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira - Manuais Técnicos em Geociências no 1*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. 92p.
- IBGE 1995-96. *Censo Agropecuário 1995-96 (Acre, Roraima e Amapá)*. IBGE, Rio de Janeiro. 452p.
- IBGE 1999. *Estimativa da população de Roraima em 1997 e 1998*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística / Superintendência Regional de Roraima. 1p. (manuscrito)
- INPE 1998. *Estimativa da área de cobertura florestal afetada pelo incêndio em Roraima, utilizando dados de multi-sensores*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)/Divisão de Sensoriamento Remoto (outubro de 1998). 71p. (manuscrito)
- INPE 1999a. *Estimativa da área de cobertura florestal afetada pelo incêndio em Roraima a partir de dados de satélite*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); janeiro de 1999. 8p. (manuscrito).
- INPE 1999b. *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 1997-1998*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), fevereiro de 1999. 22p.
- IPCC/OECD 1994. *Greenhouse gas inventory reporting instructions* (final draft). IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (vol. 1). IPCC/OECD Joint Programme. pp. 4.69-4.72 (Total Carbon Released from Savanna Burning).
- IPCC/OECD 1997. *Greenhouse gas inventory: reference manual*. In: Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; Lim, B.; Tréanton, K.; Mamaty, I.; Bonduki, Y.; Griggs, D.J. & Callander, B.A. (eds.) *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Vol. 3). pp. 5.30-5.34.
- Kauffman, J.B. 1991. Survival by sprouting following fire in tropical forests of the Eastern Amazon. *Biotropica* 23(3): 219-224.
- Kauffman, J.B.; Uhl, C.; Cummings, D.L. 1988. Fire in Venezuelan Amazon 1: Fuel biomass and fire chemistry in the evergreen rainforest of Venezuela. *Oikos*, 53: 167-175.
- Klinge, H.; Herrera, R. 1983. Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in southern Venezuela: the Tall

- Amazon Caatinga forest. *Vegetatio*, 53: 65-84.
- Luz, F.J.F. 1999. *Resumo dos diagnósticos dos Assentamentos do INCRA em Roraima (1998/99)*. (manuscrito).
- MAA/INMET 1998. Observações meteorológicas do ano de 1998. Estação de Boa Vista/RR. Ministério da Agricultura e do Abastecimento / Instituto Nacional de Meteorologia/1º Distrito de Meteorologia (Manaus).
- Nascimento, M.T. 1994. *A monodominant rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil: Forest structure and dynamics*. PhD Thesis. Stirling (Reino Unido), University of Stirling. 146p.
- Negreiros, G.H.; Sandberg, D.; Alvarado, E.; Hinckley, T.; Nepstad, D.C.; Pereira, M. 1996. Fire along the transition between the Amazon forest and Cerrado ecosystems. In: *13th Conference on Fire and Forest Meteorology (27-31 october)*, Lorne, Australia.
- Nelson, B.W.; Imão, M.N. 1998. Fire penetration in standing Amazon forests. In: *IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos (11 a 18 de setembro de 1998).
- Nepstad, D.C.; Moreira, A.G.; Alencar, A.A. 1999a. Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fire. Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest/World Bank. Brasília. 161p.
- Nepstad, D.C.; Verissimo, A.; Alencar, A.; Nobre, C.; Lima, E.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P.; Potter, C.; Moutinho, P.; Mendoza, E.; Cochrane, M.; Brooks, V. 1999b. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature* 398: 505-508.
- RADAMBRASIL 1975-1978. *Projeto RADAMBRASIL - Levantamento dos Recursos Naturais*; Volumes 8, 9, 10, 11, 14 e 18. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia.
- Santos, J.R.; Pardi Lacruz, M.S.; Araújo, L.S.; Xaud, H.A.M. 1998. El proceso de queima de biomassa de bosque tropical y de sabanas en la Amazonia Brasileira: experiencias de monitoreo com dados ópticos y de microondas. *Revista Série Geográfica*, 7: 97-108.
- Schimel, D.; Alves, D.; Enting, I.; Heimann, M.; Joos, F.; Raynaud, D.; Wigley, T.; Prather, M.; Derwent, R.; Ehhalt, D.; Fraser, P.; Sanhueza, E.; Zhou, X.; Jonas, P.; Charlson, R.; Rodhe, H.; Sadasivan, S.; Shine, K.P.; Fouquart, Y.; Ramaswamy, V.; Solomon, S.; Srinivasan, J.; Albritton, D.; Derwent, R.; Isaksen, I.; Lal, M.; Wuebbles, D. 1995. Radiative forcing of climate change. In: Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; Callander, B.A.; Harris, N.; Kattenberg, A.; Maskell, K. (eds). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 65-131.
- Scott, D.A.; Proctor, J.; Thompson, J. 1992. Ecological studies on lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. II. Litter an nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 80: 705-717.
- SENAGRO/ITERAIMA 1996. *Mosaico de Imagens LANDSAT TM (1:1.000.000) do Estado de Roraima*. SENAGRO, Curitiba.
- Shulze, M.D. 1998. Forest fires in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology*, 12(5): 948-950.
- Silva, E.L.S. 1997. A vegetação de Roraima. In: Barbosa, R.I.; Ferreira, E.; Castellón, E. (eds.). *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. INPA, Manaus. p.401-415
- SUDAM/IBGE 1989. *Mapa de Vegetação da Amazônia (1:2.500.000)*. Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia / Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Belém.
- Thompson, J.; Proctor, J.; Viana, V.; Milliken, W.; Ratter, J.A. ; Scott, D.A. 1992. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. I. Physical environmental, forest structure and leaf chemistry. *Journal of Ecology*, 80: 689-703.

- Uhl, C.; Kauffman, J.B.; Cummings, D.L. 1988. Fire in the Venezuelan Amazon 2: Environmental conditions necessary for forest fires in the evergreen rainforest of Venezuela. *Oikos*, 53: 176-184.
- Villela, D.M. 1995. *Nutrient cycling in a monodominant and other rain forest types on Maracá Island, Brazil*. PhD Thesis. Stirling (Reino Unido), University of Stirling. 138p.

Aceito para publicação em 17/11/1999