

*Desmatamentos e queimadas na Amazônia podem acelerar processos como o aquecimento global, aumentar a ocorrência de fenômenos climáticos extremos e alterar em larga escala os ciclos da água e de nutrientes, essenciais aos seres vivos. O real papel da floresta amazônica no clima global ainda está sendo investigado pela ciência, mas estudos feitos nos últimos 10 anos revelam que as interações naturais da floresta com a atmosfera são importantes para a regulação de chuvas e do ciclo hidrológico em toda a América do Sul, com reflexos em outras partes do mundo, e que esses e outros processos são alterados por emissões de gases e partículas decorrentes da derrubada sistemática das árvores ou do uso constante do fogo para a limpeza de terrenos, prática comum na região. A região amazônica também sofrerá importantes impactos ambientais decorrentes das mudanças climáticas em curso no planeta, causadas pelo aumento da concentração dos gases de efeito estufa.*

**Paulo Artaxo**

Instituto de Física,  
Universidade de São Paulo  
artaxo@if.usp.br

# A Amazônia



# e as mudanças globais

**A região amazônica** exerce um papel importante na manutenção do clima de toda a América do Sul e ainda tem grande influência no clima global. A região é estratégica, em termos climáticos, devido ao imenso estoque de carbono representado pela floresta tropical e às emissões de gases, partículas e vapor d'água para a atmosfera. Apesar disso, a floresta está sendo desmatada a uma taxa extremamente elevada (20 mil a 26 mil km<sup>2</sup> por ano) e as emissões de gases e partículas associadas às queimadas vêm tendo efeitos significativos sobre o ecossistema amazônico e o clima planetário.

A floresta amazônica possui intrincados mecanismos de funcionamento – que evoluíram durante os últimos milhares de anos – e traz surpresas à medida que a ciência desvenda seus segredos. O Brasil lidera e executa ao longo dos últimos 10 anos um amplo projeto científico internacional, o Experimento de Grande Escala da Biosfera e Atmosfera da Amazônia (LBA, na sigla em inglês), que já elucidou diversos desses importantes mecanismos, reunindo informações cruciais para que o país possa um dia implantar o chamado 'desenvolvimento sustentável' na região (ver 'Amazônia faz *check-up*' em CH n° 204). Infelizmente, ▶

A seca na Amazônia, em 2005, criou uma nova paisagem em inúmeras áreas antes permanentemente cobertas pela água – como esta, próxima a Santarém (PA)

FOTO FLAVIA MUTIARI/FOUJA IMAGEM



Vista aérea de área que deveria ser de preservação permanente, mas está em grande parte desmatada (os desenhos, acima, são feitos pelo movimento de tratores sobre restos de queimadas), em Nova Ubiratã (MT)

mental de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês), da Organização das Nações Unidas. Estudos recentes dizem que a década de 1990 foi a mais quente do último milênio e o ano de 2005 o mais quente dos últimos 100 anos. Outros indicadores importantes das mudanças climáticas podem ser o aumento da frequência de furacões mais intensos no Caribe e no Pacífico e a redução de 40% na espessura da camada de gelo no Ártico e de 10% na área dessa camada no verão. A quantidade de chuvas nos continentes cresceu 7% nos últimos 100 anos, e também ocorreu um aumento da frequência de eventos extremos (fortes secas ou tempestades), entre muitos outros efeitos.

O forte e rápido aquecimento verificado na superfície da Terra certamente

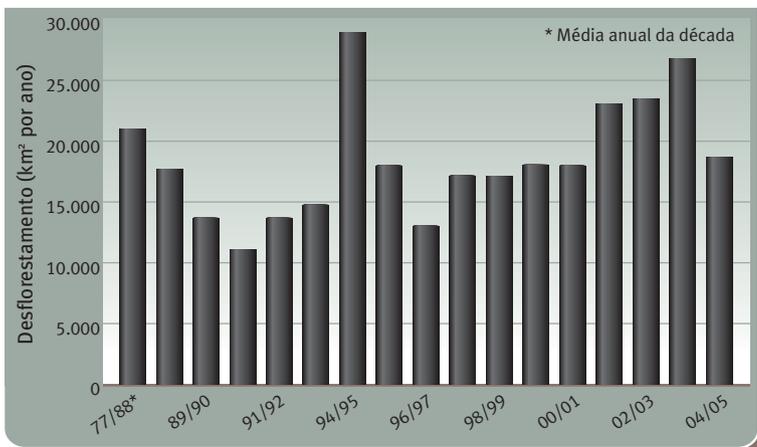
os recursos naturais que a floresta pode fornecer não têm sido utilizados de maneira adequada, e a pressão da indústria madeireira, da pecuária e da agricultura intensiva está mudando rapidamente a paisagem amazônica. Em geral, a derrubada das árvores para a abertura de novas áreas agrícolas não tem melhorado as condições de vida da população local. Os governos – federal, estaduais e municipais – tentam ordenar o processo de ocupação, mas com resultados muito limitados.

O aquecimento global e outras mudanças climáticas decorrentes das emissões dos chamados gases de ‘efeito estufa’ (porque fazem com que a Terra acumule calor) possivelmente serão as questões mais difíceis que a humanidade terá de enfrentar ao longo deste século. A média do aquecimento global chegou a 0,7°C nos últimos 150 anos e pode aumentar para 4°C a 6°C no final deste século, segundo análises do Painel Intergovernamental

de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês), da Organização das Nações Unidas. Estudos recentes dizem que a década de 1990 foi a mais quente do último milênio e o ano de 2005 o mais quente dos últimos 100 anos. Outros indicadores importantes das mudanças climáticas podem ser o aumento da frequência de furacões mais intensos no Caribe e no Pacífico e a redução de 40% na espessura da camada de gelo no Ártico e de 10% na área dessa camada no verão. A quantidade de chuvas nos continentes cresceu 7% nos últimos 100 anos, e também ocorreu um aumento da frequência de eventos extremos (fortes secas ou tempestades), entre muitos outros efeitos.

O forte e rápido aquecimento verificado na superfície da Terra certamente tem consequências importantes para a manutenção do funcionamento básico dos ecossistemas que sustentam nosso planeta. Simulações climáticas realizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), através do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, e pelo Centro Europeu de Clima apontam a possibilidade de ‘savanização’ da Amazônia. Isso significa que uma parte significativa da floresta amazônica poderá dar lugar a uma área de savana, com forte perda de carbono para a atmosfera, o que ampliará o efeito estufa. A Amazônia é uma importante fonte de vapor d’água para a atmosfera, o que será alterado por esse processo de savanização. Em consequência, são esperadas mudanças no ciclo hidrológico em regiões distantes da Amazônia.

Figura 1. Área desmatada na Amazônia a cada ano desde o final da década de 1980



Fonte: INPE

## As emissões das queimadas

A face mais visível dos processos que influenciam o clima global e a Amazônia está na incidência de queimadas. Todos os anos, principalmente de agosto a outubro, a maior parte da superfície do Brasil fica coberta por uma densa camada de fumaça originada nas queimadas feitas na Amazônia. Estas destinam-se à destruição dos resíduos florestais em áreas recém-desmatadas ou à limpeza do terreno antes do plantio das culturas temporárias, e muitas vezes escapam ao controle dos que as promovem, espalhando-se por áreas próximas, de savana ou de floresta. A imensa quantidade de partículas e gases emitida nessas queimadas tem pro-

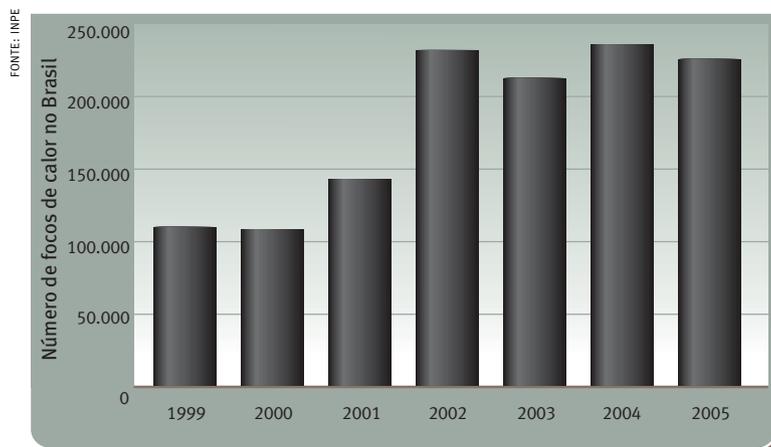
fundos efeitos no funcionamento do ecossistema amazônico, afetando também os climas regional e global.

As estatísticas sobre a área desmatada na Amazônia a cada ano desde a década de 1980 mostram que, após uma redução no início da década de 1990, a tendência nos últimos 10 anos é de aumento (figura 1). De acordo com dados oficiais do Inpe, em 2004 foram desmatados 27 mil km<sup>2</sup>, área que caiu para 18,9 mil km<sup>2</sup> em 2005. Essa diminuição foi comemorada pelo Ministério de Meio Ambiente (MMA), mas algumas organizações não-governamentais lembraram que havia pouco a comemorar, por duas razões básicas: 1) a área desmatada ainda é extremamente elevada, e 2) a redução decorreu de fatores econômicos (entre eles a queda do preço da soja no mercado internacional), que podem ser revertidos rapidamente, trazendo de volta o estímulo à derrubada da floresta (visando à abertura de novas áreas para essa cultura e para a pecuária ou visando à exploração de madeira).

O MMA argumenta que a redução no desmatamento deveu-se ao aumento da fiscalização, algo ainda a confirmar. Esse debate, porém, envolve outros aspectos, pois trabalhos recentes indicam que a superfície efetivamente desmatada pode ser muito maior que a anunciada, se for levada em conta a extração seletiva de madeira (o que poderia até dobrar a área afetada). De qualquer maneira, o pior uso que se pode fazer desse valioso recurso natural que é a floresta amazônica é queimá-la e transformá-la em cinzas, fumaça e gases de efeito estufa. Nosso país ainda precisa aprender a usar adequadamente esse recurso.

Outra forma de avaliar a incidência de queimadas na Amazônia é através da medição, por satélite, do número de focos de incêndios. O Inpe realiza esse levantamento, utilizando imagens captadas por satélites da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA, na sigla em inglês), dos Estados Unidos. Os dados sobre esses focos, entre 1999 e 2005 (figura 2), revelam que sua quantidade permaneceu em torno de 120 mil em 2000 e 2001, mas subiu em 2005 para cerca de 225 mil, o que representa um aumento muito elevado – de mais de 50% – no número de incêndios nos últimos anos.

As queimadas na Amazônia são a maior causa de emissão, pelo Brasil, de gases de efeito estufa, segundo o inventário nacional dessas emissões feito pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT). A Amazônia armazena cerca de 70 bilhões de toneladas de carbono, que equivalem a cerca de 30% de toda a massa de carbono armazenada nas florestas tropicais do mundo. No entanto, grandes



quantidades desse carbono têm sido emitidas para a atmosfera, todos os anos, na forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o principal gás associado ao efeito estufa. A análise das emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil, por tipo de fonte (figura 3), revela que as queimadas e os desmatamentos equivaleram a 74% do total emitido em 1994, enquanto o setor energético – normalmente o maior emissor de gases de efeito estufa – foi responsável por em torno de 23% das emissões. O percentual que, nessa análise, corresponde às queimadas e desmatamentos certamente é maior hoje, pois a área desmatada no ano passado (mesmo com a comemorada redução) foi muito superior à registrada em 1994. Além disso, as emissões de carbono provavelmente foram maiores que as apontadas nesse estudo, pois aquelas geradas pelo corte seletivo de madeira não entraram nesses cálculos – estima-se que a atuação das madeireiras aumente entre 30% e 50% o total de carbono emitido pelo desflorestamento direto.

Além das emissões importantes de CO<sub>2</sub>, as queimadas também liberam grandes quantidades de metano (CH<sub>4</sub>) e outros hidrocarbonetos, de monóxido de carbono (CO) e de gases precursores do ozônio (O<sub>3</sub>). Este último também é um importante gás de efeito estufa, além de causar prejuízos à saúde da população e danos aos estômatos das plantas (canais para a troca de gases e transpiração, situados na superfície das folhas). Foram registradas altas concentrações de ozônio em vastas regiões da Amazônia, a milhares de quilômetros de distância das áreas onde as queimadas ocorrem, danificando a floresta que não foi queimada.

Já as emissões de partículas de aerossóis das queimadas têm dois efeitos importantes. Em primeiro lugar, eles são responsáveis por alterações nos mecanismos de produção e desenvolvimento de nuvens. Além disso, têm forte impacto negativo na saúde da população amazônica, pois causam sérios problemas respiratórios e cardiovasculares ▶

Figura 2. Número de focos de incêndios no Brasil de 1999 a 2005 (contagem baseada em imagens de satélite)

A intensa exploração de madeira – na imagem, troncos descendo braço do Rio Negro, no estado do Amazonas – em geral não é computada nos cálculos do desmatamento



FOTO ANTONIO GAUDÉRIO/FOLHA IMAGEM

nos indivíduos expostos. Pesquisadores da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) mostraram um grande aumento na incidência de atendimentos de pronto-socorro decorrentes da exposição à fumaça de queimadas em Mato Grosso.

## Alterações no ciclo hidrológico

O clima é um dos principais reguladores dos ciclos biogeoquímicos dos elementos no solo, na água e no ar. Alterações climáticas afetam diretamente processos físicos, químicos e biológicos cuja ocorrência depende da temperatura e de água. As florestas tropicais têm grande influência nesses processos, pois estão entre os maiores emissores de

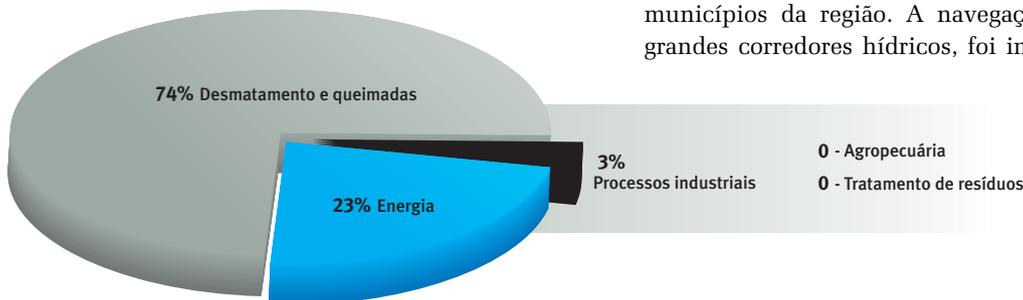
vapor d'água para a atmosfera global. Das regiões tropicais, esse vapor é transportado até regiões temperadas através da circulação global da atmosfera (em particular dos fortes mecanismos de convecção – os movimentos verticais de massas de ar), sendo responsável por uma fração importante da chuva que cai em regiões a grandes distâncias da Amazônia. Esses efeitos regionais (na América do Sul), e ainda os efeitos globais, através das chamadas 'teleconexões', são importantes para o ciclo hidrológico regional e global.

A interação da floresta com o ciclo hidrológico regional tem sido estudada em anos recentes, como parte do experimento LBA (figura 4). A floresta emite grandes quantidades de vapor d'água, além de partículas de aerossóis e hidrocarbonetos (terpenos e outros compostos) precursores de partículas que atuam como núcleos de condensação de nuvens. Esse processo natural, porém, é fortemente alterado pelas partículas de aerossóis emitidas em queimadas: durante os estudos do LBA, foram observados efeitos relevantes dessas partículas nos mecanismos de formação e desenvolvimento de nuvens. A supressão da formação de nuvens tem conseqüências importantes sobre o ciclo hidrológico, tanto na própria região amazônica quanto no restante da América do Sul, reduzindo a quantidade de chuvas. Em escala global, trabalhos de modelamento do clima (em computador) realizados pelo LBA mostraram que, através das teleconexões, o desmatamento da Amazônia pode reduzir a chuva em diversas regiões nos Estados Unidos e na Europa. É preciso levar em conta, no entanto, que nosso nível de conhecimento científico dos processos que regulam o ciclo hidrológico em escala global ainda é muito limitado.

## A seca de 2005 na Amazônia

Um cenário que seria impensável há poucos anos foi visto na Amazônia em 2005: uma seca de proporções tão grandes que comprometeu o abastecimento de água, comida e medicamentos em vários municípios da região. A navegação, mesmo nos grandes corredores hídricos, foi impedida ou pre-

Figura 3. Emissão brasileira de CO<sub>2</sub> por setor em 1994 (em percentuais)



FONTE: MCT

judicada, e o exército foi acionado para furar poços de emergência, visando abastecer a população com água. A seca foi atribuída – assim como o aumento da incidência de furacões na região que abrange o Caribe, a América Central e o sul dos Estados Unidos – a um aumento anormal de cerca de 1°C nas águas do oceano Atlântico tropical, que deslocou massas de ar que fornecem umidade para a região amazônica. Esse aumento de 1°C na temperatura superficial do Atlântico é muito menor que o aumento previsto pelo IPCC, e isso indica que o número de eventos climáticos extremos poderá crescer substancialmente na segunda metade deste século.

## As emissões de metano

A ciência ainda está longe de conhecer os intrincados mecanismos que regulam os ciclos biogeoquímicos em florestas tropicais. Tais ciclos – como os de carbono, nitrogênio, fósforo e outros elementos – têm papel relevante na formação e na evolução dos ecossistemas. A floresta depende de nutrientes (nitrogênio e fósforo, por exemplo) e de carbono para seu pleno funcionamento. Recentemente, resultados de diversos trabalhos indicaram que a floresta amazônica possivelmente emite quantidades significativas de metano, o segundo em importância entre os gases causadores do efeito estufa.

Isso significa que, além das queimadas, a floresta em seu funcionamento natural também é uma importante fonte de metano para a atmosfera da Terra. Segundo esses novos trabalhos, ela seria responsável por cerca de 30% de todo o metano emitido no mundo atual. Essa descoberta é importante por evidenciar o desconhecimento científico sobre as emissões básicas dos ecossistemas naturais, e por indicar que podem surgir surpresas importantes, em futuro próximo, na questão de mudanças climáticas globais.

## O papel do Protocolo de Kyoto

O Protocolo de Kyoto é uma importante iniciativa para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, mas sua forma atual é tímida demais para que possa ‘resolver’ a questão do aquecimento global. Esse acordo, concluído durante Conferência da



Figura 4. Esquema do controle climático da precipitação e radiação realizado pelas emissões da floresta amazônica

ONU em Kyoto (Japão), em 1997, e hoje assinado por mais de 150 países, inclusive o Brasil, propõe reduções na emissão dos gases de efeito estufa. Entretanto, os Estados Unidos, maiores poluidores do planeta, responsáveis por cerca de 36% das emissões globais desses gases, não o assinaram. Segundo o acordo, os países signatários reduziriam suas emissões de carbono, até 2010, em 6%, em relação às emissões de 1990. Essa redução é pequena se comparada com a necessidade ambiental, mas é um início necessário ao processo de redução dessas emissões.

É importante ressaltar, porém, que mesmo que um novo acordo internacional, a ser implantado após o Protocolo de Kyoto, leve a uma redução drástica das emissões dos gases de efeito estufa, o aquecimento do planeta vai continuar, pois o tempo de vida do CO<sub>2</sub> na atmosfera é de cerca de 100 anos, e os demais gases de efeito estufa também exercem efeitos por um longo período. Isso implica que o aquecimento global veio para ficar, e que é essencial adotar estratégias de mitigação. No caso do Brasil, é necessário elaborar planos de proteção de suas importantes áreas costeiras (que podem ser inundadas com a elevação do nível dos oceanos), além de estratégias de adaptação da agricultura às mudanças climáticas e de desenvolvimento sustentável para a Amazônia.

Ao longo deste século, a humanidade tem uma tarefa crucial à qual não poderá fugir: lidar adequadamente com a questão das mudanças climáticas. Esse tema fará parte, cada vez mais, das discussões econômicas e sociais. Ao mesmo tempo, a ciência avançará no entendimento dos processos relevantes das mudanças climáticas globais e de suas conseqüências para a vida de cada um de nós. ■

### SUGESTÕES PARA LEITURA

Página (na internet) do Experimento de Grande Escala da Biosfera e Atmosfera da Amazônia: <http://lba.cptec.inpe.br/lba/>

Página (na internet) sobre mudanças climáticas do Ministério de Ciência e Tecnologia: <http://www.mct.gov.br/clima/>  
Relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas: <http://www.ipcc.ch/>