



DESMATAMENTO MUDA CLIMA DA AMAZÔNIA

Carlos A. Nobre

*Centro de Previsão do Tempo
e Estudos Climáticos,
Instituto Nacional
de Pesquisas Espaciais.*

John Gash

*Institute of Hydrology
(Grã-Bretanha).*

O DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA, SEGUNDO PREVISÕES LANÇADAS HÁ POUCOS ANOS POR ORGANISMOS INTERNACIONAIS, PROVOCARIA DRÁSTICAS ALTERAÇÕES NO CLIMA MUNDIAL. MAS ESSAS PREVISÕES, CALCULADAS POR MODELOS COMPUTACIONAIS QUE SIMULAM COMO O SOLO E A VEGETAÇÃO INTERAGEM COM A ATMOSFERA, ESTAVAM BASEADAS EM DADOS INADEQUADOS, POIS A FLORESTA TROPICAL AINDA É POUCO ESTUDADA E APRESENTA MISTÉRIOS QUE INTRIGAM OS PESQUISADORES. PARA SUPRIR ESSA LACUNA, CIENTISTAS BRASILEIROS E BRITÂNICOS CRIARAM O PROJETO ABRACOS, QUE DESDE 1990 REÚNE INFORMAÇÕES CIENTÍFICAS SOBRE CARACTERÍSTICAS DA FLORESTA AMAZÔNICA E DE ÁREAS DESMATADAS DA REGIÃO. OS RESULTADOS DO PROJETO TORNARÃO MAIS CONFIÁVEIS OS MODELOS CLIMÁTICOS E PERMITIRÃO AVALIAR COM MAIOR CLAREZA OS EFEITOS DO DESMATAMENTO.

FOTONE A PARTIR DE FOTO DE CLAUD MAYER

AO SUBSTITUIR as florestas por pastagens ou culturas agrícolas, o desmatamento modifica as interações físicas e químicas entre o solo, a vegetação e a atmosfera. Isso significa que a derrubada, quando atinge grandes extensões, pode provocar sensíveis mudanças nos sistemas de circulação atmosférica que compõem o clima. Mas é difícil prever como tais sistemas reagirão ao desmatamento, especialmente se a área em estudo é a maior floresta tropical úmida do planeta – a Amazônia –, que há 20 anos sofre altas taxas de destruição (figura 1).

Hoje, os únicos meios de investigar os efeitos de desmatamentos no clima são os chamados modelos de circulação geral (MCG) – representações matemáticas aproximadas da atmosfera e das suas interações com a superfície desenvolvidas em computadores de grande capacidade de cálculo. Tais modelos são usados comumente para a previsão do tempo (em escala global, regional ou local, levando em conta curtos períodos de tempo), mas podem, se aplicados em períodos maiores, simular o comportamento futuro da atmosfera. Comparando modelos desse tipo, calculados para superfície coberta por floresta e para superfície com pastagem (áreas desmatadas), é possível mostrar a sensibilidade do clima ao desmatamento e o impacto deste no ciclo hidrológico (de água) da região.

A floresta tropical, um dos mais importantes sistemas ecológicos do planeta, ainda é pouco estudada. Os cientistas admitem a contribuição essencial desse tipo de floresta para os balanços globais de água e carbono e sua participação nos recursos de espécies vegetais e animais do planeta, mas as dificuldades de trabalho no ambiente florestal ainda limitam as pesquisas.

Nos últimos 10 anos, os efeitos de desmatamentos na floresta amazônica têm sido ativamente estudados através dos MCG, mas as previsões dependem de dados básicos sobre as interações solo-vegetação-atmosfera. Assim, é preciso conhecer a fundo os processos que ocorrem em cada um desses setores e as relações entre eles. Cada dado (radiação solar, trocas de água e energia, fluxos de carbono e outros) precisa ser medido separadamente e transformado nos parâmetros específicos usados em modelos climáticos. Medidas de evaporação e fluxo de calor sensível, por exemplo, são necessárias para determinar a quantidade de vapor d'água que volta à atmosfera e a energia disponível para esse retorno, parâmetros importantes nas simulações.

Os MCG usados até recentemente, inclusive no Brasil, foram desenvolvidos e calibrados com base em informações obtidas há bastante tempo sobre balanço de radiação, ciclo hidrológico, fisiologia

ANO	ACUMULADO	ANUAL
JAN./1978	152.200	—
ABR./1988	327.500	21.980* (MÉDIA)
AGO./1989	401.400	17.925**
AGO./1990	415.200	13.800
AGO./1991	426.400	11.200
AGO./1992	440.186	13.786
AGO./1994	469.978	14.896 (MÉDIA)

Figura 1. Desflorestamento na Amazônia legal (acumulado e anual), com base em estudos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a partir de imagens obtidas por satélites de sensoriamento remoto. A média entre 1978 e 1988 (*) e o valor entre 1988 e 1989 () foram corrigidos, já que o levantamento não ocorreu no mesmo mês.**

vegetal etc. Nas últimas décadas, foi grande o aperfeiçoamento de tais modelos, mas sua eficácia depende de dados mais precisos sobre as interações entre solo, vegetação e atmosfera. A necessidade de atualizar os parâmetros desses modelos tornou-se urgente no final dos anos 80, levando à implantação do Estudo Anglo-Brasileiro de Observações do Clima da Amazônia, conhecido como projeto Abracos (sigla de *Anglo-Brazilian Climate Observations Study*).

O objetivo do projeto – financiado pela Agência de Desenvolvimento Exterior (Reino Unido), pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) – é melhorar a capacidade de prever como as mudanças causadas pelo crescente desmatamento da Amazônia afetam o clima regional e mundial. Para isso, dezenas de pesquisadores brasileiros e britânicos ajudam a elucidar as complexas interações do ecossistema amazônico, trabalhando em três sítios experimentais (figura 2): Ma-

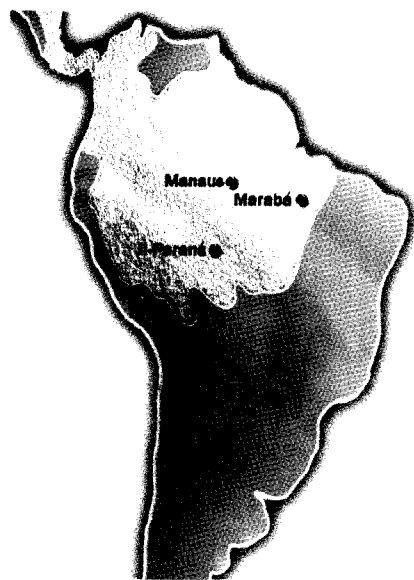


Figura 2. Localização dos sítios experimentais do projeto Abracos. A área em verde representa a área recoberta por floresta tropical úmida.

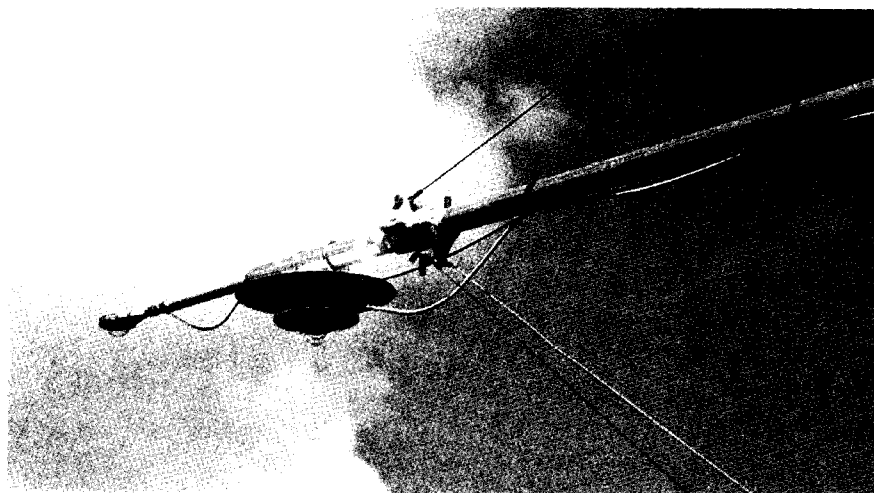


Figura 3. A radiação solar refletida foi medida continuamente, com solarímetros invertidos, sobre áreas de floresta e pastagem.

naus, na Amazônia Central (onde os estudos envolvem a reserva florestal Duque e fazendas de gado próximas); Marabá, perto da margem leste da floresta (reserva florestal da Companhia Vale do Rio Doce e fazendas); e Ji-Paraná, junto à margem sudoeste da floresta (reserva florestal Jaru e fazendas). Nos dois últimos, a estação seca é mais longa e mais severa que em Manaus, o que permite comparações de grande utilidade.

Os dados obtidos pelo projeto, desenvolvido entre setembro de 1990 e dezembro de 1996, e por campanhas intensivas de coleta (as principais ocorreram em Manaus, em setembro-outubro de 1990; em Marabá, em junho-setembro de 1991; e em Ji-Paraná, em agosto-setembro de 1992, julho-dezembro de 1993 e abril-agosto de 1994) permitem revalidar ou recalibrar os MCG e obter respostas mais corretas das simulações. Os benefícios plenos desse trabalho só serão conhecidos em alguns anos, quando os resultados forem inteiramente analisados e aplicados aos modelos climáticos. A coleta de dados, no entanto, revelou uma série de novos conhecimentos sobre as interações solo-vegetação-atmosfera para florestas e pastagens na Amazônia.

BALANÇO DE RADIAÇÃO

O movimento atmosférico – e em consequência o clima – decorre em última análise da energia radiativa do Sol. Esta chega à superfície da Terra de modo direto, como radiação solar (luz), ou indireto, como radiação termal (calor), esta emitida por nuvens e por alguns gases atmosféricos – principalmente vapor d'água (H_2O) e gás carbônico (CO_2). A superfície absorve parte da luz solar e reflete outra parte de volta para o espaço. Um percentual da parte absorvida é reemitido, agora como radiação termal, e o que sobra aquece a superfície e o ar logo acima dela, ou fornece energia para a evaporação (no solo e na vegetação). Como esses processos interferem no clima, diferenças no balanço de radiação – entre florestas e pastagens – implicam diferenças climáticas.

A radiação solar incidente e refletida foi medida nos três sítios experimentais (figura 3). Em média, as áreas cobertas por florestas absorveram 11% mais radiação que as cobertas por pastagem, basicamente porque a floresta reflete menos radiação solar e emite menos radiação termal. A luz é 'aprisionada' pelas múltiplas reflexões no dossel (a

alta e variada cobertura vegetal, com plantas de diferentes tamanhos). As pastagens refletem em média 18% da radiação solar, valor ligeiramente menor que o utilizado de modo geral nos modelos que simulam desmatamentos, enquanto nas florestas a reflexão atinge 13,4%, índice um pouco mais alto que o usado nas simulações (figura 4).

De forma surpreendente, foi observada pouca variação sazonal (entre as estações seca e chuvosa) na reflexão medida para as gramíneas das pastagens, enquanto nas áreas de floresta essa variação foi marcante (figura 5). As razões para isso ainda não estão claras, mas há uma relação entre as diferenças de reflexão nas estações do ano e a umidade do solo. Embora nas pastagens a mudança sazonal seja pequena, ocorrem variações de mês a mês, associadas à área foliar (área total das folhas).

Dado curioso foi registrado em Ji-Paraná, na estação seca: ocorreram diferenças sistemáticas na radiação solar incidente entre os sítios de floresta e de pastagem, que podem estar relacionadas ao aumento da nebulosidade sobre a pastagem naquela época do ano. Se confirmado por outros estudos, o resultado é importante, pois pode indicar efeito direto da mudança de cobertura vegetal na formação de nuvens, um fenômeno atmosférico de mesoescala (ou seja, na escala de dezenas a centenas de quilômetros).

TEMPERATURA E UMIDADE

Durante o dia, as pastagens apresentaram – em relação às florestas – temperaturas máximas mais altas e variações de temperatura (entre máxima e mínima) também mais elevadas. À noite, o mínimo de temperatura foi em geral menor nas áreas de pastagem, provavelmente em função das baixas velocidades do vento próximo à superfície nessas áreas. A temperatura na área ur-

bana de Manaus foi sempre mais alta, durante o dia, que a das áreas rurais estudadas (fazenda Dimona e reserva Ducke), mas à noite os valores na cidade foram similares aos registrados sobre a floresta.

A variação sazonal de temperatura em Manaus e Marabá foi pequena, mas em Ji-Paraná, na estação seca, houve resfriamento considerável, associado a massas de ar frio vindas de zonas temperadas do hemisfério sul e decorrentes da passagem, nessa época, em áreas mais ao sul, das chamadas frentes frias. As incursões de ar frio no oeste da Amazônia, chamadas 'friagens', chegam em raras ocasiões a cruzar o Equador.

Um marcante ciclo anual de umidade foi notado em Ji-Paraná e Marabá, mas não em Manaus. Os valores mais baixos de umidade nos dois primeiros sítios, na época seca, estão associados à subsidência em grande escala (descida de massas de ar de camadas mais altas da atmosfera, que se aquecem por compressão). O fenômeno é comum em áreas próximas às fronteiras do domínio florestal, como Marabá e Ji-Paraná.

A CHUVA NA FLORESTA

Ao cair sobre a floresta, a chuva é interceptada por folhas, galhos e troncos,

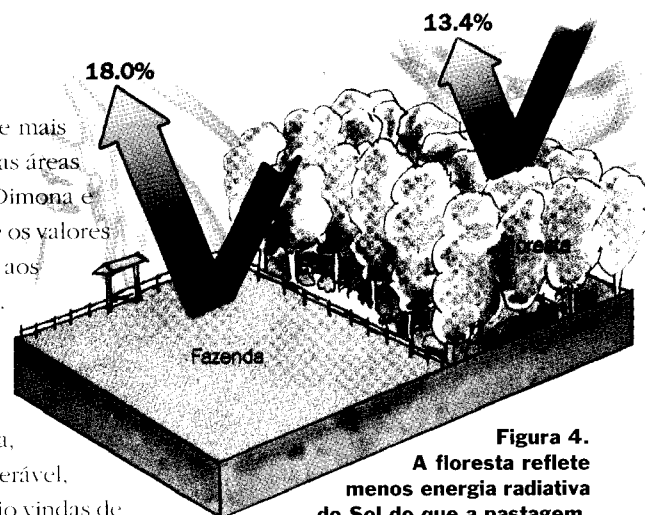


Figura 4.
A floresta reflete menos energia radiativa do Sol do que a pastagem.

e uma parte dessa água evapora e retorna à atmosfera sem atingir o solo. Como as florestas têm muito maior rugosidade aerodinâmica (oferecem mais obstáculos às correntes de ar junto ao dossel) que as pastagens, a turbulência sobre as primeiras é maior e a água evaporada de um dossel úmido de floresta pode ser mais facilmente removida para a atmosfera, levando a altas taxas de evaporação.

A interceptação da água da chuva pela floresta foi medida nas reservas Jaru (Ji-Paraná) e Vale do Rio Doce (Marabá), com o mesmo método usado (de 1983 a 1985) na reserva Ducke (Manaus), para permitir a comparação. A evaporação direta de volta à atmosfera foi maior nos novos sítios: 12% em Ji-Paraná e 13% em Marabá, contra 9% em Manaus (figura 6). Como as pequenas diferenças observadas entre os três sítios estão dentro da margem de erro atribuída às medidas

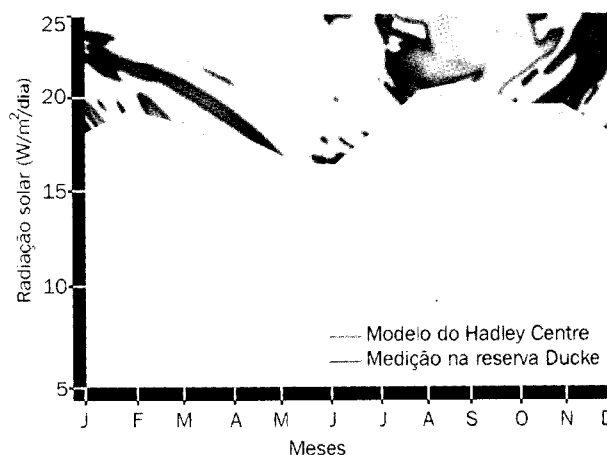


Figura 5. Comparação entre a radiação solar medida na reserva Ducke, em Manaus, e a calculada pelo modelo computacional do Hadley Centre, da Grã-Bretanha, em uma simulação do clima na Amazônia. O modelo reproduz bem a variação dessa radiação ao longo do ano, mas superestima sua magnitude.

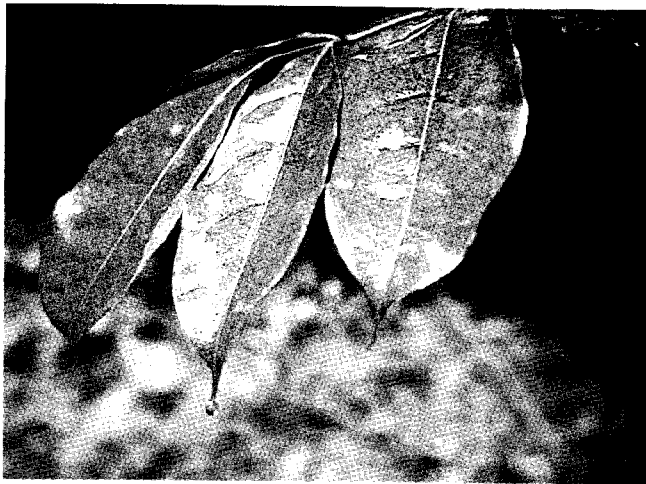


Figura 6. Parte da chuva que cai sobre a floresta (de 9% a 13%) é interceptada pelo dossel e evapora rapidamente, retornando à atmosfera.

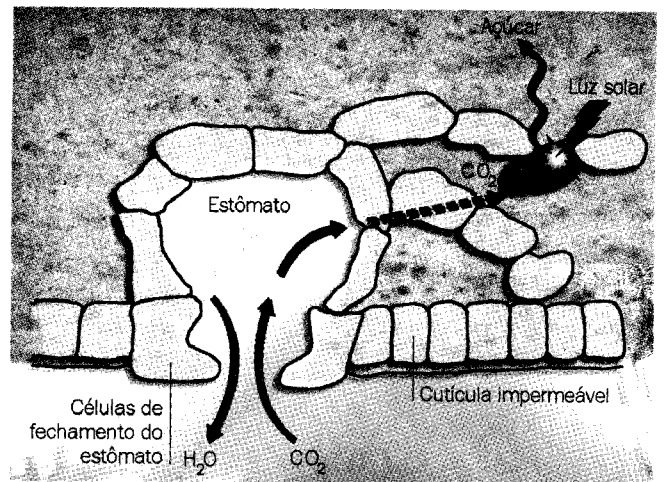


Figura 7. A transpiração é controlada pela abertura dos estômatos, situados na superfície das folhas. Representar corretamente o comportamento estomático é essencial para prever a evaporação da vegetação.

de interceptação, não é possível concluir que as perdas por interceptação nas reservas Jaru e Vale do Rio Doce foram maiores que as da reserva Ducke. Os valores, porém, mostraram-se consistentes com as diferenças observadas nas características florestais que controlam a evaporação: dossel mais fechado e maiores capacidades de armazenamento de água foram observados nas reservas Jaru e Vale, comparadas à reserva Ducke.

TRANSPIRAÇÃO VEGETAL

Parte da água que atinge o solo é extraída pelas raízes das plantas e evaporada, ou transpirada, através de orifícios microscópicos – os estômatos – existentes nas folhas (figura 7). A água restante infiltra-se no solo até o lençol freático, de onde pode chegar a um rio, riacho ou igarapé. O projeto Abracos mediu a evaporação das plantas através da variação do conteúdo de água no solo, da perda de água nas folhas e do movimento do vapor d'água na camada de ar logo acima da vegetação. Tais medidas permitem construir modelos matemáticos, chamados modelos de condutância de superfície, que determinam como a vege-

tação controla a evaporação através da abertura dos estômatos.

Conhecendo a condutância de superfície com precisão, é possível prever o uso da água pelas plantas e os fluxos de vapor entre estas e a atmosfera, parâmetro crucial nos modelos de circulação geral. A condutância de superfície para a área vegetada total (condutância *bulk*) pode ser medida diretamente por métodos micrometeorológicos, mas para entender suas flutuações é preciso avaliar a condutância estomática de folhas individuais e sua reação a fatores que sofrem alterações diárias (como temperatura, umidade do ar, água no solo e radiação solar) e sazonais (como área foliar). Combinando condutância estomática e área foliar é possível obter a transpiração total da vegetação.

Em Ji-Paraná e Manaus, a condutância estomática das pastagens revelou estreita relação com o déficit de água no solo, mas isso não ocorreu em Marabá. No entanto, a área foliar nas pastagens também foi afetada pelo conteúdo de água no solo, variando até 50% durante o ano. Nas áreas de floresta, apesar das diferenças de composição botânica entre e dentro dos três sítios, as respostas fisiológicas das várias espécies foram

bastante similares. Em geral, a condutância não apresentou resposta à umidade do solo e houve reações semelhantes ao déficit de umidade do ar.

Concluiu-se que a condutância estomática de todas as plantas da floresta depende apenas da altura dentro do dossel (as mais altas apresentam valores maiores). Como não foi observada variação entre diferentes espécies de mesmo porte, os resultados dos estudos existentes sobre o comportamento estomático de espécies da floresta tropical podem ser extrapolados para toda a região amazônica.

Nas áreas de floresta, o índice de área foliar (metro quadrado de folhas por metro quadrado de superfície) foi obtido por amostragem destrutiva (em local próximo a Manaus) e pela medição de folhas caídas no solo (nos outros sítios). Esse índice foi estimado em 5,7 (Manaus), 5,4 (Marabá) e 4,4 (Ji-Paraná), com variação sazonal em torno de 15%, mas esses valores dependem da suposição – que ainda precisa ser investigada – de que as folhas têm vida média de um ano.

Embora o microclima e o nível de radiação sejam diferentes para cada profundidade do dossel, os dados obtidos permitiram elaborar um modelo para

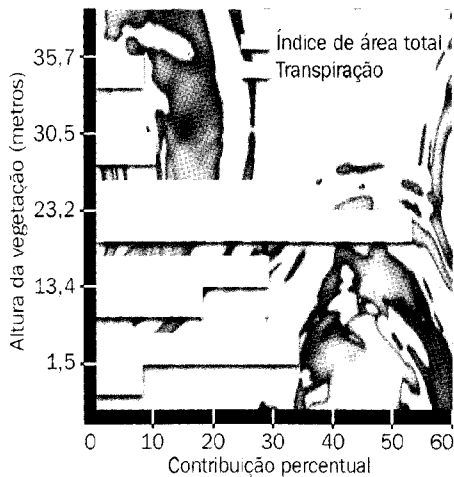


Figura 8. Distribuição do índice de área foliar das plantas da reserva Ducke, de acordo com sua altura, e contribuição das diferentes camadas de vegetação para a transpiração total da floresta.

calcular a transpiração total da floresta. Os cálculos revelaram que a parte inferior do dossel, quase sempre sombreada, contribui relativamente pouco para a transpiração total. Embora essa parte contenha mais de 30% da área foliar total, as condutâncias estomáticas e os níveis de radiação são mais baixos que os de outras regiões do dossel.

Estudos da composição do vapor d'água (usando isótopos de oxigênio) mostraram que a parte inferior do dossel está 'separada' da parte intermediária – responsável, esta, pela contribuição máxima para a transpiração total (figura 8). A variação da composição isotópica de oxigênio também sugere que o comportamento fisiológico da vegetação mais baixa pode ser diferente do observado na mais alta. Isso significa que, para o dossel completo da floresta tropical, o uso de apenas um valor para o índice de área foliar (como ocorre na maioria dos modelos preditivos) não representa adequadamente a situação real.

FLUXOS DE ENERGIA E VAPOR

Nos seis anos de pesquisas de campo do projeto Abracos, foram realizadas

sete campanhas intensivas de monitoramento para avaliar os parâmetros físicos que descrevem a micrometeorologia dos sítios experimentais e fornecer estimativas de todos os componentes do balanço de energia. Um desses componentes é a evaporação, usada para calibrar modelos que calculam (para florestas e pastagens) a condutância estomática *bulk* a partir de dados climáticos registrados acima do dossel por estações automáticas.

A parcela de energia gasta para evaporar água foi similar, na estação chuvosa, na floresta e na pastagem, mas a evaporação total da pastagem foi menor (10% a 15%) que a da floresta. Essa diferença decorre da menor energia disponível na pastagem e de sua menor rugosidade aerodinâmica. Na estação seca, a redução das reservas de água no solo afetou todos os sítios de pastagem, mas em intensidades diferentes, em função do tipo de solo e do volume de chuvas. Em contraste, não houve atenuação significativa de transpiração nas áreas de floresta, inclusive nos períodos secos mais longos em Marabá e Ji-Paraná. Os atuais modelos climáticos para a floresta amazônica tendem a subestimar a profundidade das raízes, re-

duzindo – de modo incorreto – a evaporação quando ocorre déficit hídrico na parte superior do solo.

A ÁGUA NO SOLO

Os cientistas que estudam a física dos solos ou trabalham com modelagem climática enfrentam um grande desafio: representar corretamente, em modelos de grande escala, as propriedades hidráulicas dos diferentes tipos de solo. Como o ciclo da água sob a superfície é muito variável, os valores médios usados em modelos elaborados para regiões amplas estão sujeitos a erros, pois representam áreas muito extensas. O projeto Abracos adotou uma simplificação pragmática dos mapas de solos amazônicos, fazendo medições semanais (figura 9) em pelo menos três tipos principais, mas isso foi suficiente para obter uma representação de solos mais realista que as antes empregadas.

Para estudar as características dos solos de áreas desmatadas, o projeto realizou medições em locais próximos a Manaus. Nas áreas de floresta, a condutividade hidráulica – permeabilidade à água – junto à superfície é tão alta, por



Figura 9. Medição da variação da permeabilidade do solo à água em área de pastagem, na fazenda Dimona, perto de Manaus.



Figura 10. Uma sonda de nêutrons foi utilizada para medir as mudanças no conteúdo de água no solo.

causa do sistema de raízes e da estrutura física do terreno (presença de macroporos), que supera a capacidade dos instrumentos de medida. Mas podem ocorrer mudanças se há desmatamento. Na floresta, raramente é visto escoamento superficial, mas em áreas desmatadas a infiltração pode ser reduzida pela compactação do solo, decorrente do pisoteio do gado ou do uso de maquinário agrícola pesado. Essa redução foi constatada em pastagem perto de Manaus.

Na pastagem, a condutividade hidráulica variou bastante com a profundidade, de mais de 100mm por hora à superfície até 17mm por hora a 1,3m (figura 10). Zonas de alta condutividade apresentaram número substancial de macro e mesoporos. O impacto do desmatamento é maior nos primeiros 20cm de profundidade: abaixo daí as propriedades dos solos, sob floresta e sob pastagem, são bastante similares, embora isso dependa do tipo de máquinas usadas e da quantidade de gado por hectare.

Diz-se com frequência que as árvores da floresta tropical têm raízes rasas, que formam um emaranhado perto da superfície. O emaranhado existe e tem a

função básica de extrair nutrientes da camada superficial do solo, mas tais árvores também possuem raízes profundas. Na estação seca, foi constatado que as plantas da floresta retiram água de várias camadas de solo (ao final da estação, os perfis de água obtidos ficaram mais secos, dentro da faixa de medições). Outros estudos confirmam esse resultado, indicando que a floresta extrai água de profundidades maiores que 3,6m (alcançe máximo dos aparelhos de medição), através de raízes muito finas encontradas a até 8m abaixo da superfície.

A afirmação é reforçada pelas variações máximas de armazenamento medidas (até 3,6m abaixo da superfície) nos sítios de Manaus e Marabá. Nesse último, tais variações chegaram a 742mm (para floresta) e 376mm (pastagem), valores condizentes com uma estação seca mais longa. Tanto as variações de armazenamento quanto a diferença do índice entre floresta e pastagem foram bem menores para Manaus, onde a estação seca é menos severa, mas nesse caso a baixa capacidade de retenção dos solos resultou na extração de água de profundidades maiores.

A floresta, portanto, tem acesso a um

maior reservatório de água, que pode durar muitos meses. As gramíneas das pastagens, com suas raízes mais rasas, só podem obter água de profundidades até 2m, dependendo do tipo de solo e do tamanho das raízes. Uma vez que toda a água disponível na faixa de acesso é extraída, durante a estação seca, a pastagem começa a definhar e eventualmente morre.

Um fato interessante foi observado em Marabá: a estação chuvosa que se seguiu ao déficit máximo (medido na estação seca, sob a floresta) não recarregou completamente o perfil de água no solo. O valor máximo alcançado ficou 349mm abaixo do registrado na mesma época do ano anterior. Isso significa que o balanço anual de água não foi nulo e que, se tais resultados fossem extrapolados para toda a região, a diferença entre volume de chuvas e vazão fluvial não indicaria corretamente a evaporação média anual. Embora incomum, o fato revela que estimativas de evaporação baseadas apenas em medições hidrológicas não devem ser usadas em modelos de grande escala.

As pesquisas mostraram que as variações do conteúdo de água no solo ao longo do ano apresentam grandes diferenças, tanto entre floresta e pastagem quanto entre os sítios experimentais do projeto. Esse resultado está associado aos variados regimes de chuvas, às propriedades do solo, ao comportamento do lençol freático e à profundidade das raízes da vegetação florestal e das gramíneas.

Combinando dados obtidos pelo projeto Abracos (de precipitação, de conteúdo de água no solo e micrometeorológicos), pesquisadores criaram um modelo matemático que calcula o armazenamento de água nos 2m superiores do solo, para floresta e pastagem, usando apenas volume diário de chuvas como dado de entrada. O modelo foi empregado para calcular o armazenamento de água no solo a partir da série histórica –

27 anos – de registros diários de precipitação na reserva Ducke, assumindo que a evaporação da floresta não é afetada pelo estresse hídrico do solo. Os resultados apontam que, em 20 dos 27 anos da série de registros, a floresta extraiu água de camadas abaixo de 2m. A extração média (nessa profundidade) foi de 60mm, com máximo de 231mm em 1967. Como a capacidade de retenção de água dos solos da região de Manaus é baixa, essa extração deve ocorrer em ampla faixa de solos profundos, o que exige raízes longas.

Ainda há muito a ser aprendido sobre as propriedades e o comportamento dos solos da floresta amazônica. É necessário medir as propriedades hidráulicas dos outros tipos de solos majoritários da Amazônia e também fazer medições a profundidades maiores que 4m, para conseguir um quadro completo do ciclo de água sob a superfície.

O CICLO DO CARBONO

As plantas assimilam dióxido de carbono (CO_2) durante a fotossíntese, quando

usam energia solar para sintetizar matéria vegetal, e liberam o gás através da respiração ou quando se decompõem. Os cientistas acreditavam que havia equilíbrio nessa troca, na floresta tropical virgem, embora não existissem medições confirmando ou desmentindo tal crença.

Estudos constataram que a biomassa vegetal, na pastagem, equivale a cerca de 2% da existente em uma mesma área de floresta virgem (figura 11). Isso significa que o desmatamento, como acontece na Amazônia, reduz drasticamente o estoque de carbono na vegetação. Esse carbono, na forma de CO_2 , é liberado de modo rápido (nas queimadas) ou lento (na remoção e decomposição da madeira). Por sua vez, o aumento da concentração do gás na atmosfera contribui para o aquecimento global (ao intensificar o chamado efeito estufa) e afeta o clima.

Testes sobre a floresta da reserva Jaru, com a técnica denominada correlação de vórtices turbulentos (eddy correlation), mostraram que o fluxo de CO_2 pode ser medido de forma confiável e contínua por longos períodos. Em 1995 e 1996, o projeto Abracos usou dois

modelos diferentes (baseados em dados climáticos coletados acima da floresta, em estação meteorológica automática) para avaliar esse fluxo. Ambos os modelos indicaram que a floresta era um sorvedouro significativo para carbono. Esse mesmo tipo de medida vem sendo realizado desde outubro de 1995 na reserva florestal de Cuieiras, 100km ao norte de Manaus, e os resultados reforçam a conclusão de que a floresta absorve carbono.

A extrapolação das estimativas obtidas no local para toda a área florestada – um exercício especulativo – indica que a Amazônia poderia estar absorvendo cerca de 500 milhões de toneladas de carbono por ano. O resultado contraria a tese do equilíbrio nas trocas do elemento. Mas o curto período de estudo, as limitações dos modelos climáticos e a constatação de que os dados básicos dos cálculos são diferentes em outras áreas da Amazônia impõem que esse valor seja visto com muita cautela e exigem maior coleta de informações, em todos os principais ecossistemas amazônicos e por períodos mais longos (avaliando a variação interanual).



Figura 11. A biomassa (madeira e folhas) foi medida, perto de Manaus, por amostragens destrutivas em pequena área de floresta e de pastagem. Na floresta, a biomassa atingiu 265 toneladas de matéria seca, da qual cerca de 50% é carbono, enquanto em área idêntica de pastagem chegou a apenas seis toneladas.

LIBERAÇÃO DE CARBONO

QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS	5,5 - 6,0
QUEIMA DE BIOMASSA	ERROR!
BOOKMARK NOT DEFINED. 1,0 - 1,5	

DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO LIBERADO

DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO LIBERADO	
FRAÇÃO QUE PERMANECE NA ATMOSFERA	3,5
FRAÇÃO ABSORVIDA PELOS OCEANOS* E PELA VEGETAÇÃO**	ERROR!
BOOKMARK NOT DEFINED. 3,0 - 4,0	

* OCEANOS 50%

** VEGETAÇÃO 50% — FLORESTAS DE ALTAS LATITUDES 50%
FLORESTAS TROPICAIS 50%

Figura 12. Valores atuais do balanço global de carbono (em bilhões de toneladas por ano).

No entanto, valores mais recentes do balanço global de carbono em um ano indicam que metade da absorção pela vegetação mundial acontece nos trópicos (figura 12). É possível, portanto, que a Amazônia desempenhe papel importante, em parte por causa do crescimento da floresta secundária e da rebrota em áreas abandonadas. Estudos de sensoriamento remoto apontam que cerca de um terço da área desmatada na floresta amazônica brasileira está rebrotando. Isso deve significar uma absorção de 0,05 a 0,1 bilhão de toneladas de carbono por ano. Embora ainda seja um volume pequeno para fazer diferença no balanço global, é mais um elemento indireto para reforçar a hipótese de absorção pela floresta.

Conhecer as fontes e sorvedouros globais de carbono permite prever como o clima do planeta reagirá à contínua liberação desse elemento pela queima dos combustíveis fósseis. Nesse contexto, o papel das florestas tropicais – aumentar a concentração de CO₂ na atmosfera (ao serem destruídas) ou arrefecer o processo (ao acumular carbono) – depende da intensidade futura dos desmatamentos.

CAMADA LIMITE

A camada limite atmosférica é a mais próxima da superfície, que sofre a influência diária do aquecimento e resfriamento do solo. Normalmente, sua espessura varia de 1 a 3km, durante o dia, e é muito menor à noite. A ligação entre

os fluxos superficiais de vapor d'água e calor e a circulação geral da atmosfera é feita através dessa camada, o que torna importante a sua correta representação nos modelos que simulam o clima.

Estudos em Ji-Paraná – radiossondas e balões mediram temperatura, umidade e ventos a diferentes alturas (figura 13) – revelaram que a camada limite, durante o dia, foi mais alta (700m a 1.000m) sobre áreas desmatadas do que sobre áreas adjacentes com floresta. A descoberta combina com outros resultados obtidos para pastagem: maior fluxo de calor sensível na superfície e menor evaporação, em comparação com a floresta.

Os dados coletados nesses estudos permitiram testar modelos de crescimento da camada limite. Um modelo baseado em dados de calor sensível na superfície e de entranhamento no topo (mistura do ar mais úmido da camada limite com o ar mais seco de camadas superiores) representou bem esse crescimento durante todo o dia, sobre a floresta, mas apenas da metade da manhã para a frente, na área de pastagem. Nessa área, o modelo não previu a rápida expansão

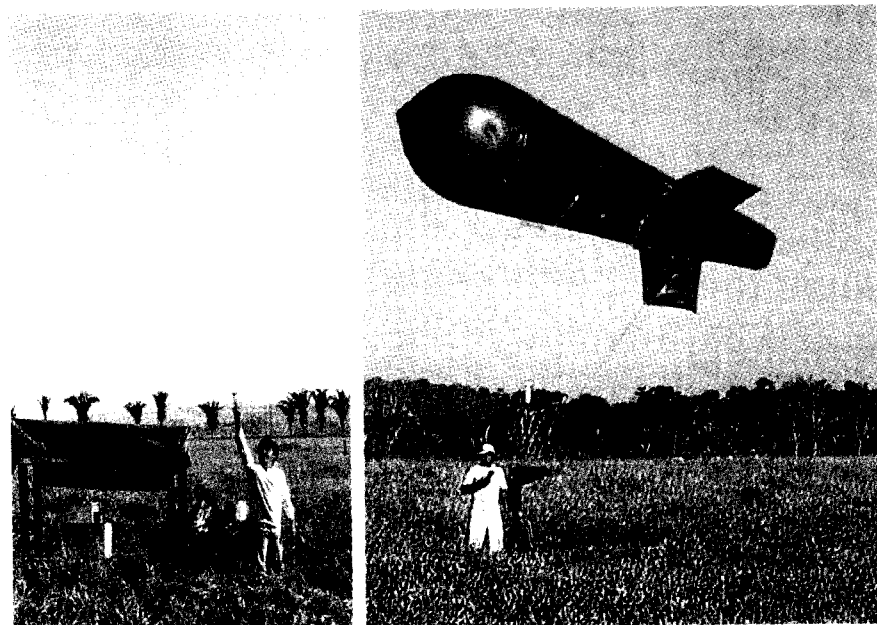


Figura 13. Radiossondas (à esquerda) e balões cativos foram utilizados para medir as propriedades atmosféricas. As primeiras alcançam até 15km de altitude, enquanto os balões podem fazer medições detalhadas até 1km.



Figura 14. Imagem de satélite de área próxima a Ji-Paraná. Os locais de estudo do projeto Abracos estão indicados, e é possível visualizar o padrão 'espinha-de-peixe', com faixas alternadas de floresta e pastagem.

da camada antes das 11 horas da manhã. Uma explicação para a falha pode estar no tipo de cobertura vegetal existente naquela região de Rondônia (figura 14), com faixas desmatadas e faixas de floresta alternadas (tal padrão, conhecido como 'espinha de peixe', não estaria adequadamente representado no modelo testado).

EFEITOS DO DESMATAMENTO

Os dados coletados pelo projeto Abracos serviram para calibrar os modelos climáticos do Hadley Centre, da Grã-Bretanha, e do Serviço de Meteorologia da França, além do modelo de superfície vegetada usado no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), no Brasil, e em dois centros de pesquisa norte-americanos – o Goddard Space Flight Center (GSFC, da Nasa) e o Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA). Simulações dos efeitos do desmatamento foram realizadas com todos esses modelos.

Os resultados mais recentes dessas

simulações indicam que haveria uma resposta substancial ao desmatamento. O clima amazônico ficaria mais quente e menos úmido. A redução do volume anual de chuvas poderia chegar até a 20%, caso toda a floresta amazônica fosse substituída por pastagens (figura 15). Verificou-se ainda que o resultado de uma simulação na qual apenas parte da Amazônia seria desmatada – cenário mais realista – não poderia ser deduzido facilmente da experiência de desmatamento total. Isso indica que as previsões dos MCG são bastante sensíveis à representação das características da superfície vegetada. Portanto, é essencial que estas sejam representadas corretamente.

É interessante ressaltar que as alterações de temperatura e de umidade previstas para a Amazônia nas simulações de desmatamento são tão amplas quanto as esperadas para a região caso seja duplicada a concentração atmosférica de CO₂ (pela queima de combustíveis fósseis e outros fatores). Isso mostra que o impacto – sobre a região – de modificações em sua cobertura vegetal é pelo



Figura 15. Variação anual de chuvas (em milímetros por dia) prevista pelo modelo climático do Hadley Centre para a Amazônia se toda a floresta fosse substituída por pastagens.

menos tão importante quanto os potenciais efeitos regionais do aquecimento global.

A prioridade, agora, é aplicar a enorme quantidade e variedade de dados coletados pelo projeto Abracos no desenvolvimento, calibração ou validação de modelos climáticos. As informações já serviram para redefinir alguns parâmetros usados nesses modelos e estão disponíveis para toda a comunidade científica. Seu emprego trará uma melhora imediata no realismo dos estudos de modelagem do clima da Amazônia. E, mais do que isso, a maior compreensão de como os processos – no solo, nas plantas e na atmosfera – alteram-se quando a floresta é substituída por pastagem garantirá maior confiança na interpretação das previsões científicas sobre os reais efeitos do desmatamento.

Sugestões para leitura:

GASH, J.; NOBRE, C.; ROBERTS, J. & VICTORIA, R. *Amazon deforestation and climate*, Wiley, Londres, 1996.