

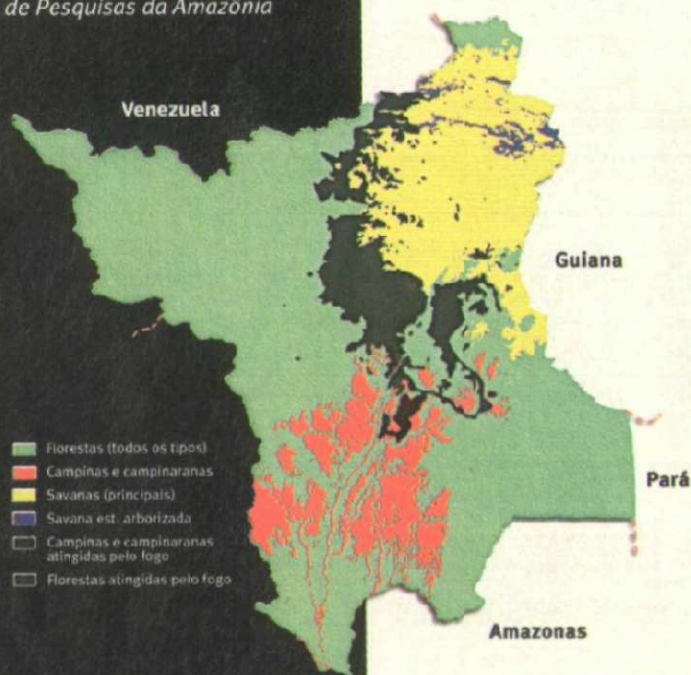
As implicações ecológicas do incêndio que atingiu diferentes ecossistemas em Roraima, no final de 1997 e início de 1998, vão além dos danos diretos causados pelo fogo. Entre as suas conseqüências estão mudanças na paisagem florestal, perdas de biodiversidade, alterações no ciclo da água e altas emissões de gases que afetam o clima global. Apesar dos prejuízos, um incêndio dessas proporções traz muitas lições, inclusive a respeito da atual política de povoamento da Amazônia.

Reinaldo Imbrozio Barbosa
Núcleo de Pesquisas de Roraima, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Philip Martin Fearnside
Coordenação de Pesquisas em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

As lições do fogo

Os incêndios ocorridos em diversos tipos de paisagens em Roraima, entre o final de 1997 e o início de 1998, atingiram uma área total entre 38.144 e 40.678 km². O fogo afetou principalmente formações não-florestais, como savanas (ao nordeste do estado), atingidas em cerca de 22.580 km² de sua área original. Todos os anos ocorrem grandes queimadas nas savanas, facilitadas pelo uso do fogo para a limpeza de terras agrícolas e pastagens e pela fácil combustão da vegetação (em geral gramíneas, com poucas plantas lenhosas). Entretanto, o incêndio de dois anos atrás surpreendeu os cientistas por ter queimado de 11.394 a 13.928 km² de florestas primárias (figura 1).



ECOSSISTEMAS E ÁREA EFETIVAMENTE QUEIMADA (dez./1997 a abr./1998)			
Categoria	Área total do sistema (km ²)	Área efetivamente queimada (km ²)	Percentual queimado
Floresta densa	104.810	2.657 a 3.247	2,5 a 3,1
Floresta não-densa	49.817	8.737 a 10.681	17,5 a 21,4
Savanas, campinas e campinaranas	62.659	23.970	38,2
Sistemas antrópicos			
Rural (*)	5.776	2.780	48,1
Urbano (**)	251	-	-
Cursos d'água	1.803	-	-
TOTAL	225.116	38.144 a 40.678	16,9 a 18,1

Obs.: Área efetivamente queimada é a superfície total atingida pelo fogo, descontados rios, estradas e trechos não-impactados. (*) Inclui lavouras, pastagens e florestas alteradas. (**) Sedes municipais.

Figura 1. Área bruta de florestas (em verde escuro) e de campinas e campinaranas (em preto) atingida pelo incêndio de Roraima



Figura 2. A detecção dos focos de calor pelo satélite NOAA (A) permitiu acompanhar as linhas de fogo, fotografadas de perto (B) próximas da reserva indígena Yanomami

O método de quantificação das áreas queimadas consistiu na combinação de levantamentos aéreos (sobrevôos), trabalhos de campo e análises de imagens dos satélites Landsat e NOAA. O intervalo de incerteza em relação à área de florestas efetivamente queimada deve-se a estimativas sobre o fogo rasteiro, que avança sem muita intensidade no solo e tem efeitos pouco aparentes nas copas das árvores. Por isso, nem sempre é percebido por sobrevôos ou imagens de satélite, mas apenas por pesquisas de campo.

A associação entre um fator climático global e um fator social local possibilitou o incêndio. O primeiro – a ação intensa do fenômeno El Niño na região, no biênio 1997-1998 – reduziu a umidade relativa do ar (abaixo dos 60%) e os índices de chuvas, além de aumentar anormalmente a temperatura. Em Boa Vista, capital de Roraima, de setembro de 1997 a março de 1998 choveu apenas 30,6 mm (8,7% da média histórica para o período, de 352 mm). O outro

aumenta essa ameaça e eleva a chance de perda dos sistemas florestais e dos benefícios decorrentes de sua preservação.

Características do desastre

Os incêndios florestais em Roraima foram favorecidos pelo excesso de material combustível (biomassa vegetal morta sobre o solo), pela reduzida umidade desse material (abaixo de 10%, tornando-o mais inflamável), e pela presença de uma fonte inicial de ignição. As duas primeiras condições podem ser explicadas pelo forte evento El Niño, pois, a grosso modo, quanto maior o estresse causado pela seca, maior o volume de massa liberado pela vegetação como forma de defesa fisiológica. A terceira condição – a fonte de ignição – é dada pela forma de preparo inicial do solo para a implantação de culturas agrícolas ou pastagens.



Figura 3. Aspecto geral do sub-bosque de um trecho da floresta amazônica após a passagem do fogo

Na Amazônia, como na maior parte do país, o método tradicional de limpeza da terra ainda consiste em derrubar a floresta, esperar que a massa vegetal seque e em seguida pôr fogo, para que os resíduos grosseiros sejam eliminados e as cinzas produzidas enriqueçam temporariamente o solo. Em Roraima, com a seca, essas queimadas ficaram fora de controle e invadiram pastagens, plantações, florestas secundárias e florestas alteradas pela exploração de madeira. O grande volume de biomassa seca nas duas últimas facilitou a passagem do fogo para florestas primárias.

Sobrevôos da área queimada, de março a maio de 1998, com o apoio do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama-Roraima), da Comissão Pró-Yanomami e do Conselho Indígena de Roraima, revelaram que a maioria dos incêndios florestais partiu de áreas oficiais de colonização no centro-oeste do estado. Pequena parcela originou-se em queimadas iniciadas nas savanas, através das áreas de contato. Os focos principais na área florestada partiram das regiões de Caracará, Roxinho, Apiaú-Ribeiro Campos, Alto Alegre, Paredão, Tepequém-Trairão, Pacaraima, Cantá, Confiança, Vila União e Vila São Félix. No final de março, ajudado pelos ventos (de nordeste para sudoeste), os focos já formavam uma linha contínua de fogo que avançava para a terra indígena Yanomami (figura 2).

O fogo difundiu-se basicamente pela superfície da floresta, no material seco do sub-bosque (figura 3), com a intensidade de calor aumentando em clareiras ou trechos com alta concentração de palmeiras.



Embora não seja um fato comum, algumas árvores de maior porte foram queimadas por estarem ocas ou apresentarem maior volume de massa vegetal seca em sua base (figura 4). O cenário do incêndio só mudou com a chegada das chuvas, no final da manhã de 31 de março de 1998.

Figura 4. Algumas árvores de grande porte não resistiram ao fogo, como um angelim-ferro (*Hymenolobium complicatum*) na região do Apiaú

Impactos nas florestas

Para tentar identificar, no ato da queimada, os impactos do fogo sobre sistemas florestais primários, foram realizados estudos de campo em áreas amostrais de Apiaú-Ribeiro Campos, Tepequém-Trairão e Paredão. Foram avaliados o número médio de árvores mortas (2.219 por hectare) e o volume médio de biomassa

acima do solo (sem as raízes) que tais árvores representavam (23,3 toneladas por hectare, ou t/ha).

A grande maioria das árvores mortas (2.173/ha) tinha diâmetro à altura do peito (DAP) inferior a 10 cm e gerou 5,85 t/ha de biomassa. O restante das árvores mortas (46/ha) tinha DAP maior que 10 cm e resultou em uma massa vegetal de 17,45 t/ha (figura 5). Se toda essa biomassa morta pudesse ser reunida na forma de toras sólidas de madeira, seu transporte exigiria cerca de 3,5 milhões de caminhões, considerando toda a área de floresta atingida pelo fogo.

Embora avaliações dessa magnitude para mortalidade de árvores e biomassa morta apresentem grande margem de erro, é possível que, nesse caso, os números estejam subestimados, pois não houve amostragem nas áreas onde o fogo formou uma linha contínua, mas apenas em áreas de focos isola-

Diâmetro	DAP < 5 cm		DAP 5-10 cm		DAP > 10 cm		Todos	
	Número	(t/ha)	Número	(t/ha)	Número	(t/ha)	Número	(t/ha)
Total de árvores	2.120	(5.6)	307	(19.9)	585	(219.7)	3.011	(245.2)
Árvores mortas	1.933	(3.0)	240	(2.8)	46	(17.4)	2.219	(23.3)
Índices de mortalidade (%)	91.2	(54.2)	78.3	(14.2)	7.9	(7.9)	73.7	(9.5)

Obs.: As amostragens para árvores com DAP > 10 cm foram realizadas em Apiaú-Ribeiro Campos, Tepequém-Trairão e Paredão, e para DAP < 10 cm os dados são de Apiaú-Ribeiro Campos. Estudo de equipe do Ibama apontou mortalidade de 50 árvores com DAP > 10 cm/ha.

Figura 5. Mortalidade e biomassa, por hectare, nas áreas florestais efetivamente queimadas, de acordo com o diâmetro dos troncos

dos. Assim, o impacto do fogo compactado e em linha não foi determinado. Nos sobreviventes após as queimadas, era fácil constatar uma maior concentração de copas secas na linha de fogo do que nas áreas de focos. Logo, os resultados podem estar abaixo do real, minimizando os efeitos regionais e globais.

Implicações ecológicas

As conseqüências ecológicas dos incêndios em Roraima podem ser divididas, de modo simplificado, em regionais (danos nos locais atingidos) e globais (as implicações mundiais do evento). Os dois níveis estão interligados.

No primeiro, vem recebendo destaque a hipótese – proposta por Bruce Nelson e Marilane Irmão, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – de que a estrutura da paisagem pode ser alterada pelos efeitos acumulados de várias queimadas. Nesse caso, espécies mais resistentes ao fogo tornam-se mais dominantes, em relação à paisagem anterior às queimadas, afetando a fitogeografia amazônica. Em trechos de floresta do centro-oeste de Roraima, por exemplo, é alta a concentração da palmeira inajá (*Attalea maripa*), que resiste ao fogo e adapta-se bem a ambientes alterados (figura 6).

Toda a região agora atingida pode ter sofrido outros incêndios no passado, em função de fortes El Niños, como o de 1925-1926, descrito como o 'verão da fumaça' por moradores mais antigos e citado por George H. H. Tate, do Museu Americano de História Natural, quando esteve em Roraima ao final dos anos 20. A tendência à homogeneidade vegetal tornaria essas paisagens mais vulneráveis ao fogo: quanto mais fogo, maior a substituição de espécies, maior o acúmulo de material seco e maior a probabilidade de novos incêndios.

A hipótese da troca de dominância não foi diretamente testada nas florestas de Roraima queimadas, mas em vários locais atingidos pelo fogo constatou-se maciça regeneração de musáceas (da família das bananeiras) e de aráceas (da família das palmeiras). Estudos recentes de Mark Cochrane e Mark Schulze (do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia e da Universidade da Pensilvânia) em Tailândia, no sul do Pará, demonstraram uma dramática troca na composição da flora e na estrutura de florestas afetadas por incêndios menos extensos, mas semelhantes ao de Roraima. Esse pode ser um passo importante para demonstrar os efeitos e as implicações de incêndios dessa magnitude por toda a região amazônica.

No âmbito global, destacam-se os prejuízos que incêndios como esses causam à biodiversidade (a riqueza genética animal e vegetal de um local), ao ciclo hidrológico e ao ciclo do carbono na atmosfera. Tais prejuízos reduzem os serviços ambientais que a floresta, mantida em seu padrão atual, poderia proporcionar ao planeta. Incêndios continuados na mesma macrorregião, admitida a hipótese de troca da paisagem, levam à perda irreversível de boa parte dos recursos genéticos, antes mesmo de se conhecer seu potencial para, por exemplo, a produção de remédios ou alimentos.

Os efeitos sobre o ciclo hidrológico decorrem da importância da floresta para a manutenção do equilíbrio na distribuição de chuvas. Estudo de Eneas Salati mostrou que metade da água que circula nos sistemas florestais da Amazônia é reaproveitada ali mesmo: as grandes massas de evaporação e transpiração das plantas mantêm-se na região e retornam em forma de precipitação. Além disso, estima-se que a água que circula na Amazônia seja responsável por boa parte das chuvas que ocorrem em toda a América do Sul. Assim, desmatamentos e



Figura 6.
Área próxima
à serra
do Cantá
com alta
concentração
de palmeirais
de inajá
(*Attalea maripa*)

Destino	Emitido para a atmosfera	Emissão futura (decomposição)	Depositado como carvão	Total
Sistemas florestais	12,64	18,66	0,18	31,5
Sistemas não-florestais	3,36	3,34	0,003	6,7
Sistemas antrópicos (rural)	3,73	0,33	0,34	4,4
Total	19,73	22,33	0,52	42,6
(%)	(46,3)	(52,4)	(1,2)	(100)

Figura 7. Destino do carbono liberado no incêndio de Roraima (em milhões de toneladas)

trocas de paisagem podem alterar essas proporções e afetar o volume e a distribuição de chuvas não só na Amazônia, mas em importantes regiões produtoras de grãos do Brasil e de países vizinhos.

Quanto ao ciclo do carbono, acredita-se que a floresta amazônica continua a ser um importante reservatório (no solo e nos tecidos vegetais) desse elemento químico. Desmatamentos, queimadas e rupturas no equilíbrio do sistema liberam gases à base de carbono, em especial CO₂ (dióxido de carbono) e CH₄ (metano). Tais gases são bloqueadores de calor, e seu acúmulo na atmosfera pode alterar o balanço de energia do planeta e aumentar a temperatura média da superfície (efeito estufa). Em Roraima, além da vegetação totalmente queimada, que gerou pesadas nuvens de fumaça, ainda há grande massa vegetal (em geral árvores não queimadas, mas mortas pelo excesso de calor), que será decomposta durante anos, liberando gases pela ação microbiana.

Estimativas dos autores apontam que, durante o incêndio, a queima de material vegetal, nos diferentes ecossistemas, emitiu para a atmosfera cerca de 19,73 milhões de toneladas de carbono (figura 7). A maior parte (12,64 milhões, ou 64,1% do total) é atribuída à combustão em sistemas florestais primários, incluindo basicamente resíduos sobre o solo (folhas e troncos caídos), árvores jovens e plantas do sub-bosque. A maior parte do volume total foi emitida na forma de CO₂ (68,1% a 78,1%), mas provavelmente uma parcela retornou no período das chuvas, absorvida pelos vegetais que nasceram ou voltaram a crescer. A participação do CH₄ no total de carbono emitido ficou entre 19,8% e 28,8%, e o restante foi atribuído a outros gases.

Apesar das elevadas emissões durante o incêndio, o que mais chama a atenção é a quantidade de carbono presente na biomassa morta: 22,33 milhões de toneladas. Esse volume é contabilizado como 'emissão futura' porque a decomposição dessa biomassa por microrganismos também libera gases. No entanto, se ocorrerem novos incêndios em florestas primárias locais, alterando a quantidade de biomassa morta, a estimativa de emissões futuras terá que ser refeita.

Lições para o desenvolvimento

Apesar das imensas perdas, o incêndio de Roraima trouxe alguns ensinamentos sobre a política de desenvolvimento da Amazônia adotada nos últimos anos (ver 'Por quem arde a Amazônia?', em CH nº 138). Tal política, mesmo com variações e uma tendência de mudança, ainda é baseada no assentamento (em áreas florestais) de pequenos agricultores vindos de regiões com forte pressão fundiária. Essa e outras questões que envolvem a Amazônia vêm sendo mais intensamente debatidas a partir dos anos 80. A tônica geral das discussões, no entanto, infelizmente ainda está centrada na idéia de que a Amazônia seria o local adequado para a solução dos problemas fundiários do país.

No caso de Roraima, os incentivos do próprio governo local – no final dos anos 80 (*boom* mineral, ligado ao garimpo de ouro na reserva Yanomami) e no início dos 90 (*boom* político, ligado à ocupação de cargos eletivos), ambos associados à criação do novo estado (em 1988) – criaram uma 'cultura migratória' difícil de ser revertida. Nos dois *booms*, a vinda de migrantes de outras regiões do país foi encorajada e até subsidiada pelos governantes locais. Hoje, porém, a geração de empregos na capital estadual não acompanha o crescimento da população (vegetativo e migratório), e a opção vem sendo regularizar as frentes de colonização espontânea que surgem em toda a orla da floresta. A ligação entre povoamento e trocas na paisagem vem sendo debatida há muito, mas incêndios fora de controle, como esse último, com repercussões mundiais, sugerem que o debate sobre o modelo de desenvolvimento adotado na região precisa ser acelerado.

As decisões sobre a implantação de estradas e assentamentos, como os que geraram a faísca responsável pelo grande incêndio de Roraima, são tomadas sem levar em conta os impactos do fogo fora das áreas onde as derrubadas e queimadas para agricultura já estavam previstas. Essas decisões, sobre esses e outros projetos de infra-estrutura, poderiam ser diferentes se todo o custo ambiental – o direto e o potencial – fosse estimado e devidamente ponderado. ■

Sugestões para leitura

- BARBOSA, R. I. & FEARNside, P. M. '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)', in *Acta Amazonica*, v. 29(4), no prelo, 1999.
- HOLDSWORTH, A. R. e UHL, C. 'Fire in eastern Amazonian logged rain forest and the potential for fire reduction', in *Ecological Applications*, v. 7(2), p. 713, 1997.
- KAUFFMAN, J. B. 'Survival by sprouting following fire in tropical forests of the Eastern Amazon', in *Diotropica*, v. 23(3), p. 219, 1991.
- NEPSTAD, D. C. e outros. 'Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire', in *Nature*, v. 398, p. 505, 1999.
- UHL, C., KAUFFMAN, J. B. e CUMMINGS, D. L. 'Fire in Venezuela Amazon II: Environmental conditions necessary for forest fires in the evergreen rainforest of Venezuela', in *Dikos*, v. 53, p. 176, 1988.