

Biogeoquímica e Ecologia de Ecossistemas Terrestres da Amazônia

Yadvinder Malhi

*Environmental Change Institute, School of Geography and the Environment,
University of Oxford, Oxford, UK*

Eric A. Davidson

Woods Hole Research Center, Falmouth, Massachusetts, USA

A última década de pesquisa integrada do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) produziu avanços substanciais no nosso entendimento da biogeoquímica e ecologia de florestas amazônicas e savanas, em particular, em relação ao ciclo do carbono na Amazônia. Neste capítulo, apresentamos uma síntese de resultados e de ideias, descritos em mais detalhes nos capítulos subsequentes que, juntos, desenham as evidências de estudos de ecologia florestal, ecofisiologia, fluxos de gases traço e torres de fluxos atmosféricos, experimentos de manipulação de precipitação em grande escala e levantamentos de solo, sensoriamento remoto por satélite e quantificação de estoques, e fluxos de carbono e nutrientes. Os estudos demonstraram a variabilidade do funcionamento e a biogeoquímica de florestas amazônicas numa variação de escalas espaciais e temporais, e fornecem indicações de como a Amazônia irá responder à pressão direta em curso e à mudança atmosférica global. Concluímos destacando as perguntas chave que serão tratadas na próxima década de pesquisa.

1. INTRODUÇÃO

O Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) resultou de um esforço internacional sem precedentes para entender o funcionamento da vegetação da Amazônia e sua interação com a atmosfera e a hidrosfera. Como resultado, a Amazônia é, hoje,

a principal região de floresta tropical do mundo mais bem estudada, embora nossa jornada rumo a um entendimento abrangente do funcionamento desse sistema esteja apenas começando. Algumas das questões chave formuladas pelo LBA em relação à vegetação e solos da Amazônia incluem o seguinte: (1) De que modo a estrutura e o funcionamento das florestas amazônicas variam através da região; que fatores impulsionam essa variação? (2) Qual a quantidade de carbono estocada na vegetação e solos da Amazônia; esse estoque de carbono está

aumentando ou diminuindo em resposta à mudança ambiental contemporânea? (3) De que modo o suprimento de nitrogênio, fósforo e de outros nutrientes afeta as florestas amazônicas, a viabilidade e a sustentabilidade de práticas de manejo após a conversão de florestas em outros usos da terra? (4) De que modo a vegetação amazônica responde à seca sazonal, interanual e de longo prazo? (5) Que papel a Amazônia desempenha nas teleconexões climáticas globais e nos balanços dos principais gases traço atmosféricos? (6) De que modo as florestas amazônicas estão mudando e como irão mudar em resposta à mudança climática?

Nesta introdução, apresentamos uma visão geral dos temas principais discutidos nesta seção. Os capítulos não são introduzidos na sequência tal qual apresentada no livro, mas uma ordenação apropriada a esta narrativa.

2. SUPRIMENTO E LIMITAÇÕES DE NUTRIENTES

O suprimento de nutrientes afeta a composição e função da floresta e também a viabilidade da produção agrícola e pecuária em áreas convertidas de florestas, e a taxa de recuperação de florestas em terras degradadas. [Davidson e Martinelli [neste volume], Luizão et al. [neste volume] e Lloyd et al. [neste volume] e apresentam uma revisão da pesquisa do LBA sobre a limitação de nutrientes na Amazônia. Tem sido sugerido que o principal nutriente limitante de muitas florestas tropicais de planícies que crescem em solos altamente lixiviados pode ser o fósforo e não o nitrogênio. A pesquisa do LBA nos últimos anos tem confirmado e refinado esse quadro. Em escala regional, a taxa de crescimento e a produtividade primária líquida de árvores de florestas maduras não parecem fortemente relacionadas com a concentração de fósforo na folha que, por sua vez, é fortemente correlacionada com as condições do solo [Malhi et al., neste volume; Lloyd et al. neste volume]. As florestas amazônicas maduras parecem ter suprimento abundante de nitrogênio, que leva a um ciclo "frouxo" de nitrogênio e emissões significativas de N₂O gasoso do solo [Bustamante et al., neste volume]. Entretanto, a limitação de nitrogênio de fato aparece em solos arenosos, em

regiões montanhosas e talvez também na estação seca em florestas sazonalmente secas, quando a liteira de folhas secas e a superfície do solo retardam a decomposição e a mineralização [Lloyd et al., neste volume]. Talvez o mais importante é que as florestas secundárias parecem limitadas em nitrogênio devido às perdas na ciclagem ativa de N durante a fase agrícola [Luizão et al., neste volume] que leva várias décadas de sucessão de floresta secundária para se recuperar [Davidson e Martinelli, neste volume]. Os sistemas agrícolas podem, portanto, estar limitados tanto em fósforo quanto em nitrogênio, além de outros nutrientes [Luizão et al., neste volume]. Esse amplo cenário de limitação de fósforo em florestas de planícies amazônicas tem se confirmado, mas a pesquisa tem também revelado um papel efêmero, mas importante, da limitação de nitrogênio na dinâmica de florestas e paisagens não florestais. O manejo de nutrientes é um aspecto chave de pesquisa sobre agricultura sustentável e manejo florestal na Bacia Amazônica [Luizão et al., neste volume].

3. TROCAS DE GASES TRAÇO

A Amazônia desempenha um papel global importante não apenas na ciclagem de água, energia e carbono, mas também na ciclagem dos principais gases traço, tais como o óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N₂O) e metano, os quais têm papéis significativos na química atmosférica e podem ser importantes gases de efeito estufa. Bustamante et al. [neste volume] apresentam uma revisão de descobertas recentes de pesquisa sobre fontes e sumidouros de gases traço na Amazônia e no cerrado. A disponibilidade de nitrogênio e o suprimento de água são determinantes nas emissões naturais de NO e N₂O. A mudança no uso da terra pode causar um aumento temporário das emissões de N₂O e NO, mas as pastagens de gado com pouco mais de alguns anos produzem emissões mais baixas do que as florestas nativas, o que se deve, em parte, aos declínios da disponibilidade de nitrogênio [Luizão et al., neste volume]. As taxas de sequestro de metano atmosférico também diminuem à medida que as pastagens envelhecem

e os solos se tornam compactados. Grandes incertezas nas estimativas regionais permanecem com relação aos balanços regionais e os efeitos de mudança no uso da terra, além de outras que possam ocorrer à medida que as pastagens de gado são substituídas por agricultura de rotação com fertilizantes.

4. BIOGEOGRAFIA DAS FLORESTAS AMAZÔNICAS E SAVANAS

Uma das conquistas da era LBA foi o avanço significativo do entendimento da variação regional na estrutura e dinâmica da vegetação e a composição da comunidade arbórea através da região amazônica, e o modo como essas variações estão relacionadas às condições do solo e clima [Malhi *et al.*, neste volume; Phillips *et al.*, neste volume; Lloyd *et al.*, neste volume]. Em particular, a Rede Amazônica de Inventários Florestais (RAINFOR) de parcelas florestais de longo prazo descreveu e explorou, num amplo gradiente de leste a oeste, a função da floresta e mostrou como muitos traços funcionais da floresta podem covariar em resposta às mudanças das condições ambientais. As florestas de planícies no oeste da Amazônia tendem a ter produtividade mais alta do que aquelas no leste da Amazônia e por isso ocorrem taxas mais altas de recrutamento e mortalidade de árvores, árvores de vida mais curta, média mais baixa de densidade de madeira, e folhas mais finas e mais ricas em nutrientes. O mais surpreendente, talvez, seja que a produtividade mais alta da Amazônia ocidental está associada com a biomassa levemente mais baixa, uma vez que as ocorrências de *turnover* são maiores e as densidades da madeira são levemente mais baixas. Parece que a fertilidade do solo e, em particular o fósforo, impulsiona esse gradiente leste-oeste: os solos da Amazônia ocidental em geral têm idade Pleistocênica e Holocênica, depositados nas planícies de rios sinuosos que carregam material recentemente erodido dos Andes. Os solos da região central e oriental em geral são Ferralssolos antigos, altamente lixiviados e inférteis.

O segundo gradiente ambiental chave na Amazônia é o amplo gradiente de precipitação a partir do clima de alta pluviosidade do noroeste

até a forte sazonalidade do sudeste. Outro foco do LBA foi o impacto dessa sazonalidade de precipitação na comunidade da vegetação e na sazonalidade da função da vegetação. A transição mais importante ao longo desse gradiente é da floresta para savana, e essa fronteira floresta-savana está amplamente relacionada com a frequência interanual de seca intensa. Entretanto, a fertilidade do solo também parece exercer influência, com parcelas férteis favorecendo a floresta tropical sazonal, e parcelas inférteis favorecendo as savanas [Lloyd *et al.*, neste volume].

5. METABOLISMO E SUA VARIAÇÃO SAZONAL

Vários aspectos da pesquisa do LBA concentraram-se na aquisição de conhecimento detalhado em alguns sítios focais. Assim, um amplo espectro de medições, algumas delas aplicadas pela primeira vez em um contexto tropical, desenharam um quadro detalhado da fisiologia, metabolismo e ciclagem de carbono, nutrientes e água nessas parcelas de floresta tropical. Uma característica particular foi o estabelecimento de torres de fluxos em vários sítios através da Amazônia brasileira para a medição da covariância de vórtices turbulentos (resultados dessas medições são apresentados por Saleska *et al.* [neste volume]; ver também Houghton *et al.* [neste volume] e Lloyd *et al.* [neste volume]). Esses estudos por meio de torres propiciaram uma nova compreensão da sazonalidade da dinâmica do carbono. Os sítios na Amazônia central parecem apresentar pouco declínio na fotossíntese da floresta na estação seca ou até um certa intensificação da fotossíntese sob condições de ausência de nuvens na estação seca. Muitas dessas florestas tendem a ter suprimento de água suficiente na estação seca na maioria dos anos em razão da alta capacidade de retenção hídrica dos solos bem drenados, apesar de ricos em argila, que pode ser acessado por meio dos sistemas de raízes profundas [Meir *et al.*, neste volume; Lloyd *et al.*, neste volume]. As florestas ao sul da Amazônia, entretanto, parecem exibir um declínio maior da fotossíntese na estação seca. Esse padrão de variação sazonal foi amplamente corroborado por

observações do Índice de Vegetação Melhorado (Enhanced Vegetation Index) com imageamento adquirido de sensores a bordo dos satélites Terra e Aqua do Radiômetro Espectral Imageador de Resolução Moderada (MODIS) [*Saleska et al.*, neste volume].

As medições de covariância de vórtices turbulentos propiciaram a quantificação da fotossíntese e da respiração da maior parte do ecossistema e de sua sensibilidade à variação sazonal e interanual do meio ambiente. Ao mesmo tempo, muitos estudos de vários componentes dos processos de produção e respiração compuseram um quadro detalhado do ciclo de produção de carbono, alocação, respiração e decomposição, em nível de parcela [*Malhi et al.*, neste volume]. Quando comparadas, as estimativas dos fluxos descendentes das torres ou da troca de gases do solo e medições de componentes ascendentes mostram uma consistência surpreendente. Esses estudos ressaltam que a produção de madeira, principal objeto dos estudos que focalizam o carbono, responde por apenas uma pequena fração (cerca de 10%) do ciclo de carbono do ecossistema. Mais abrangentemente, a eficiência de uso do carbono, a fração da fotossíntese bruta que acaba produzindo novos tecidos orgânicos, é de apenas 30% nas florestas maduras em solos do leste da Amazônia, mas pode chegar a 50% após o distúrbio e a crescente fertilidade do solo (concentração de fósforo). Tanto a produtividade abaixo do solo quanto acima parecem aumentar à medida que a fertilidade do solo aumenta, com pouca mudança na alocação relativa, mas o distúrbio parece causar uma alocação desproporcional acima do solo. O quadro emergente é que as trocas na alocação de carbono podem ser tão importantes quanto as trocas na fotossíntese e respiração total para a determinação da produtividade da madeira, biomassa e estrutura de florestas tropicais, mas o nosso entendimento dos determinantes da alocação é muito mais limitado. Outra característica interessante é que a produtividade líquida mais alta de floresta medida na Amazônia até o presente foi em florestas de solos altamente férteis de terra preta, criados por comunidades indígenas pré-colombianas [*Mahli et al.*, neste volume; *Luizão et al.*, neste volume].

6. RESPOSTA À SECA

Talvez um dos mais notáveis componentes do LBA tenha sido a implantação de experimentos de manipulação de precipitação em grande escala: dois experimentos de ressecamento de florestas maduras no Tapajós e Caxiuanã, e um experimento de irrigação na estação seca de uma floresta em Castanhal. *Meir et al.* [neste volume] sintetizam os resultados desses experimentos e suas implicações para o nosso entendimento da resposta da floresta amazônica à seca. Esses dois experimentos mostraram que nos primeiros anos a ecofisiologia demonstrou uma resiliência surpreendente à seca, parcialmente pelo acesso à água disponível a alguns metros da superfície do solo, por algum acesso a reservatórios mais profundos de água por meio de raízes profundas e ainda, pelo fechamento dos estômatos das folhas para limitar a perda de água. A respiração do solo não mostrou nem mudança e nem leve declínio pela seca induzida e, de modo geral, as secas de curtos e médios prazos não parecem causar um efluxo substancial de carbono da floresta para a atmosfera. Entretanto, essa resiliência parece ter um limite, pois, após alguns anos de seca, houve um pulso de mortalidade em ambos os sítios. Todavia, o mecanismo fisiológico imediato dessa mortalidade não é conhecido. As explicações mais plausíveis são que a diminuição contínua das reservas hídricas do solo causa uma deficiência hidráulica no sistema condutor de água da planta, ou que as árvores experienciam uma “fome de carbono”, uma vez que os custos da respiração ultrapassam a entrada fotossintética, ou outros fatores, tais como os patogênicos. A seca induzida também produziu o aumento considerável da inflamabilidade da área próxima ao solo, e é provável que a propagação do fogo tenha um papel maior do que a resiliência ecofisiológica à seca na determinação da resposta das florestas amazônicas à seca.

7. ESTOQUES DE CARBONO

As florestas tropicais são um dos maiores reservatórios de carbono do mundo, mas a magnitude exata desse reservatório permanece um objeto de pesquisa. A questão sobre o estoque de carbono deixou de ser um interesse puramente

acadêmico para tornar-se também uma questão de relevância para políticas públicas, pois a atenção global se concentra nos impactos das emissões de carbono oriundas de desmatamento na mudança climática e nos mecanismos potenciais para compensar esse carbono e manter as florestas vivas e saudáveis. A incerteza sobre a biomassa florestal é o maior termo de incerteza no cálculo das emissões de desmatamento [*Houghton et al.*, neste volume]. Importantes fontes de incerteza incluem a falta de dados suficientes (de derrubada da floresta) sobre a relação alométrica entre a biomassa da árvore e as dimensões da árvore, diferenças metodológicas que tornam difíceis as estimativas de biomassa por comparação cruzada entre sítios e representam um grande desafio para a extrapolação a partir de algumas centenas de amostras de parcelas para uma região tão vasta como a Amazônia. Ao longo da última década, houve um avanço significativo em todas as frentes (conforme descrito por *Mahli et al.* [neste volume]). As relações alométricas foram desenvolvidas e testadas na Amazônia central e oriental, baseadas em rigorosa e cuidadosa coleta de mais de 300 árvores. A utilização da rede de dados de toda a Amazônia, RAINFOR, permitiu que fosse aplicada uma metodologia consistente para examinar as variações regionais na biomassa. A aplicação de camadas de dados de sensoriamento remoto e climáticos permitiu uma extrapolação espacial mais rica de informações. Esses esforços recentes sugerem que cerca de 120 Pg C estejam estocados na biomassa viva da Amazônia. Há outros passos a serem dados, tais como o desenvolvimento de alometrias para outros tipos de florestas ou regiões da Amazônia, a expansão e a combinação de inventários florestais e abordagens por sensoriamento remoto, e a incorporação de novos produtos de sensoriamento remoto, tais como a última geração de radares e de instrumentos a laser, como o LIDAR.

As florestas amazônicas também contêm estoques substanciais de carbono dentro e sobre o solo. *Trumbore e de Camargo* [neste volume] apresentam uma revisão daquilo que se conhece sobre esses estoques e sua estabilidade, ou outros aspectos (com outros enfoques de *Malhi et al.* [neste volume] e *Lloyd et al.* [neste volume]). O carbono na madeira morta e a camada de liteira podem representar um estoque substancial e bastante lábil, equivalente aos estoques lábeis no

solo. O solo mais profundo (abaixo de 10 cm) contém grandes reservas, bem estáveis, de carbono em formas com idades médias de muitas centenas de anos e, em solos profundos, o estoque de carbono pode ser maior do que o estoque na biomassa viva. É improvável, entretanto, que esses estoques respondam, de modo significativo, à mudança climática numa escala temporal de um século. Para o entendimento da resposta dos solos de florestas tropicais à mudança no uso da terra e clima é essencial levar em conta a diferença exata entre os tempos de residência dos diferentes reservatórios de carbono no solo; deixar de considerar esse aspecto pode resultar numa avaliação superestimada da sensibilidade das reservas de carbono no solo.

8. O BALANÇO DE CARBONO DA AMAZÔNIA

A quantificação do balanço de carbono da Amazônia tem sido uma aspiração do LBA, pois permite entender os possíveis serviços de sequestro de carbono prestados pelas florestas e os danos da emissão de carbono produzidos pelo desmatamento e degradação. Isso também abre uma porta para um entendimento mais mecanicista sobre o modo como a Amazônia irá responder à mudança climática do século vinte e um. *Houghton et al.* [neste volume] apresentam uma revisão das evidências que caracterizam o nosso conhecimento sobre o balanço do carbono contemporâneo da Amazônia. Alguns aspectos chave se destacam. Primeiro, o desmatamento é, claramente, uma fonte substancial de CO₂ para a atmosfera. Segundo, observações de longo prazo de florestas amazônicas maduras não perturbadas sugerem que elas estão aumentando sua biomassa e absorvendo carbono (esse último resultado ainda gera alguma controvérsia, discutido por *Phillips et al.* [neste volume] e *Trumbore e de Camargo* [neste volume]). Uma aceleração da produção de biomassa, talvez estimulada pelo aumento de CO₂ atmosférico ou aumento da radiação difusa, poderia produzir um modesto sumidouro de carbono no solo, mas é improvável que os solos altamente intemperizados de florestas da Amazônia oriental sejam sumidouros significativos de C [*Trumbore e de Camargo*, neste volume].

A emissão oriunda de desmatamento e a absorção pela floresta intacta são similares em magnitude e podem se anular, reciprocamente, com pequeno grau de diferença, resultando em um balanço próximo de zero [Houghton et al., neste volume]. As abordagens atmosféricas, que vão de análises globais de concentração de dióxido de carbono a estudos de curto prazo em escala local por aeronaves e torres de fluxo de vórtices turbulentos, cada uma delas com suas próprias questões metodológicas, não têm conseguido quantificar o balanço de carbono líquido da região de modo conclusivo [Houghton et al., neste volume]. Um claro passo seguinte a ser dado seria uma campanha de longo prazo para amostragem atmosférica em múltiplos sítios utilizando altas torres e/ou aeronaves combinadas com observações à superfície da mudança de biomassa e ciclagem de carbono florestal, e estimativas detalhadas de emissões mensais de carbono produzidas por fogo, obtidas por sensoriamento remoto. Tal plano está em desenvolvimento pelos programas LBA – Balanço Regional de Carbono na Amazônia (BARCA) e o Amazon Integrated Carbon Analysis (AMAZONICA), os quais poderão, finalmente, fornecer uma resposta conclusiva à questão do balanço do carbono.

9. MUDANÇAS NA VEGETAÇÃO INTACTA AO LONGO DO TEMPO

Se as florestas amazônicas maduras estão aumentando em biomassa, então cabe uma pergunta sobre as razões pelas quais isso está ocorrendo e quais são as implicações para a ecologia e o funcionamento dessas florestas. Phillips et al. [neste volume] discutem essas questões. Um aspecto particularmente notável é que as florestas parecem ter acelerado em termos de crescimento arbóreo e taxas de mortalidade, resultando numa redução dos períodos de *turnover*, de modo geral. Isso, por outro lado, provavelmente venha a afetar a composição e a ecologia da floresta, o que irá favorecer espécies de crescimento rápido em detrimento daquelas de crescimento lento. Os autores argumentam que o padrão geral e a ampla extensão da mudança sugerem que um fator atmosférico

global determinante (provavelmente ou o CO₂ ou a qualidade alterada da luz) possa ser a causa mais plausível. Qualquer que seja a causa, Phillips et al. [neste volume] salientam que mesmo as florestas amazônicas mais remotas estão mudando e continuarão a mudar à medida que as concentrações de gases de efeito estufa e as temperaturas continuarem a aumentar. Entender a natureza, as causas e as consequências dessa mudança é um dos maiores desafios enfrentados pelos ecologistas da floresta amazônica neste século.

10. CONCLUSÃO

Em resumo, uma década de pesquisa integrada do LBA produziu avanços substanciais para o entendimento da ecologia e da biogeoquímica das florestas amazônicas, savanas e paisagens convertidas. Somente agora os pesquisadores estão no momento apropriado para sintetizar essas descobertas, e este livro representa um marco nesse processo que irá continuar, assim como as novas pesquisas geradas por essas descobertas e pelos novos programas de pesquisa desenvolvidos pelo núcleo de cientistas formado no LBA. Inevitavelmente, essa pesquisa levanta tantas questões quanto as responde. Aqui estão algumas: Se o fósforo de fato limita a produtividade da floresta, que processo fisiológico o está limitando? Como a resposta à mudança ambiental do século vinte e um irá variar entre as espécies e quais as implicações que isso terá na composição e ecologia da floresta? De que modo um aumento potencial de mais de 4°C da temperatura no século vinte e um irá afetar as florestas e sua fauna? Qual o potencial de intensificação agrícola em solos mais bem manejados; talvez por lições emprestadas dos solos de terra preta? De que modo a combinação do clima em transformação e o uso da terra em transformação e as interações dessas duas tendências afetarão a suscetibilidade das florestas ao fogo e às futuras transições de florestas em savanas? De que modo a mudança do clima e do uso da terra afetarão a quantidade e a qualidade da água que emana das terras amazônicas? Qual é o balanço do carbono da Amazônia, e de que modo ele se altera em épocas

de seca? As metodologias mais recentes nos permitirão mapear a biomassa florestal a partir de satélites? Todas essas questões precisam ser respondidas, e algumas precisam de respostas urgentes. O desafio está colocado para a próxima década de pesquisa científica enfrentar.

REFERÊNCIAS

- Bustamante, M. M. C., M. Keller, and D. A. da Silva (2009), Sources and sinks of trace gases in Amazonia and the cerrado, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000733, this volume.
- Davidson, E. A., and L. A. Martinelli (2009), Nutrient limitations to secondary forest regrowth, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi:10.1029/2008GM000732, this volume.
- Houghton, R. A., M. Gloor, J. Lloyd, and C. Potter (2009), The regional carbon budget, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi:10.1029/2008GM000718, this volume.
- Lloyd, J., M. L. Goulden, J. P. Ometto, S. Patiño, N. M. Fyllas, and C. A. Quesada (2009), Ecophysiology of forest and savanna vegetation, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000740 this volume.
- Luizão, F. J., P. M. Fearnside, C. E. P. Cerri, and J. Lehman (2009), The maintenance of soil fertility in Amazonian managed systems, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000742 this volume.
- Malhi, Y., S. Saatchi, C. Girardin, and L. E. O. C. Aragão (2009), The production, storage, and flow of carbon in Amazonian forests, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000779, this volume.
- Meir, P., et al. (2009), The effects of drought on Amazonian rain forests, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000882, this volume.
- Phillips, O.L., N. Higuchi, S. Vieira, T. R. Baker, K.-J. Chao, and S. L. Lewis (2009), Changes in Amazonian forest biomass, dynamics, and composition, 1980-2002, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000739, this volume.
- Saleska, S., H. da Rocha, B. Kruijt, and A. Nobre (2009), Eco system carbon fluxes and Amazon

forest metabolism, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000728, this volume.

Trumbore, S., and P. B. de Camargo (2009), Soil carbon dynamics, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi:10.1029/2008GM000741, this volume.

E. A. Davidson, Woods Hole Research Center, 149 Woods Hole Road, Falmouth, MA 02540-1644, USA.

Y. Malhi, Environmental Change Institute, School of Geography and the Environment, University of Oxford, South Parks Road, Road, Oxford OX1 3QY, UK. (yadvinder.malhi@ouce.ox.ac.uk).

Tradução: Ivani Pereira

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.