

## **Entendendo o Clima da Amazônia: Avanço do LBA**

Carlos A. Nobre e José A. Marengo  
*Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
São José dos Campos, Brasil*

Paulo Artaxo  
*Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil*

A Amazônia desempenha um papel importante no funcionamento do clima da Terra. Ela atua como uma das fontes indispensáveis de calor para a atmosfera global por meio da evaporação do vapor d'água na superfície e liberação de calor na média e alta troposfera pelo calor latente de condensação em nuvens convectivas tropicais. A evaporação ao longo do ano é de aproximadamente 3 a 3,5 mm d<sup>-1</sup>. Mas, em regiões de savana na fronteira com a floresta amazônica, a evaporação se reduz durante a estação seca devido à limitação de umidade do solo. O desmatamento causa uma grande redução na evaporação da estação seca. O regime de chuva e nebulosidade de floresta não perturbada é similar ao de um oceano tropical, o que nos leva a chamar a Bacia Amazônica de "oceano verde". Compostos orgânicos voláteis biogênicos são liberados pela floresta na atmosfera, onde alguns têm papel importante no fornecimento de aerossóis e núcleos de condensação de nuvem. Por outro lado, aerossóis emitidos pela queima de biomassa podem causar redução de chuva. Juntos, os capítulos desta seção revelam uma mistura complexa de processos que interagem e atuam no controle orquestrado do movimento e composição da atmosfera acima da Amazônia. Cada estudo separado revela alguns novos conhecimentos de uma faceta, mas juntos revelam um sistema integrado, no qual a mudança que ocorre em um produzirá impactos em outro. A mensagem mais importante é que o desmatamento não é apenas uma mudança do uso da terra, mas afeta o funcionamento do ecossistema amazônico em si mesmo. Mudanças na evaporação e composição química da atmosfera produzem mudanças na física da nuvem, na dinâmica e na termodinâmica da circulação atmosférica. Estas, por sua vez, produzem impactos na chuva e no ciclo hidrológico.

A imensa extensão e posição próxima ao Equador asseguram à Amazônia um papel crítico no funcionamento do clima da Terra. Sabemos que, em termos gerais, a Amazônia é uma forte fonte global de vapor d'água e, portanto, de calor latente; a água evaporada à superfície é transportada para a alta troposfera por convecção

tropical intensa, e de lá contribui com energia para mover a circulação atmosférica global. *Nobre et al.*, (neste volume] apresentam uma análise mais completa, mas, colocada em termos simples, o vapor d'água é transportado por ventos alísios que se movimentam para o oeste através da Bacia Amazônica, oriundos do Atlântico, e a evaporação recicla a chuva à medida que se move. A barreira das montanhas andinas desvia então o ar nos níveis baixos da atmosfera em direção ao sul, que transporta a umidade para a Bacia do Prata. Entretanto, sobrepostas a esta simples análise, há variações características temporais, de interanuais a interdecadais, e espaciais. Muito da variação temporal é causado por flutuações nas temperaturas da superfície dos oceanos Atlântico e Pacífico tropical. Mas o quanto resulta das forçantes através da mudança climática e desmatamento? Identificar essas mudanças antropogênicas nos processos que movimentam as interações terra-atmosfera tem sido a tarefa central dos meteorologistas no LBA.

Análise de dados de torres de fluxo [*da Rocha et al.*, neste volume] mostraram que sítios de alta pluviosidade com estações secas curtas em geral têm taxas de evapotranspiração de 3 a 3,5 mm d<sup>-1</sup>, com evaporação em torno de 10% mais alta na estação seca do que na úmida. Nas margens da savana, há uma resposta oposta, e a evaporação da estação seca diminui em resposta à umidade reduzida do solo. O desmatamento reduz a evaporação da estação seca ainda mais, e a camada limite atmosférica que conecta a superfície à atmosfera acima, responde àquela seca [*Betts et al.*, neste volume]. A cada dia, a camada limite atmosférica tipicamente atinge mais de um quilômetro de profundidade, movida pelo fluxo convectivo oriundo da superfície. O desmatamento aumenta a fração de radiação solar incidente que é transferida para o fluxo de calor sensível, com a altura da camada limite e a consequente base de nuvem, respondendo. A base de nuvem durante a estação seca sobre pastagem desmatada pode ser quatro vezes a que se observa sobre a floresta na estação chuvosa, cuja baixa altitude é mais típica de oceanos tropicais. Essa analogia entre florestas de estação chuvosa e oceanos, ou seja, a Bacia Amazônica como "oceano verde", é um tema recorrente nos resultados do LBA.

Compostos orgânicos voláteis biogênicos são liberados pela floresta na atmosfera, onde alguns desempenham um papel importante no fornecimento de aerossóis e núcleos de condensação de nuvem [*Kesselmeier et al.*, neste volume]. Há um grande número desses componentes, e o papel individual de cada espécie química na geração de chuva está longe de ser entendido. Entretanto, novas medições resultaram na caracterização dos fatores controladores de emissões, com variáveis como a luz, temperatura, fotossíntese e fenologia que fornecem uma nova base para a modelagem de emissão e sua variação sazonal. À medida que a terra é desmatada, compostos biogênicos naturais são substituídos por partículas de aerossóis liberadas durante a queima de pastagens [*Longo et al.*, neste volume]. Esses aerossóis foram amostrados por aeronaves e rastreados por sensoriamento remoto. Sensoriamento remoto combinado com modelos meteorológicos pode agora ser usado para prever impactos de fumaça no clima e na qualidade do ar. Uma coluna de fumaça rastreada por satélite à medida que se moveu da Amazônia e através do sul do Brasil foi modelada com sucesso. Na estação úmida, as concentrações de núcleos orgânicos de condensação emitidos naturalmente mostraram-se muito baixos, novamente, conforme observados sobre os oceanos, mas estes levam à formação de grandes gotas de nuvem [*Artaxo et al.*, neste volume]. Por outro lado, na estação seca a alta concentração de aerossóis emitida durante queimadas produz uma grande população de pequenas gotas. Essas pequenas gotas inibem a precipitação, causando um impacto direto no uso da terra e clima. A concentração de aerossóis da estação seca foi também associada ao aumento da quantidade de luz solar difusa; isso inicialmente aumenta a penetração da luz no dossel e aumenta a fotossíntese, mas em altas concentrações, a fotossíntese se interrompe completamente.

Muitos experimentos com modelos climáticos globais compararam a Amazônia totalmente desmatada por meio de uma comparação com a floresta atual. Quase todos preveem que o desmatamento resulta na diminuição da evaporação e convergência de umidade, levando à redução de chuva. Entretanto, modelos meteorológicos regionais de alta resolução sugerem agora que o desmatamento parcial pode

promover a formação preferencial de nuvem e aumento de chuva sobre áreas desmatadas [Silva Dias et al., neste volume]. Claramente, deve haver um “ponto limiar” ou “pontos de não retorno”, em algum nível crítico de derrubada em que os processos em menores escalas são dominados completamente pelos processos em larga escala. Tais “pontos limiares” foram identificados em outros estudos [Marengo et al., neste volume]: aumento da concentração de gases de efeito estufa, desmatamento, queima disseminada de biomassa, aumento das condições tipo El-Niño no Pacífico, e mudanças na temperatura de superfície do mar no Oceano Atlântico tropical, todos eles são vetores que levam à mudanças no ciclo hidrológico amazônico. Uma mudança permanente da floresta para vegetação semelhante à savana, à medida que o clima de um estado de quase equilíbrio muda para um outro, foi identificada como um evento improvável quando se trata de pequenas perturbações, mas com possibilidade finita de impactos potencialmente imensos, de magnitude significativa para o aquecimento global ou desmatamento. Juntos, os capítulos desta seção revelam uma mistura complexa de processos interativos que atuam no controle orquestrado do movimento e composição da atmosfera sobre a Amazônia. Cada estudo, em separado, revela alguns novos insights de uma faceta, mas juntos, revelam um sistema integrado, no qual a mudança que ocorre em um componente produzirá impactos em outro. A mensagem mais importante é que o desmatamento não é apenas uma mudança do uso da terra, e sim um processo que afeta o funcionamento do ecossistema amazônico em si mesmo. Mudanças na evaporação e composição química da atmosfera produzem mudanças na física da nuvem, na dinâmica e na termodinâmica da circulação atmosférica. Essas, por sua vez, produzem impactos na chuva e no ciclo hidrológico.

## REFERÊNCIAS

Artaxo, P., et al. (2009), Aerosol particles in Amazonia: Their composition, role in the radiation balance, cloud formation, and nutrient cycles, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000778, this volume.

- Betts, A. K., G. Fisch, C. von Randow, M. A. F. Silva Dias, J. C. P. Cohen, R. da Silva, and D. R. Fitzjerald (2009), The Amazonian boundary layer and mesoscale circulations, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000725, this volume.
- da Rocha, H. R., A. O. Manzi, and J. Shuttleworth (2009), Evapotranspiration, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000744, this volume.
- Kesselmeier, J., A. Guenther, T. Hoffmann, M. T. Piedade, and J. Wamke (2009), Natural volatile organic compound emissions from plants and their roles in oxidant balance and particle formation, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000717, this volume.
- Longo, K. M., S. R. Freitas, M. O. Andreae, R. Yokelson, and P. Artaxo (2009), Biomass burning in Amazonia: Emissions, long-range transport of smoke and its regional and remote impacts, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000847, this volume.
- Marengo, J., C. A. Nobre, R. A. Betts, P. M. Cox, G. Sampaio, and L. Salazar (2009), Global warming and climate change in Amazonia: Climate-vegetation feedbacks and impacts on water resources, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000743, this volume.
- Nobre, C. A., G. O. Obregón, J. A. Marengo, R. Fu, and G. Poveda (2009), Characteristics of Amazonian climate: Main features, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000720, this volume.
- Silva Dias, M. A., R. Avissar, and P. Silva Dias (2009), Modeling the regional and remote climatic impact of deforestation, *Geo-phys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000817, this volume.

P. Artaxo, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, SP 05508-900, Brasil.

J. A. Marengo e C. A. Nobre, Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 5151-2201 - São José dos Campos, SP, Brasil. (carlos.nobre@inpe.br)

Tradução: Ivani Pereira

Revisão: José A. Marengo

Copyright © 2010 American Geophysical Union, Washington, D.C., USA. All rights reserved.

These materials are protected by the United States Copyright Law, International Copyright Laws and International Treaty Provisions.

Estes materiais são protegidos pela Lei de Direitos Autorais dos Estados Unidos, por Leis Internacionais de Direitos Autorais e Disposições de Tratados Internacionais.