

Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle

Philip M. FEARNSIDE¹

RESUMO

O desmatamento na Amazônia procede a um alto ritmo por várias razões, muitas das quais dependem de decisões do governo. O desmatamento leva à perda de serviços ambientais, que têm um valor maior que os usos pouco sustentáveis que substituem a floresta. Estes serviços incluem a manutenção da biodiversidade, da ciclagem de água e dos estoques de carbono que evitam o agravamento do efeito estufa. Retroalimentações entre as mudanças climáticas e a floresta, por meio de processos tais como os incêndios florestais, a mortalidade de árvores por seca e calor e a liberação de estoques de carbono no solo, representam ameaças para o clima, a floresta e a população brasileira. Eventos recentes indicam que o desmatamento pode ser controlado, tendo a vontade política, pois os processos subjacentes dependem de decisões humanas.

PALAVRAS CHAVE

Aquecimento global, Biodiversidade, Desmatamento, Carbono, Ciclo hidrológico, Efeito estufa, Serviços ambientais

Deforestation in Amazonia: dynamics, impacts and control

ABSTRACT

Deforestation in Amazonia proceeds at a rapid rate for various reasons, many of which depend on government decisions. Deforestation causes losses of environmental services that are more valuable than the short-lived uses that replace the forest. These services include maintenance of biodiversity, of water cycling and of the stocks of carbon that avoid further intensification of the greenhouse effect. Feedbacks between climatic changes and the forest through such processes as forest fires, tree mortality from drought and heat and the release of carbon stocks in the soil represent dangers for the climate, the forest and the Brazilian population. Recent events indicate that deforestation can be controlled, given the political will, because the underlying processes depend on human decisions.

KEYWORDS

Biodiversity, Carbon, Deforestation, Environmental services, Global warming, Greenhouse effect, Hydrological cycle

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. Coordenação de Pesquisas em Ecologia-CPEC. E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

DESMATAMENTO

O desmatamento na Amazônia brasileira tem aumentado continuamente desde 1991, variando de acordo com as mudanças relacionadas às forças econômicas (Fig. 1). Estas mudanças incluem um pico no desmatamento em 1995, resultado do Plano Real, iniciação em 1994 e uma queda em 2005, resultado de taxas de câmbio desfavoráveis para exportações, combinado com a “operação Curupira” para reprimir a exploração madeireira ilegal em Mato Grosso, junto com criação de reservas e uma de área interdita no Pará após o assassinato da Irmã Dorothy Stang. É provável que o desmatamento futuro aumente ainda mais rapidamente por causa da constante expansão da rede de estradas. Decisões para construir ou pavimentar rodovias têm conseqüências de longo alcance, condenando a floresta circunvizinha ao desmatamento (por exemplo, Ferreira *et al.*, 2005; Soares-Filho *et al.*, 2004, 2005).

Os atores e as forças que conduzem ao desmatamento variam entre partes diferentes da região, e variam ao longo do tempo. Em geral, os grandes e médios fazendeiros respondem pela grande maioria da atividade do desmatamento, mas os pequenos agricultores podem atuar como forças importantes nos lugares onde estão concentrados.

Em Mato Grosso, grandes plantações de soja têm se alastrado em direção ao norte a partir da área de cerrado (Fearnside, 2001). A parte norte do Mato Grosso e muito das partes sul e leste do Pará são dominadas por grandes fazendas de pecuária. Em partes do Pará (tais como focos de desmatamento em Novo Repartimento), pequenos agricultores representam a força principal. Em Rondônia e ao longo da rodovia Transamazônica no Pará e no Amazonas, pequenos agricultores são agentes importantes. Porém, regionalmente, fica claro o domínio de

fazendas grandes e médias (Fearnside, 2005). Projetos rodoviários planejados, tais como a reconstrução das rodovias BR-163 (Cuiabá-Santarém) e a BR-319 (Manaus-Porto Velho), implicam na abertura de áreas grandes de floresta para a entrada de agentes de desmatamento. O mero anúncio de projetos de construção e de melhoria de rodovias leva a uma corrida especulativa de terra, com “grileiros” (grandes pretendentes ilegais de terra) freqüentemente tomando posse de áreas extensas em antecipação de lucros oriundos do rápido aumento do preço da terra, uma vez que a rodovia esteja completa. A quantidade continuamente crescente de infra-estrutura de transporte implantada representa uma garantia de níveis significativos de atividade de desmatamento futuro, na qual grande parte fica fora do controle do governo. A natureza descontrolada do processo de desmatamento poderia mudar substancialmente se a vontade política para fazer isto existisse. O fato de que a maior parte do desmatamento é feita por grandes fazendeiros representa uma oportunidade porque significa que a taxa global de desmatamento poderia ser reduzida bastante sem qualquer perigo de que agricultores pobres fossem obrigados a passar fome. A redução da perda de floresta também representa uma oportunidade por causa do fato que a maior parte do desmatamento é para pastagens pouco produtivas, fazendo com que uma redução significativa na taxa de desmatamento tivesse um custo de oportunidade pequeno para a economia nacional.

IMPACTOS

USO SUSTENTÁVEL

Os impactos do desmatamento incluem a perda de oportunidades para o uso sustentável da floresta, incluindo a produção de mercadorias tradicionais tanto por manejo florestal para madeira como por extração de produtos não-madeireiros. O desmatamento, também, sacrifica a oportunidade de capturar o valor dos serviços ambientais da floresta. A natureza não-sustentável de praticamente todos os usos de terra implantados, numa escala significativa em áreas desmatadas, faz com que as oportunidades perdidas de manter a floresta de pé sejam significativas a longo prazo.

BIODIVERSIDADE

Os serviços ambientais providos pela manutenção da floresta são muitos. Três grupos de serviços provêm ampla justificativa para manter áreas grandes de floresta: biodiversidade, ciclagem de água e armazenamento de carbono (Fearnside, 1997). A Amazônia brasileira tem um número grande de espécies, embora, para muitos grupos, tanto os membros e as distribuições são mal conhecidos. Esta biodiversidade tem valor significativo tanto em termos de utilidade tradicional como em termos de valor de existência (Fearnside, 2003a). A sociodiversidade também é ameaçada pela perda de floresta, já que isto elimina culturas indígenas e extrativistas tradicionais tais como seringueiros.

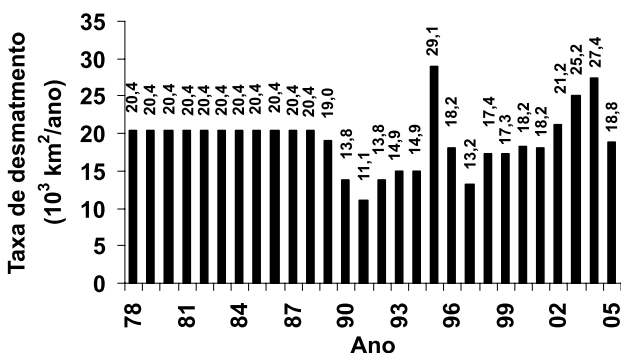


Figura 1 - Taxas anuais de desmatamento na Amazônia brasileira obtidas de dados do satélite LANDSAT. As taxas de 1978 a 1988 são uma média durante este período antes do começo do monitoramento anual (Fearnside, 1993). Taxas de 1989 em diante são do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, incluindo estimativas revisadas para o período 2002-2004 (INPE, 2006). A taxa para 1993 e 1994 é uma média durante aquele período (nenhuma estimativa existe para 1993).

ÁGUA

A ciclagem de água é uma função ambiental importante para todo o Brasil e para os países vizinhos. Os ventos prevalecentes na Amazônia sopram de leste a oeste, trazendo para a região a cada ano uma quantidade de água calculada em 10 trilhões de m^3 , isto sendo na forma de vapor d'água oriundo da evaporação do Oceano Atlântico. Na Amazônia, a evapotranspiração da floresta soma 8,4 trilhões de m^3 /ano, assim permitindo a precipitação na região totalizar 15 milhões de m^3 /ano, excedendo em 50% o total que entra na região a partir do oceano (Salati, 2001). A porcentagem de água reciclada aumenta de leste a oeste na região: quando a água chega aos Andes, 88% dela já caíram pelo menos duas vezes como precipitação (Lettau *et al.*, 1979). A água reciclada é, então, muito importante para transporte de água da Amazônia para outras regiões. O total de água transportado a outras regiões pode ser deduzido da diferença entre a água que entra (10 trilhões de m^3 /ano) e a água que flui na foz do rio Amazonas (6,6 trilhões de m^3 /ano). A diferença (3,4 trilhões de m^3 /ano) deve ser transportado para algum outro lugar. Alguma parte disto escapa da Amazônia, passando por cima do Andes no canto noroeste da região, na Colômbia. Porém, a maior parte da água exportada é redirecionado ao sul quando encontra os Andes. Muito disto depois segue para o leste, fornecendo água para precipitação no centro-sul do Brasil. A chuva que cai na Serra da Mantiqueira e nas outras cadeias de montanhas litorais passa por uma série de reservatórios hidrelétricos quando desce, ou pelo lado ocidental pela bacia do rio da Prata ou a leste pelo rio São Francisco. Em 2001 a porção não-amazônica do Brasil sofreu blecautes e racionamento de eletricidade devido à falta de água nestes reservatórios. Estes reservatórios enchem durante algumas poucas semanas em dezembro e janeiro, no pico da estação chuvosa na região centro-sul que também é o período do ano no geral o papel da Amazônia tem a sua contribuição máxima (veja Fearnside, 2004). Em 2003 os reservatórios que abastecem São Paulo e Rio de Janeiro com água potável alcançaram níveis muito baixos; se o começo da estação chuvosa tivesse atrasado cerca de 15 dias a mais teria faltado água potável em ambas as cidades. Claramente, as cidades principais do Brasil já estão no limite de abastecimento de água, e qualquer redução significativa de transporte de vapor de água da Amazônia teria sérias consequências sociais.

CARBONO

O desmatamento emite gás carbônico (CO_2) e outros gases de efeito estufa. Uma parte do CO_2 é reabsorvido depois através do recrescimento de florestas secundárias nas áreas desmatadas, mas os outros gases de efeito estufa, tais como metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), não são. A quantidade de carbono absorvida como CO_2 pelo recrescimento de florestas secundárias é pequena quando comparada à emissão inicial, porque a biomassa por hectare da floresta secundária é muito mais baixa que a da floresta primária. A taxa de crescimento de floresta secundária é lenta

porque a maioria das áreas desmatadas é de pastagens degradadas com solo compactado e esgotado de nutrientes. Em 2004, quando 27.429 km^2 de desmatamento aconteceram (INPE, 2006), a emissão líquida comprometida somou 495 milhões de toneladas de carbono CO_2 -equivalente, enquanto a estimativa de 18.793 km^2 para 2005 corresponde a 348 milhões de toneladas (atualizado de Fearnside, 2003a). A emissão por unidade de área de desmatamento é mais que o dobro da quantidade calculada no inventário nacional brasileiro de emissões de gases de efeito estufa (MCT, 2004, pág. 147), em grande parte porque o inventário omite componentes da floresta, tais como, as raízes das árvores e a biomassa morta, e por causa da suposição pouca realista de alta absorção de carbono através do recrescimento da floresta secundária (veja Fearnside & Laurance, 2004).

A grande emissão líquida de gases de efeito estufa causada pelo desmatamento representa uma oportunidade porque o valor em potencial de não desmatar cada hectare é pelo menos duas ordens de magnitude maior que o valor que pode ser ganho vendendo mercadorias tradicionais como madeira e carne bovina (Fearnside, 2003a). Uma decisão em 2001 barrou a concessão de crédito de carbono por desmatamento evitado sob o Protocolo de Kyoto durante o período até 2012. Negociações começaram em novembro de 2005 para estabelecer as regras para o período seguinte, que começa em 2013. Crédito deste tipo oferece o prospecto de fluxos monetários que poderiam ajudar manter a população da região em uma base sustentável (Fearnside, 2003a).

RETROALIMENTAÇÃO COM A MUDANÇA DE CLIMA

A floresta amazônica tem uma série de ligações de retroalimentação com e mudança climática que representa uma ameaça séria à existência da floresta e para a continuação de seus serviços ambientais. Um mecanismo é por perda de evapotranspiração, assim reduzindo a precipitação a ponto em que a floresta deixa de ser o tipo de vegetação favorecido pelo clima da região (por exemplo, Shukla *et al.*, 1990). A floresta seria substituída com um tipo de vegetação parecido com o cerrado, por meio da savanização. Até 60% da floresta amazônica no Brasil poderia ser transformado em cerrado pelo processo de savanização (Oyama & Nobre, 2003).

Uma ameaça separada resulta do aumento da frequência do fenômeno de El Niño. Os eventos El Niño aumentaram em frequência desde 1976, indicando uma mudança no sistema climatológico global (Nicholls *et al.*, 1996). O fenômeno El Niño causa secas na Amazônia que, por sua vez, provê condições para incêndios destrutivos, como os que ocorreram em Roraima em 1997-1998 (Barbosa & Fearnside, 1999). Eles também conduzem à perda de carbono de ecossistemas de floresta em pé, mesmo na ausência de fogo (Tian *et al.*, 1998; Camargo *et al.*, 2004). A mudança continuada no equilíbrio entre anos El Niño, quando a floresta perde carbono, e os anos do tipo "normal" e de

La Niña, quando a floresta pode ganhar carbono, implica em uma perda a longo prazo de quantias grandes de carbono. Vários estudos apontam para o efeito estufa como a causa subjacente do aumento de El Niño (por exemplo, Timmerman *et al.*, 1999). O aumento contínuo do aumento do efeito estufa, como projetado por todos os modelos climáticos na ausência de mudanças significativas nas emissões antropogênicas mundiais, implica em eventos de El Niño que são mais frequentes e, provavelmente, mais severos.

O efeito estufa pode causar a morte da floresta amazônica diretamente, além de seu efeito provável por meio do El Niño. Médias de temperatura mais altas exigem que cada árvore use mais água para executar a mesma quantia de fotossíntese. O efeito estufa não acontece uniformemente sobre o planeta, e é esperado que a Amazônia seja um dos locais com os maiores aumentos de temperatura (Stainforth *et al.*, 2005). Simulações que presumem alta sensibilidade climática (a quantidade de elevação da temperatura média global para cada unidade de concentração de CO₂ adicional na atmosfera) indicam aumentos de temperatura média tão alto quanto 14°C na Amazônia (Stainforth *et al.*, 2005, p. 405). Isto implica em picos de temperatura de bem mais de 50°C, o que não só resultariam em morte da floresta mas também em aumento na mortalidade humana. Projeções mais modestas indicam aumentos de temperatura de aproximadamente 6°C, que também seriam catastróficos.

Os resultados de Stainforth *et al.* (2005) indicando aumento de 14°C na Amazônia até aproximadamente 2070 sob alta sensibilidade climática está defasada devido a revisões para baixo das probabilidades de valores muito altos para a sensibilidade climática (Hegerl *et al.*, 2006). Presumindo proporcionalidade, o aumento de 14°C seria alcançada 30 anos mais tarde em 2100.

Espera-se atualmente que o sistema de clima global se mantenha em um El Niño permanente caso o efeito estufa continue aumentando sem mitigação. Este resultado foi encontrado primeiro pelo modelo do Hadley Center, do Escritório Meteorológico do Reino Unido (Cox *et al.*, 2000, 2004). Inicialmente, os outros modelos de clima global não mostravam isto, mas agora foram acrescentadas a estes modelos as retroalimentações de sistema acoplado biosfera-atmosfera que foram incluídas primeiro no modelo do Hadley Center, com o resultado que hoje a maioria dos modelos (5 entre 7) apresentam a formação do El Niño permanente. O modelo do Hadley Center, que projeta o cenário mais catastrófico para a Amazônia, também é o modelo que melhor representa o clima atual desta região (J.A. Marengo, declaração pública, 2005).

A morte da floresta amazônica contribuiria numa retroalimentação significativa para intensificar o efeito estufa, tanto por liberação de carbono da biomassa da floresta (Huntingford *et al.*, 2004) como por liberação de carbono do solo (Huntingford *et al.*, 2004; Jones *et al.*, 2005). Isto eleva o

espectro do “efeito estufa fugitivo”, onde o aquecimento global escapa de controle de humano e continua aumentando independentemente de quaisquer cortes nas emissões antropogênicas que possam ser alcançadas. Uma pesquisa recente indica que ocorreram perdas de estoques de carbono do solo na Grã Bretanha mesmo com o modesto nível atual de aumento da temperatura global desde 1900, de apenas 0,8°C Hansen *et al.*, 2006). Os estoques globais de carbono contidos nos solos, como os da Amazônia, dê a este, o potencial para alcançar o limiar para o efeito estufa fugitivo (Fearnside, 2007).

Uma indicação da capacidade de mudança climática para liberar grandes estoques de carbono independente da vontade humana foi provida pela seca na Amazônia em 2005. Esta seca causou níveis de água muito baixos em todos os afluentes do lado sul do rio Amazonas, assim como também nas calhas principais dos rios Amazonas e Solimões. Incêndios afetaram muitas áreas que não estão historicamente sujeitas a fogos, inclusive a Reserva Extrativista Chico Mendes, no Acre. A seca não foi causada pelo El Niño, mas sim por uma massa de água morna no Oceano Atlântico (Fearnside, 2006). Na época do período de pico da seca na Amazônia, a zona de convergência intertropical (ITCZ) ficava situada aproximadamente na latitude de 12° N, ou seja, em cima da área de água morna. A energia da água morna causou a intensificação da ascensão de ar no ITCZ, assim aumentando a circulação de Hadley, inclusive a descida do ar seco em cima das cabeceiras dos afluentes do lado sul do rio Amazonas. Anomalias de temperatura no Atlântico seguem um ciclo natural de 60 anos, e este ciclo estava em um ponto alto em 2005 (Marengo & Nobre, 2005). De junho a outubro de 2005 a temperatura média da superfície do mar no Atlântico Norte Tropical era 0,92°C acima da média para 1901-1970; a metade disto (0,45°C) era devido ao aquecimento global, o resto sendo do ciclo natural de 60 anos (< 0,1°C), o efeito residual de El Niño no ano anterior (0,2°C) e de fenômenos com variabilidade de ano a ano (0,2°C) (Trenberth & Shea, 2006). Um fator adicional que contribui à acumulação de água morna no Atlântico pode ser a redução da velocidade de movimento da Corrente Marinha do Golfo, como resultado da debilitação da circulação termohalina (por exemplo, Bryden *et al.*, 2005). É esperado que o efeito estufa debilite esta circulação e, além disso, pode ser esperado que o aquecimento geral dos oceanos faça massas de água morna exceder as temperaturas de limiar com maior frequência em geral, incluindo tanto as anomalias de temperatura no Atlântico, assim como o aquecimento da água superficial do Oceano Pacífico que ativa o fenômeno El Niño.

CONTROLE DO DESMATAMENTO

O controle do desmatamento é essencial para evitar os impactos da perda de floresta. Muito do processo do desmatamento está atualmente fora de controle do governo (por exemplo, Torres, 2005). Não obstante, a ação de governo já

mostrou ter uma influência notável sobre as taxas de desmatamento onde foram aplicados esforços para fazer cumprir a legislação indo mais além do que uma base simbólica. Um exemplo histórico importante é o programa de licenciamento e controle de desmatamento executado pelo governo do estado de Mato Grosso de 1999 a 2001 (Fearnside, 2003b). Este alcançou reduções significativas no desmatamento no estado como um todo, como mostrado pelas tendências em municípios onde uma fração significativa da floresta continuava em pé exposta ao desmatamento. A explosão subsequente do desmatamento no estado que resultou de uma mudança no governo estadual realça a importância de políticas de governo por estas tendências (Fearnside & Barbosa, 2004). Em 2005, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) empreendeu a “Operação Curupira” para reprimir a exploração ilegal de madeira, que também parece ter contribuído para reduzir a velocidade de desmatamento naquele ano, embora outros fatos como baixos preços da soja e da carne bovina também contribuíram.

Além da repressão ao desmatamento em áreas onde o desmatamento já é bem avançado em propriedades privadas, decisões de governo terão grande efeito sobre a taxa de desmatamento regional quando obras de infra-estrutura de transporte forem aprovadas e construídas. O estudo de impacto ambiental (EIA/RIMA), exigido para projetos de rodovia desde 1986, ainda está sendo testado quando a pressão é grande para reconstrução de rodovias, como no caso da rodovia BR-319 (Fearnside & Graça, 2006). Até agora, estes estudos não refletem os impactos principais de projetos que são o custo ambiental do desmatamento que estende além das rotas de rodovias e o aumento de migração para áreas novas quando o acesso ficar mais fácil (Fearnside, 2002).

O elemento fundamental para reduzir a velocidade do desmatamento, e um dia pará-lo, é a vontade política para fazer isto. Fluxos monetários dos serviços ambientais da redução da velocidade do desmatamento poderiam prover a motivação para isto, assim como a motivação poderia vir dos impactos diretos do Brasil, tais como a perda de provisão de vapor de água para os principais centros de população do País na região centro-sul. A cima de tudo, os líderes do País têm que ter a confiança que a ação de governo realmente pode frear, ou mesmo parar, o desmatamento. Existe uma forte tendência para as pessoas verem a Amazônia em termos fatalistas, incluindo tanto o desmatamento como as conseqüências da mudança climática. Mas estas mudanças dependem de decisões humanas. Nós temos livre-arbítrio, e nós temos que ter a coragem para usá-lo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; Proc. No. 306031/2004-3) e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA: PPI 1-1005) pelo

apoio financeiro. P.M.L.A. Graça fez comentários sobre o manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Barbosa, R.I.; Fearnside, P.M. 1999. 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). *Acta Amazonica* 29: 513–534.
- Bryden, H.; Longworth, H.; Cunningham, S. 2005. Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25 N. *Nature* 438: 665–657.
- Cox, P.M.; Betts, R.A.; Collins, M.; Harris, P.; Huntingford, C.; Jones, C.D. 2004. Amazonian dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology* 78: 137–156.
- Cox, P.M.; Betts, R.A.; Jones, C.D.; Spall, S.A.; Totterdell, I.J. 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature* 408: 184–187.
- Fearnside, P.M. 1993. Desmatamento na Amazônia: Quem tem razão nos cálculos—o INPE ou a NASA? *Ciência Hoje* 16(96): 6–8.
- Fearnside, P.M. 1997. Serviços ambientais como estratégia para o desenvolvimento sustentável na Amazônia rural. p. 314–344 In: C. Cavalcanti (ed.) *Meio Ambiente, Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas*. São Paulo, SP: Editora Cortez. 436pp.
- Fearnside, P.M. 2001. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation* 28: 23–38.
- Fearnside, P.M. 2002. Avança Brasil: Environmental and social consequences of Brazil’s planned infrastructure in Amazonia. *Environmental Management* 30(6): 748–763.
- Fearnside, P.M. 2003a. *A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais*. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, 134pp.
- Fearnside, P.M. 2003b. Deforestation control in Mato Grosso: A new model for slowing the loss of Brazil’s Amazon forest. *Ambio* 32(5): 343–345.
- Fearnside, P.M. 2004. A água de São Paulo e a floresta amazônica. *Ciência Hoje* 34(203): 63–65.
- Fearnside, P.M. 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates and consequences. *Conservation Biology* 19(3): 680–688.
- Fearnside, P.M. 2006. A vazante na Amazônia e o aquecimento global. *Ciência Hoje* 38(231): 76–78.
- Fearnside, P.M. 2007. Estoque e estabilidade do carbono nos solos na Amazônia brasileira. In: W.G. Teixeira, B.E. Madari, V.M. Benites, D.C. Kern & N.P.S. Falcão (eds.) *As Terras Pretas de Índio: Caracterização e Manejo para Formação de Novas Áreas*. Belém, Pará: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (no prelo).
- Fearnside, P.M.; Barbosa, R.I. 2003. Avoided deforestation in Amazonia as a global warming mitigation measure: The case of Mato Grosso. *World Resource Review* 15(3): 352–361.

- Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A. 2006. BR-319: Brazil's Manaus-Porto Velho Highway and the potential impact of linking the arc of deforestation to central Amazonia. *Environmental Management* 38(5): 705-716.
- Fearnside, P.M.; Laurance, W.F. 2004. Tropical deforestation and greenhouse gas emissions. *Ecological Applications* 14(4): 982-986.
- Ferreira, L.V.; Venticinque, E.; de Almeida, S.S. 2005. O Desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estudos Avançados* 19(53): 1-10.
- Hansen, J.; Sato, M.; Ruedy, R.; Lea, D.W.; Medina-Elizade, M. 2006. Global temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 203(39): 14288-14293.
- Hegerl, G.C.; Crowley, T.J.; Hyde, W.T.; Frame, D.J. 2006. Climate sensitivity constrained by temperature reconstructions over the past seven centuries. *Nature* 440: 1029-1032.
- Huntingford, C.; Harris, P.O.; Gedney, N.; Cox, P.M.; Betts, R.A.; Marengo, J.A.; Gash, J.H.C. 2004. Using a GCM analogue model to investigate the potential for Amazonian forest dieback. *Theoretical and Applied Climatology* 78: 177-185.
- INPE. 2006. Estimativas Anuais desde 1988: Taxa de desmatamento anual (km²/ano). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo. (disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2005.htm).
- Jones, C.C.; McConnell, K.; Coleman, P.; Cox, P.; Faloon, P.; Jenkinson, D.; Powlson, D. 2005. Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of carbon in soils. *Global Change Biology* 11: 114-166.
- Laurance, W.F.; Cochrane, M.A.; Bergen, S.; Fearnside, P.M.; Delamônica, P.; Barber, C.; D'Angelo, S.; Fernandes, T. 2001. The Future of the Brazilian Amazon. *Science* 291: 438-439.
- Lettau, H.; Lettau, K.; Molion, L.C.B. 1979. Amazonia's hydrologic cycle and the role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects. *Monthly Weather Review* 107(3): 227-238.
- Marengo, J.A.; Nobre, C.A. 2005. Lições do Catarina e do Katrina. As mudanças do clima e os fenômenos extremos. *Ciência Hoje* 37(221): 22-27.
- MCT. 2004. Brazil's National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change. General Coordination on Global Climate Change, Ministry of Science and Technology (MCT), Brasília, DF.
- Nicholls, N. & 98 outros. 1996. Observed climate variability and change. pp. 133-192 In: Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg & K. Maskell (eds.). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 572 p.
- Oyama, M.D.; Nobre, C.A. 2003. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. *Geophysical Research Letters* 30(23): 2199-2203.
- Rice, A.H.; Pyle, E.H.; Saleska, S.R.; Hutyrá, L.; Palace, M.; Keller, M.; de Camargo, P.B.; Portilho, K.; Marques, D.F.; Wofsy, S.C. 2004. Carbon balance and vegetation dynamics in an old-growth Amazonian forest. *Ecological Applications* 14(4): s55-s71.
- Salati, E. 2001. Mudanças climáticas e o ciclo hidrológico na Amazônia. pp. 153-172 In: V. Fleischesser (ed.), *Causas e Dinâmica do Desmatamento na Amazônia*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. 436pp.
- Shukla, J., Nobre, C.A.; Sellers, P. 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science* 247: 1322-1325.
- Soares-Filho, B.S.; Alencar, A.A.; Nepstad, D.C.; Cerqueira, G.C.; Diaz, M. del C.V.; Rivero, S.; Solórzano, L.; Voll, E. 2004. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: The Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology* 10(5): 745-764.
- Soares-Filho, B.S.; Nepstad, D.C.; Curran, L.; Cerqueira, G.; Garcia, R.A.; Ramos, C.A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P.; Voll, E.; McGrath, D. 2005. Cenários de desmatamento para Amazônia. *Estudos Avançados* 19(54): 138-152.
- Stainforth, D.A.; Aina, T.; Christensen, C.; Collins, M.; Faull, N.; Frame, D.J.; Kettleborough, J.A.; Knight, S.; Martin, A.; Murphy, J.M.; Piani, C.; Sexton, D.; Smith, L.A.; Spicer, R.A.; Thorpe, A.J.; Allen, M.R. 2005. Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature* 433: 403-406.
- Tian, H.; Mellilo, J.M.; Kicklighter, D.W.; McGuire, A.D.; Helfrich III, J.V.K.; Moore III, B.; Vörösmarty, C. 1998. Effect of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian ecosystems. *Nature* 396: 664-667.
- Timmermann, A.; Oberhuber, J.; Bacher, A.; Esch, M.; Latif, M.; Roeckner, E. 1999. Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature* 398: 694-696.
- Torres, M. (ed.) 2005. *Amazônia revelada: Os descaminhos ao longo da BR-163*. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília, DF. 496pp.
- Trenberth, K.E.; Shea D.J. 2006. Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophysical Research Letters* 33(L120704) DOI: 10.1029/2006GL026894.

Recebido em 18/01/2006

Aceito em 13/05/2006