

**The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é um REPRINT.**

Please cite as:
Favor citar como:

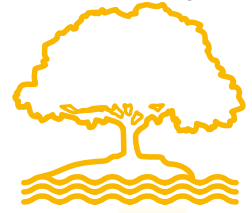
Fearnside, P.M. 2008. Mudanças climáticas globais e a floresta amazônica. pp. 131-150. In: *Biologia e Mudanças Climáticas Globais no Brasil*. Marcos S. Buckeridge (ed.), RiMa Editora, São Paulo, Brasil. 295 pp.

Copyright RiMa Editora, São Paulo.

The original publication is available from:
A publicação original está disponível de:

RiMa Editora, São Paulo.

AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E A FLORESTA AMAZÔNICA



08

Dimensão
ECOLÓGICA

INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são fundamentais em debates científicos e em políticas sobre mudanças climáticas em razão das contribuições significativas do desmatamento e outras mudanças sobre o clima. O prospecto é que áreas grandes de floresta tropical não sobreviverão às mudanças de clima projetadas sob cenários sem mitigação do efeito estufa, e, portanto, é importante o papel em potencial de esforços para controlar o desmatamento como parte de uma estratégia para mitigar a mudança de clima nas próximas décadas. A metade do peso seco de árvores de uma floresta tropical é carbono, e o desmatamento libera esse carbono na forma de gases de efeito estufa, tais como gás carbônico (CO_2) e metano (CH_4), tanto no caso das árvores que sejam queimadas como na decomposição das árvores mortas deixadas no local.

Florestas tropicais são vulneráveis à mudança climática. As projetadas mudanças de clima ameaçam a biodiversidade dessas florestas bem como os povos tradicionais e outros que dependem das florestas para o seu sustento. Também, ameaçam os serviços ambientais providos pelas florestas a outros locais, tanto próximo como longe das próprias florestas. Emissões de gases do efeito estufa provocadas pela mortalidade da floresta devido à mudança de clima fazem parte de uma relação de retroalimentação positiva em potencial que conduz a cada vez mais aquecimento e mais mortalidade. A floresta amazônica é foco de preocupação tanto por causa dos impactos particularmente severos de mudanças de clima previstas para essa área como porque a vasta extensão dessa floresta dá a ela um papel significativo na intensificação ou na mitigação de futura mudança de clima.

O foco principal deste capítulo é a Amazônia brasileira. Em 1990, 41% de toda a vegetação ainda existente no mundo classificada como floresta tropical ombrófila estava no Brasil [17]. O trabalho explicará a interação entre clima e floresta, o lugar das florestas amazônicas na definição de mudança climática “perigosa” e as controvérsias que cercam o papel em potencial dessas florestas na mitigação do efeito estufa.

Philip M. Fearnside

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

INTERAÇÃO CLIMA-FLORESTA NA AMAZÔNIA Cenários

Cenários modelados para o clima futuro em áreas de floresta tropical variam amplamente, criando, portanto, incerteza na mesma proporção sobre os impactos de mudança de clima e sobre os benefícios climáticos de manter as florestas em

pé. Porém, de uma perspectiva de políticas públicas, a gama extensiva de possíveis resultados pode ser enganadora por três razões. Primeiro, a gama de afirmações que alguma vez foi escrita ou dita sobre essas predições sempre é muito maior do que a verdadeira gama de dúvida científica: estudos ficam obsoletos e suas predições para o futuro são descartadas (até mesmo pelos próprios autores dos estudos), embora o fantasma desses resultados possa continuar não só assombrando a percepção popular, mas também a discussão científica do tópico durante anos ou décadas [27]. Segundo, há uma tendência forte de cair na “falácia de Cachinhos Dourados”, em que, como na história infantil na qual a menina entra na cabana dos três ursos e escolhe entre três pratos de mingau, quando apresentadas a uma gama de números, as pessoas naturalmente assumem que o valor do meio será o mais correto. Tal suposição é enganadora, porque é a qualidade dos dados e do raciocínio de interpretação dos dados que determinará qual dos vários resultados possíveis é o melhor. Isto vale para qualquer parte da gama de estimativas disponíveis [46]. Terceiro, a existência de incerteza geralmente provoca a resposta de “vamos esperar para que os peritos decidam”. Em vez de levar a uma paralisia, a conclusão mais racional indicada por essa incerteza deveria conduzir à ação ainda mais vigorosa, com base no princípio precatório [90]. Em qualquer momento no tempo há sempre um melhor valor para cada parâmetro em cada cálculo (junto com uma faixa associada de incerteza), e temos de agir baseados na informação atual. Decisões devem ser fundamentada no melhor valor atual e em uma faixa de segurança que evite grandes riscos de sofrer os impactos que correspondem aos extremos da faixa de incerteza.

O caso de mudanças climáticas previstas e os seus impactos na floresta amazônica é um exemplo altamente pertinente. A partir de 1999, o modelo do Centro Hadley, do Escritório Meteorológico do Reino Unido (UKMO), foi atualizado para incluir várias retroalimentações. Esse modelo previu uma mortalidade catastrófica de floresta amazônica até o ano 2080 sob um cenário sem mitigação do efeito estufa [14,13,100]. Outros modelos do clima global, que não incluíram as mesmas retroalimentações, não indicaram nenhuma catástrofe desse tipo [78]. Durante os cinco anos posteriores foram realizados testes dos vários modelos no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), no Brasil. Em novembro de 2005 chegou-se à conclusão de que o modelo Had3CM do Centro Hadley fornece o melhor ajuste ao clima atual na Amazônia, dando assim apoio ao cenário produzido por esse modelo, que é o resultado mais catastrófico, como sendo o mais provável (J.A. Marengo, declaração pública, 2005). No entanto, o modelo do Centro Hadley subestima significativamente a quantidade de chuva na Amazônia hoje [9], o que pode indicar um futuro menos catastrófico do que aquele projetado pelo modelo. O importante, no entanto, é que o modelo do Centro Hadley consegue reproduzir melhor do que os outros a ligação entre o aquecimento da água no Pacífico e as secas na Amazônia [13].

Modelos de clima global contêm substancialmente mais incerteza nas suas predições sobre mudanças de chuva do que para mudanças na temperatura. Para a Amazônia, a pergunta fundamental é o estabelecimento ou não de um El Niño permanente. As conseqüências desastrosas que as condições El Niño implicam para florestas tropicais são evidentes a partir dos efeitos observados no El Niño de 1982-1983, que produziram incêndios em grande escala em floresta em pé no Brasil e na Indonésia [61], e esses eventos se repetiram em escala ainda maior nos mesmos países durante o El Niño de 1997-1998 [4,47].

A frequência de El Niño tem sido significativamente mais alta desde 1976 do que antes daquele ano [77]. Evidências indicam que a explicação para essa mudança em frequência esteja relacionada ao efeito estufa [95,97], embora o Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC) ainda não tenha chegado a um consenso sobre a existência de tal conexão. Em 2007,

o Quarto Relatório de Avaliação (AR-4), do IPCC, constatou que os 16 modelos testados para isso pelo IPCC mostram concordância geral de que a continuação do aquecimento global levaria a “condições tipo El Niño”, o que significa água superficial quente perto da linha do equador no Oceano Pacífico [63]. No entanto, não há concordância sobre o aumento de El Niño em si, o que explica as secas e inundações que ocorrem em diferentes locais do mundo [63].

O fato de que vários modelos do clima global ainda não mostram uma conexão entre o aquecimento do Pacífico tropical e secas amazônicas é uma indicação de que melhorias adicionais aos modelos são necessárias. A conexão entre a temperatura da água no Pacífico e as secas amazônicas é conhecida a partir de observações diretas e não depende de resultados de modelo. Até mesmo mudanças climáticas mais modestas na Amazônia, indicadas por modelos sem a conexão com El Niño, seriam suficientes para causar a substituição de grande parte da floresta amazônica por savanas ainda neste século [60,82,86].

O reconhecimento de uma conexão causal entre o efeito estufa e o El Niño teria grandes implicações para a política, porque os El Niños têm conseqüências claras e devastadoras hoje, em vez de conseqüências previstas em algum momento futuro. O El Niño de 1982-1983 matou mais de 200.000 pessoas na Etiópia e países vizinhos. Os impactos do El Niño incluem a mortalidade humana em secas e inundações e as perdas ambientais de incêndios florestais como os em Roraima e em Kalimantan (na Indonésia) em 1997-1998 [4,3]. O estabelecimento de um “El Niño permanente” é o evento crítico nas simulações com o modelo do Centro Hadley que conduzem à redução de precipitação e a temperaturas muito mais altas na Amazônia depois de 2050 [14].

O primeiro modelo a mostrar uma mortalidade maciça de floresta amazônica como resultado do efeito estufa foi o do Centro Hadley [14,13]. Sob um cenário sem mitigação do efeito estufa, a floresta acabaria antes do ano 2080 (e seria substituída por uma savana). Em 2005, a maioria dos modelos do clima global foi revisada para incluir as retroalimentações que previamente tinham sido restringidas ao modelo Hadley, com o resultado de que cinco entre sete modelos atualmente mostram o clima travando em um “El Niño permanente” (ou, mais precisamente, em “condições tipo El Niño” com relação à temperatura da água no Pacífico). A ligação entre esse tipo de condições no Pacífico e o clima na Amazônia, que é conhecida a partir de observações diretas (não dependendo de resultados de simulações), conduziria a floresta amazônica a morrer pelos efeitos conjugados do aumento da temperatura e da diminuição da chuva. O “El Niño permanente” resulta em diminuição da chuva na Amazônia nas simulações do Centro Hadley [7], assim como acontece em eventos El Niño reais. Se uma alta sensibilidade de clima é presumida, o modelo do Centro Hadley indica a Amazônia com um aumento em temperatura média de 14°C, de longe o maior aumento de qualquer localidade no planeta [92]. Esse cálculo presumiu a concentração de equilíbrio de CO₂ como sendo o dobro do nível pré-industrial, um marco que deveria ser alcançado em aproximadamente 2070 se não houver nenhuma mitigação do efeito estufa. O aumento da temperatura média global acima dos níveis pré-industriais nessa concentração de CO₂ é o que define a “sensibilidade de clima”. O aumento projetado até 2100 é aproximadamente 40% mais alto que o valor correspondente para a sensibilidade de clima (i.e., 3,5°C como um “provável” valor em 2100 contra 2,5°C para a sensibilidade de clima).

Uma boa notícia recente é que uma análise de indicadores de mudanças climáticas anteriores diminuiu a estimativa de probabilidade de aumentos no extremo mais alto de temperatura: o ponto que corresponde a 95% de segurança de abranger a sensibilidade climática verdadeira baixou de 9,7 para 6,2°C [50]. Proporcionalmente, os 14°C de aumento na Amazônia em

2100 pelo cenário de alta sensibilidade climática cairia para um aumento de 8,3°C, o que ainda seria uma catástrofe que ameaça tanto a floresta como a população humana na região.

O aumento de temperatura em 14°C na Amazônia indicado por Stainforth [92] está agora ultrapassado como representação da situação sob alta sensibilidade de clima em aproximadamente 2070 (o ano em que o CO₂ chega ao dobro do pré-industrial). A função de densidade de probabilidade revisada para a sensibilidade de clima [54] torna o aumento de temperatura em 14°C uma boa aproximação para o que seja esperado sob alta sensibilidade de clima em 2100. Presumindo proporcionalidade, sob alta sensibilidade de clima a temperatura média global em 2100 seria 8,7°C acima do nível pré-industrial e a média na Amazônia seria 14,7°C acima da mesma linha de referência.

Os resultados catastróficos do modelo do Centro Hadley ganharam reforço do Simulador da Terra, um conjunto gigantesco de computadores interconectados em Yokohama, Japão, que simula o clima global com uma resolução de 10 km, ou seja, com muito mais detalhes que modelos de clima normais, que simulam a Terra em escalas de várias centenas de quilômetros. Quando programado com um modelo semelhante ao do Centro Hadley, o mesmo resultado é mostrado pelo Simulador da Terra, inclusive picos de temperatura que excedem 50°C na Amazônia depois de 2050.

Seriam perdidos grandes estoques de carbono se fosse permitida a ocorrência do “El Niño permanente” [52]. Felizmente, esse resultado catastrófico só se aplica a um cenário sem mitigação do efeito estufa, e a restrição das emissões para impedir que as concentrações de CO₂ atmosféricas subam muito acima dos seus níveis atuais evitaria esse desastre [2]. Reduzir as emissões requererá o uso de todas as opções de mitigação existentes, entre as quais reduzir o desmatamento tropical é uma das mais eficazes globalmente [31,35,41,43,67,87].

SINERGISMOS

A mudança de clima é unida por sinergismos a outros processos que ameaçam florestas tropicais. Incêndios florestais se tornaram uma grande ameaça para florestas tanto na Amazônia como no Sudeste da Ásia. Essas florestas não são adaptadas a incêndios, a casca fina das árvores as deixa mais suscetíveis à mortalidade do que é o caso de árvores como as das savanas ou das florestas secas quando fogos acontecem. Na Amazônia, a entrada de fogo na floresta circunvizinha a partir de queimadas em roças agrícolas ou em pastagens era praticamente desconhecida para a maior parte dos residentes amazônicos antes do evento El Niño de 1982/1983. Não obstante, El Niños severos no passado resultaram em incêndios florestais no “verão de fumaça” de 1926 [93] e em quatro “mega-El Niños” durante os últimos 2.000 anos quando incêndios florestais depositaram carvão vegetal no solo [64]. Mas o El Niño de 1982/1983 foi uma mudança, com áreas significativas queimando tanto na Amazônia como na Indonésia [61].

Espera-se que a flamabilidade da floresta amazônica aumente sob vários cenários climáticos [10]. Nos dias de hoje, as condições de El Niño já deixaram largas áreas da região suscetíveis a incêndios [1,71,73]. O resultado lógico de redução da chuva e aumento da temperatura é secar a liteira no chão da floresta que serve como combustível para incêndios florestais. Mais mortalidade de árvores aumenta a quantidade de liteira disponível para queimar, formando uma alça de retroalimentação positiva com a ocorrência de fogo [11,12]. Além disso, a perda de floresta por desmatamento e por mortalidade devido à mudança climática conduziria à redução da evapotranspiração na região, cortando assim parte da provisão de vapor de água que é necessária para manter grandes quantidades de chuva na região, formando outra relação de retroalimentação positiva que conduz à degradação e à perda da floresta [22].

EFEITOS COMPENSATÓRIOS

O efeito de mudança de clima na chuva no centro-sul brasileiro, inclusive em São Paulo, está sujeito aos efeitos compensatórios de forçamentos diferentes. O efeito de transporte de vapor d'água e o efeito de El Niño conduzem a mudanças em direções opostas (El Niño resulta em chuvas torrenciais no sul do Brasil, causando inundações). Além disso, o resultado mundial do efeito estufa será, em média, mais precipitação, já que oceanos mais mornos sofrerão maior evaporação e esta água tem de cair em algum lugar como chuva. Seria então provável que a porção da chuva que é derivada diretamente do Oceano Atlântico aumentasse no centro-sul do Brasil, enquanto a porção dependente de evapotranspiração das florestas tropicais amazônicas diminuiria.

RETROALIMENTAÇÕES

Há uma relação de retroalimentação positiva entre carbono de biomassa e o efeito estufa. O modelo do Centro Hadley foi o primeiro a incluir essas retroalimentações; vários (mas não todos) dos outros modelos hoje os inclui. Infelizmente, para o Quarto Relatório de Avaliação (AR-4), do IPCC, todas as simulações foram executadas com esse dispositivo desativado para fazer com que os resultados de todos os aproximadamente 20 modelos fossem comparáveis [63]. Em 11 modelos testados para o efeito de inclusão das retroalimentações bioesféricas (entre os quais, a morte da floresta amazônica é o mais proeminente), a temperatura média global em 2100 aumentou em aproximadamente 30% em comparação às execuções padrões do AR-4, sem a inclusão do ciclo de carbono [63]. O nivelamento para baixo dos modelos que geraram a faixa de 1,8 a 4,0°C para o aumento médio de temperatura previsto sob diferentes cenários até 2080-2099, comparado às temperaturas de 1980-1999 [63], portanto, subestima substancialmente o resultado mais provável para o sistema climático real.

O carbono contido na biomassa de florestas amazônicas em pé é liberado à atmosfera durante eventos El Niño [85,94]. Essas florestas podem reabsorver o carbono subsequente durante anos de La Niña e anos "normais", mas a mudança observada para El Niños mais frequentes, junto com a predição de um El Niño permanente, a partir da metade do século atual, sugere que estoques de carbono serão continuamente diminuídos na floresta remanescente. A degradação da floresta acontece sob condições secas experimentalmente induzidas na floresta amazônica, que imitam condições depois das reduções de chuva previstas por modelos como o do Centro Hadley (Nepstad et al., 2002). Nesses cenários, nos quais uma cobertura de plástico intercepta 60% da chuva interna na floresta em um hectare inteiro como parte do Experimento Larga-Escala Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), as árvores grandes são as primeiras a morrer, aumentando assim em muito a liberação de carbono [76]. A mortalidade entre árvores >30 cm de diâmetro à altura do peito (DAP) era de 9,47%/ano no hectare seco, muito menor que os 1,74%/ano no hectare controle, isto é, com a chuva normal. O mesmo acontece nas bordas de floresta onde as condições microclimáticas são mais quentes e mais secas do que no interior de uma floresta contínua [70,56]. Além disso, as espécies de árvores que sobrevivem a essa mortalidade têm densidade de madeira menor que as espécies que desaparecem, diminuindo ainda mais o estoque de carbono na floresta alterada [57]. O carbono liberado de tais eventos de mortalidade aumentaria o efeito estufa e a sua contribuição ao "El Niño permanente", levando a liberações adicionais de carbono assim como a maior mortalidade da floresta amazônica [13,14].

A seca e a mortalidade de árvores na floresta amazônica fazem parte de outra relação de retroalimentação positiva muito perigosa, entre a mudança de clima e o fogo. Chuva reduzida e temperaturas mais altas aumentariam a flamabilidade da floresta amazônica [73], conduzindo a mais incêndios florestais e maiores emissões de gases de efeito estufa. Flamabilidade de flo-

resta é aumentada mais ainda por uma interação com a exploração madeireira, que aumenta o risco de incêndios em razão da abertura da copa da floresta e dos resíduos deixados no piso da floresta e pelo fato de as operações de exploração madeireira matarem muitas árvores além daquelas que são colhidas [11,12,72]. O potencial desastroso de incêndios no caso de um “El Niño permanente” é ilustrado pelos fogos que aconteceram durante recentes eventos de El Niño. No Grande Incêndio de Roraima de 1997-1998 queimaram $11,4-13,9 \times 10^3$ km² de floresta, liberando 17,7-18,0 milhões de t CO₂-equivalente apenas por meio de combustão [4].

Infelizmente, o perigo de incêndio nunca é incluído em planos para manejo florestal, que invariavelmente calculam a sustentabilidade sob a suposição simples de que as áreas nunca queimarão. A exploração madeireira está se expandindo rapidamente para áreas que antes eram inacessíveis. O manejo florestal é previsto como o uso para o qual serão alocadas grandes áreas de floresta fora de parques e reservas completamente protegidos. O perigo de incêndio aumentará tanto nas grandes áreas sujeitas à exploração ilegal quanto em áreas legalmente manejadas em terras privadas e aquelas a serem abertas para manejo florestal em acordo com uma lei de janeiro de 2006 que autoriza concessões de 40 anos, permitindo que até 13 milhões de hectares sejam concedidos em áreas novas de “florestas públicas”.

Um dos primeiros modelos a indicar a possibilidade de perda significativa de carbono do solo na Amazônia foi desenvolvido por Townsend [96]. A temperatura e as mudanças de vegetação previstas pelo modelo do Centro Hadley [13,14] são muito mais severas que as presumidas por Townsend [96]. Uma série de simulações usou o modelo do Centro Hadley e modelos mais simples que representam o comportamento dos modelos do Centro Hadley com vários ajustes para melhor representar os valores atuais observados de parâmetros importantes [52]. Todas as simulações indicam perda dramática de carbono do solo. Até 2080, cerca de dois terços do carbono do solo estarão perdidos. Embora os autores não indiquem a que profundidade no solo esse resultado se aplica, parece representar os primeiros 30 cm. O estoque de carbono nessa camada diminuiu nas simulações de 60 para aproximadamente 40 tC/ha ao longo do período 2000-2080, que corresponde a uma perda de aproximadamente 20 GtC ao longo do período, ou uma média de 250 milhões de tC/ano.

O carbono do solo não é limitado aos primeiros 30 cm, e o que acontece com estoques de carbono a níveis mais fundos poderia ter consequências significativas. O estoque de carbono em solos sob floresta amazônica é, em média, de 42,0 tC/ha para 0-20 cm de profundidade, 52,0 tC/ha para 20-100 cm e 142,8 tC/ha para 100-800 cm [43]. O grande estoque de carbono no solo profundo sofre um *turnover*, ou reposição, apreciável sob as condições atuais [98]. Portanto, condições alteradas por mudança de clima poderiam transformar esses estoques de carbono em verdadeira bomba-relógio. Um fator que diminuiria a velocidade de liberação de carbono do solo nos trópicos, quando comparado a liberações em latitudes mais altas, é a descoberta de que o carbono em solos tropicais altamente intemperizados é menos sensível à liberação com determinado aumento de temperatura do que o é o carbono em muitos solos das zonas temperadas e boreais [15].

O futuro papel do carbono do solo sob o efeito estufa é uma preocupação mundial. A perda desse carbono representa uma alça de retroalimentação positiva em potencial, ou seja, um “*runaway greenhouse*”, ou “efeito estufa fugitivo” que poderia escapar do controle humano. Quanto maior a quantidade de carbono liberada pelo solo, maior o aumento de temperatura devido ao efeito estufa, conduzindo a mais liberação de carbono do solo. Diferentemente das emissões de combustíveis fósseis e de desmatamento, os humanos não têm a opção de resolver o problema diminuindo as suas próprias emissões, já que a magnitude da emissão do solo

potencialmente excede as emissões de combustíveis fósseis da população humana. Os solos da Terra até 1 m de profundidade contêm 1,6-2,0 trilhões de toneladas de carbono [83,5]. Se mesmo uma pequena percentagem desse estoque fosse perdida a cada ano, poderia exceder os aproximadamente 8 GtC/ano hoje originados da queima de combustão de combustível fóssil e de fábricas de cimento. Até mesmo o desmatamento, para o qual as estimativas globais variam de 1,6 GtC/ano para 1980-1989 [89,27] a 2,4 GtC/ano para 1990 [28], não traria as emissões totais antropogênicas para fora dessa faixa, significando que até mesmo a eliminação completa das emissões antropogênicas poderia ser insuficiente para evitar um efeito estufa fugitivo. Isto aponta a necessidade de pesquisa intensificada para quantificar as emissões do solo sob cenários climáticos diferentes e a necessidade de ação imediata em escala muito maior que as medidas acordadas até hoje sob o Protocolo de Kyoto para parar, ou até mesmo reverter, o efeito estufa antes que o dano piore e escape de controle. O dano visível da seca de 2005 para florestas amazônicas deixou mais claro para muitos a facilidade com que tais processos de larga escala podem escapar do controle humano [40].

FLORESTAS TROPICAIS E MUDANÇA CLIMÁTICA “PERIGOSA”

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima (UN-FCCC), assinada por 155 países em 1992 durante o “ECO-92” no Rio de Janeiro, especificou seu propósito como estabilizar as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa em níveis que evitem a interferência “perigosa” com o sistema de clima [99]. Porém, o que é “perigoso” não está definido pelo UN-FCCC (Artigo 2), e as negociações para definir tal nível começaram em dezembro de 2005. Como ilustração, se um aumento máximo de temperatura de 2,85°C fosse definido como o valor médio considerado “perigoso”, controles “convencionais” disponíveis de política climática seriam incapazes de reduzir significativamente a probabilidade de alcançar esse nível e incorrer suas conseqüências dentro do século atual [62]. Uma gama mais larga de opções de mitigação precisaria ser aproveitada se um valor menor para a elevação máxima de temperatura (como 2°C) fosse adotado como a definição de “perigoso”.

A primeira versão do modelo do Centro Hadley indicou que estabilizar a concentração (por volume) de CO₂ atmosférico em 750 ppm poderia adiar a morte da floresta amazônica (que é prevista ser a parte dominante da mortalidade de vegetação em escala global) por aproximadamente 100 anos além do ano 2080 indicado por simulações sem mitigação, e que limitar a concentração em 550 ppm adiaría o desastre em pelo menos 200 anos [2]. Seria necessário limitar a elevação da temperatura global média em 2°C para evitar degradação significativa de floresta na Amazônia e a conseqüente liberação de carbono [52]. Uma elevação de temperatura média global de 2°C está perto do nível de aumento de temperatura que foi colocado em movimento pelas emissões que já aconteceram [49]. Em março de 2005, os chefes de governo dos países da União Européia adotaram 2°C como meta para o nível máximo que as temperaturas médias globais poderiam subir acima dos níveis pré-industriais. Isto requeria limitar as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa ao equivalente a 400 ppmv de CO₂, ou, como uma alternativa para facilitar um acordo sobre esta definição de mudança climática “perigosa”, permitir que a concentração exceda temporariamente os 400 ppm, atingindo no máximo 420 ppm, depois fazendo com que a concentração se reduza até o limite de 400 ppm [49]. Um limite de 400 ppm implica um risco de 2-57% (média = 27%) de que os 2°C seriam ultrapassados; a 350 ppm esse risco seria reduzido a 0-31% (média = 8%) [49]. A concentração de CO₂ ultrapassou o marco de 380 ppm em 2006, porém, o equivalente a aproximadamente 40 ppm de CO₂ das cargas atmosféricas de CH₄ e de N₂O significa que nós

já entramos na idade de mudança de clima “perigosa”, esta classificação sendo definida por um teto de 2°C de aumento de temperatura acima do nível pré-industrial.

As seções anteriores deste capítulo deveriam deixar clara a vulnerabilidade das florestas tropicais para a mudança de clima, como também os tipos múltiplos de perda que isso implica, inclusive retroalimentação positiva para a mudança adicional do clima. O fundamento dessas preocupações é evidente a partir de indicações de perda de biomassa em floresta em pé oriunda das mudanças no clima que já aconteceram [38], combinadas com a modesta mudança que aconteceu até agora quando comparada com as mudanças projetadas para acontecer durante o próximo século em um mundo sem mitigação do efeito estufa. Florestas tropicais podem levar mais peso por tomadores de decisão no papel do “canário na mina de carvão” que mostra o destino de muitos outros ecossistemas que também poderiam fazer o papel do canário. Realmente, já há sinais de tensão severa em latitudes altas, em habitats alpinos e em recifes de coral, indicando que esses ecossistemas estão sofrendo danos em níveis menores de mudança de clima do que as mudanças que poderiam destruir florestas tropicais. O destino das florestas tropicais não pode ser ignorado.

FLORESTAS TROPICAIS NA MITIGAÇÃO DO EFEITO ESTUFA

Desmatamento evitado como opção de mitigação

Propostas para usar medidas que evitam o desmatamento tropical como meio de mitigar o efeito estufa foram fontes de controvérsia considerável. A fim de esclarecer qualquer possível conflito de interesse, o meu papel, como originador de tais propostas no início desta discussão [18,19], e a minha participação, como combatente nos debates durante as décadas sucessivas, me faz claramente parcial para usar esta opção o máximo possível. A ameaça às florestas tropicais causada pela mudança climática foi parte fundamental deste debate, já que oponentes à ideia de conceder crédito para o desmatamento evitado usaram a possível morte das florestas como argumento contra o crédito para a conservação, reivindicando que o carbono contido nas florestas é todo fadado a ser liberado para a atmosfera de qualquer maneira [101]. É necessário entender um pouco da história da controvérsia em volta do assunto de crédito de carbono para o desmatamento evitado.

Antes do Protocolo de Kyoto, em dezembro de 1997, reduzir a velocidade do desmatamento tropical para evitar emissões de gases do efeito estufa foi considerado uma alta prioridade pelos governos europeus [16] e organizações não-governamentais ambientalistas (ONGs) sediadas na Europa, como Greenpeace, Amigos da Terra e WWF [59,68]. Com o advento do Protocolo, esses governos e ONGs de repente inverteram as suas posições, considerando desmatamento evitado como sendo impermanente e incerto e, portanto, desmerecedor de qualquer crédito como medida de mitigação [48,101]. Praticamente, todas as ONGs ambientalistas sediadas em outras partes do mundo (diferentes de filiais ou associados de ONGs baseadas na Europa) continuaram apoiando o crédito para desmatamento evitado, inclusive ONGs dos EUA, como Defesa Ambiental (EDF), Conservância da Natureza (TNC), Conselho de Defesa de Recursos Naturais (NRDC) e União dos Cientistas Preocupados (UCS), e ONGs brasileiras, como Instituto Socioambiental (ISA), Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) e Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazônia (IMAZON) [32]. Praticamente todas as organizações de base na Amazônia brasileira apoiaram crédito para desmatamento evitado. Fora da Europa, a maioria dos países apoiou crédito para florestas; na América Latina, as únicas exceções eram Brasil e Peru (no caso peruano, só durante a presidência de Alberto Fujimori). A oposição do Ministério das Relações Exteriores brasileiro tem sua origem na convicção entre indivíduos-cha-

ve de que a soberania do Brasil sobre a Amazônia está sob ameaça permanente e que o interesse econômico no crédito de carbono poderia conduzir a pressões internacionais que ameaçariam o controle do País sobre a região. Embora a crença em uma ameaça de “internacionalização” da Amazônia seja difundida no Brasil, a visão de que o crédito de carbono para desmatamento evitado possa ser um perigo nesse sentido não é compartilhada pela maioria dos setores da sociedade brasileira fora do Ministério das Relações Exteriores. O Ministério do Meio Ambiente tem favorecido crédito de carbono para desmatamento evitado há muito tempo [41]. Todos os nove governos estaduais na Amazônia Legal têm favorecido o crédito de carbono para desmatamento evitado, e um até tentou vender esse crédito em bolsas internacionais de *commodities*.

A rejeição do desmatamento evitado depois de Kyoto pelos governos e ONGs europeus é explicada melhor pela oportunidade sem igual que o Protocolo de Kyoto apresentou para avançar outras agendas. Em Kyoto, em dezembro de 1997, os países industrializados (Anexo I do Protocolo) aceitaram cotas específicas (“quantidades atribuídas”) para as suas emissões ao longo do Primeiro Período de Compromisso (2008-2012), mas as regras do jogo foram deixadas para decisões posteriores, principalmente a questão de se o desmatamento evitado (assim como as plantações de árvores) receberia crédito sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM) do Protocolo. De importância mais imediata para governos europeus é o fato de que, devido aos impostos diferenciados em cada país, o preço da gasolina na Europa é aproximadamente o dobro do preço na América do Norte, uma situação que favorece injustamente os EUA na competição econômica internacional. Uma vez que a criação de opções de mitigação como desmatamento evitado geraria quantias significativas de crédito de carbono para serem compradas pelos Estados Unidos, bloquear a criação dessas opções forçaria os EUA a aumentar os seus preços de combustíveis fósseis até que o consumo caísse, nivelando assim a competição entre a Europa e a América do Norte. Embora a disparidade em preços de gasolina entre países represente uma real injustiça, faz parte de uma disputa geopolítica que está separada do assunto de clima. Este autor combateu a noção implícita de que alcançar tais metas paralelas é algo pelo qual vale sacrificar uma oportunidade importante para manter a floresta amazônica [32].

Do ponto de vista de ONGs baseadas na Europa, vantagens do comércio internacional não são o assunto, mas uma lógica paralela leva para a mesma posição sobre florestas tropicais. Os EUA têm sido durante muito tempo o principal vilão nas negociações internacionais sobre o clima, enfraquecendo ou bloqueando acordos em toda fase, enquanto ao mesmo tempo os EUA eram (até serem ultrapassados pela China em 2006) o maior emissor do mundo de gases de efeito estufa. Qualquer oportunidade para castigar os EUA por esses fatos ganha apoio instantâneo na Europa.

A divisão entre ONGs persistiu até o acordo de Bonn em julho de 2001, quando os países que permaneceram no Protocolo de Kyoto (depois de o presidente George W. Bush retirar a participação dos Estados Unidos em março daquele ano) concordou em excluir o desmatamento evitado do crédito no Primeiro Período de Compromisso (2008-2012). Embora o acordo de Bonn tenha excluído o desmatamento tropical, ele permitiu o crédito para plantações de árvores como o eucalipto. O único país que quis crédito para plantações, mas não para desmatamento evitado, foi o Brasil, que tem uma das maiores áreas de plantações silviculturais do mundo [26]. O acordo era um expediente necessário para convencer suficientes países industrializados (Anexo I) que não tivessem ainda ratificado o Protocolo a fazer isto, para que o Protocolo pudesse entrar em vigor apesar da retirada dos EUA.

Os argumentos intelectuais que os governos e ONGs européias divulgaram para justificar a oposição a plantações e desmatamento evitado (resumido sob a chancela infeliz de “sumidou-

ros”) eram, na realidade, principalmente apontados em plantações. Na verdade, o desmatamento evitado é uma emissão evitada em lugar de um seqüestro por fixação de carbono, como o termo “sumidouro” implica. O desmatamento evitado geralmente foi apenas mencionado de passagem no discurso sobre “sumidouros” entre 1997 e 2001.

Seguindo o acordo de Bonn, os governos e ONGs européias reverteram desde então suas posições originais de apoio ao incluir desmatamento evitado nas medidas para crédito no Segundo Período de Compromisso (2013-2017), para as quais negociações preliminares começaram em Montreal em dezembro de 2005 na 11ª Conferência das Partes da Convenção de Clima. A situação geopolítica que cerca as negociações atuais com relação ao Segundo Período de Compromisso é muito diferente daquela existente durante as negociações para o Primeiro Período de Compromisso, que resultou em uma batalha que durou 3,5 anos sobre esse assunto entre o Protocolo de Kyoto e o acordo de Bonn. Durante o Segundo Período de Compromisso, as cotas de emissões (quantidades atribuídas) e as regras para crédito de carbono (por exemplo, para desmatamento evitado) serão negociadas simultaneamente, eliminando assim vantagens paralelas que países possam adquirir excluindo o desmatamento evitado. Isso nega qualquer argumento para uma vantagem climática a ser alcançada, permitindo só a quantia mínima possível de mitigação no setor florestal. Se as florestas tropicais são excluídas de crédito, então os países industrializados que teriam comprado o crédito, simplesmente, aceitarão cortes mais modestos nas suas emissões nacionais.

Na negociação atual sobre a inclusão de florestas tropicais no Segundo Período de Compromisso, é importante que seja respeitado o princípio de que os países (ou outros atores) têm de levar o benefício e a responsabilidade de compromissos para reduzir o desmatamento. Não é suficiente obter crédito quando a taxa de desmatamento abaixar e não incorrer nenhuma penalidade quando o desmatamento subir. Propostas nesse sentido essencialmente tratam o desmatamento evitado como costuma acontecer em especulação nas bolsas de valores, em que o objetivo é de “comprar baixo e vender alto”.

O valor do tempo

O valor do tempo é um assunto que os políticos e cientistas de clima têm evitado durante anos, mas isso deverá ser enfrentado em decisões racionais sobre como lidar com a mudança climática. Embora a questão do tempo possa afetar todos os aspectos de mudança de clima e sua mitigação, em nenhum fórum esse tema está mais onipresente do que nos debates que envolvam as florestas tropicais [55,42].

Faz parte da natureza humana querer obter benefícios o mais cedo possível, e por isso preferimos adiar arcar com os custos o máximo possível. Ao lidar com dinheiro, os economistas e empresários quantificam isso aplicando uma taxa de desconto a todas as futuras receitas e despesas. Uma taxa de desconto anual é uma porcentagem pela qual são desvalorizadas quantidades futuras por cada ano entre o presente e a data esperada do crédito ou débito (depois de ajustar para qualquer inflação). Decisões financeiras estão freqüentemente baseadas em taxas de desconto anuais na ordem de 10 ou 12% e na taxa à qual pode ser ganho dinheiro de investimentos alternativos na economia. Decisões de política que pretendem focalizar preocupações sociais usam outras taxas de desconto (geralmente baixas). Porém, se um grupo de economistas fosse reunido em uma sala, nunca chegariam a um acordo sobre qual deveria ser o valor para a taxa de desconto.

O valor do tempo não só é importante para cálculos de dinheiro, mas também para cálculos de carbono. Embora alguns participantes neste debate afirmem que a mesma taxa de

desconto que se aplica ao dinheiro deveria ser aplicada ao carbono [100], este autor tem argumentado pela aplicação de taxas de desconto muito mais baixas (mas não zero), ou pela adoção de formas alternativas de ponderação por preferência temporal [33]. O Protocolo de Kyoto adotou uma formulação para calcular a equivalência entre gases de efeito estufa com diferentes tempos de vida na atmosfera baseada em “Potenciais de Aquecimento Global”, ou GWPs, que se baseiam, por sua vez, em um horizonte de tempo de 100 anos sem desconto ao longo do horizonte de tempo [89]. Esta formulação dá ao tempo um valor que é equivalente a uma taxa de desconto anual de aproximadamente 1% [34].

Dar ao tempo algum valor maior que zero significa que o valor de adiar o efeito estufa é reconhecido. Adiar o efeito estufa tem valor independentemente de qualquer perspectiva “egoísta” por parte da geração atual. Ao contrário de um evento de uma vez só, como uma erupção vulcânica ou um tsunami, o efeito estufa representa uma mudança contínua. A temperatura global elevada em determinada quantia altera a probabilidade com que uma longa lista de impactos, inclusive a perda de vida humana, acontecerá a partir daquele momento no tempo. Se o aquecimento for adiado durante, por exemplo, 50 anos, todos os impactos que, caso contrário, aconteceriam durante esses 50 anos representariam um benefício permanente com valor real. O armazenamento temporário de carbono, por exemplo, em árvores adia o efeito estufa, e, portanto, tem um valor. Embora o valor do armazenamento temporário seja menor que o de armazenamento permanente, ele não é zero. Uma falsa dicotomia frequentemente tem sido apresentada ao carbono como permanente ou inútil em argumentos projetados para desacreditar o desmatamento evitado tropical como uma opção de mitigação de aquecimento global [65,32,33]. O argumento de que evitar o desmatamento tropical não deveria ser elegível para crédito de carbono porque as florestas serão destruídas de qualquer maneira por meio de mudança de clima representa uma profecia autocumprida que é moralmente questionável [32]. Até mesmo se a floresta amazônica for destruída através de mudança de clima em 80 anos (como o modelo do Centro Hadley indica sob um cenário sem mitigação do efeito estufa), esses 80 anos têm valor que deve ser compensado se o desmatamento for evitado.

Foram propostas várias fórmulas para fazer a contabilidade de carbono no tempo com base em “tonelada-ano” que o carbono permanece fora da atmosfera [45]. O ponto fraco de tais fórmulas é que requerem um acordo negociado sobre a taxa de desconto ou outra maneira alternativa de ponderar pela preferência de tempo. Uma maneira de evitar uma negociação explícita foi encontrada usando mecanismos de mercado na “Proposta Colombiana” [8]. Em outubro de 2000, a Colômbia apresentou sua “proposta colombiana” para a 6ª Conferência das Partes, em Haia, onde foi rejeitada imediatamente pelos governos e ONGs europeus. Logo depois do acordo de Bonn, em julho de 2001, os governos e ONGs europeus reverteram as suas objeções à proposta colombiana para lidar com o fato de que o carbono de floresta não é permanente. O que antes tinha sido apresentado como sendo um impedimento sem solução para opções florestais de mitigação foi resolvido de repente. A reviravolta pode ser interpretada como uma admissão da hipocrisia dos argumentos previamente usados como justificativa por não aceitar o desmatamento evitado.

A questão de preferência de tempo veio à tona com a recente descoberta de que a vegetação terrestre viva, incluindo a floresta tropical, pode estar emitindo metano (CH_4) à atmosfera [53,51]. Enquanto a quantia emitida por hectare por ano pode ser pequena (Tabela 1), se for considerada essa emissão ao longo de um horizonte de tempo infinito sem desconto, seu impacto também seria infinito. Apresentação da descoberta na imprensa, particularmente na

Europa, freqüentemente sugere que a fonte de metano recentemente descoberta nega qualquer benefício de evitar o desmatamento como uma medida de mitigação do efeito estufa. Invariavelmente falta a tais apresentações a ressalva crítica de que essa conclusão só é válida se for presumido que o valor do tempo é zero.

Tabela 1 – Cálculo de Keppler de Emissão de Metano.

Item	Valor	Fonte
Área de floresta tropical no mundo	1,75 bilhão de ha	Baseado em Saugier et al. (2001)
Metano emitido por ano por florestas tropicais	33,2-123 milhões de toneladas	
Emissão anual de metano por ha (valor central)	0,045 t CH ₄ /ha/ano	
Potencial de aquecimento global de metano usado no Protocolo de Kyoto	21 t CO ₂ -equivalente/t CH ₄	Schimmel et al., 1996
Conteúdo de carbono de CO ₂	12/44 = 27,3%	
Emissão de carbono CO ₂ -equivalente	0,26 t C CO ₂ -eq/ha/ano	

Embora a quantidade de CH₄ que uma floresta emite por hectare por ano seja pequena, seu impacto seria infinito se for considerado um horizonte de tempo infinito sem descontar o impacto para refletir o valor do tempo. Como isto deveria ser pesado contra o grande impacto imediato de eliminar um hectare de floresta tropical? As pessoas envolvidas em política climática e negociações internacionais têm evitado durante anos a questão de preferência de tempo, mas agora esta questão finalmente precisa ser enfrentada [33,34,45]. A suposição ocultada de que o tempo não tem nenhum valor era a raiz dos argumentos para bloquear a inclusão do crédito para o desmatamento evitado no período de 2008-2012 sob o Protocolo de Kyoto [32].

Cada hectare de desmatamento na Amazônia brasileira libera emissões líquidas comprometidas que somam 183 t de carbono CO₂-equivalente [24,29,46,79,80,81]. Então, sem usar taxa de desconto, levariam 665 anos para a emissão de metano de um hectare floresta amazônica em pé para compensar o impacto de desmatar aquele hectare, com o nível de incerteza indicando uma faixa de 423 a 1.566 anos. Até mesmo o extremo inferior dessa faixa mostra a natureza eticamente tênue de argumentos para sacrificar os benefícios de florestas durante os próximos séculos pelos interesses de ganhos climáticos que só começariam várias centenas de anos no futuro. Se qualquer taxa de desconto ou outra forma de ajuste for feita para dar valor ao tempo, manter a floresta se torna a melhor escolha independentemente do horizonte de tempo. Qualquer taxa de desconto acima de mero 0,15% por ano destruiria para sempre o benefício de sacrificar a floresta tropical para evitar as suas emissões naturais de metano.

Incerteza como objeção ao desmatamento evitado

Os impactos do desmatamento tropical sobre o aquecimento global, e os benefícios de qualquer medida para reduzir isto, são inerentemente mais incertos do que os dados sobre emissões e reduções de combustão de combustível fóssil. Em cada fase do processo, desde o planejamento de uma medida de mitigação até a execução da atividade e a avaliação e monitoramento posterior, uma medida do setor florestal invariavelmente será mais incerta de que uma no setor de energia.

A incerteza (a variação em resultados devido à falta de conhecimento) e o risco (a variação devido a causas conhecidas) são considerações cotidianas em decisões financeiras de todos os tipos. Estas preocupações estão incorporadas na soma dos custos e benefícios por meio do “valor monetário esperado” (VME), com ajustes apropriados para fatores como aversão ao risco. VME representa a soma dos produtos do valor de cada possível resultado multiplicada pela respectiva probabilidade de ocorrência. Por exemplo, ao apostar na loteria, o apostador pode ganhar um milhão de reais, caso o bilhete seja premiado, mas a probabilidade de ganhar será, digamos, de uma entre dez milhões. Logo, o VME do bilhete de loteria valerá só 10 centavos. No caso de carbono do desmatamento evitado, a recompensa pode ter só uma probabilidade modesta de ser alcançada, mas seu VME ainda é considerável por causa do grande “prêmio” a ganhar se o desmatamento evitado realmente tiver êxito [30].

O melhor modo para assegurar que o clima não seja penalizado devido a expectativas demasiadamente otimistas sobre os benefícios de mitigação, por exemplo de desmatamento evitado, é insistir em uma política de pagar à medida que os benefícios se concretizem, ou seja, nenhum pagamento antecipado é realizado para benefícios futuros prometidos. Isto também evita questões de soberania que às vezes são levantadas como objeções ao desmatamento evitado, especialmente na Amazônia. Qualquer adiantamento de fundos com base em benefícios esperados no futuro teria de vir de mercados financeiros normais, não de governos ou garantias internacionais.

Infelizmente, com frequência a incerteza tem sido usada como uma objeção para evitar que o desmatamento se torne uma opção de mitigação de aquecimento global. Porta-vozes da Associação de Estados de Pequenas Ilhas (AOSIS) insistiram que o desmatamento evitado é muito incerto e que combustíveis fósseis deveriam ser o foco exclusivo de esforços de mitigação. No entanto, este autor argumenta que restringir a mitigação aos combustíveis fósseis não seria a melhor opção para atender aos interesses dos residentes de ilhas pequenas, cujo risco de sofrer impactos do aquecimento global, porque o benefício esperado de um investimento em evitar desmatamento é substancialmente mais alto do que seria esperado do mesmo valor investido na redução das emissões de combustíveis fósseis. Os benefícios de carbono são semelhantes ao VME de tomada de decisões financeiras, representando a soma dos produtos dos benefícios de carbono todos os possíveis resultados e as respectivas probabilidades de ocorrência de cada um deles [30]. O artifício de insistir em certeza completa ou quase completa tem como resultado jogar fora as florestas como opção de mitigação, que era um objetivo não declarado de alguns atores em razão das agendas paralelas [32].

Mudança climática e biodiversidade tropical

A mudança climática e a conservação da biodiversidade estão intimamente ligadas de vários modos. Tanto as funções climáticas como as de biodiversidade de florestas tropicais são vulneráveis em face de impactos catastróficos que têm sido preditos para a Amazônia. A descoberta de extinções múltiplas de espécies de rã na Costa Rica devido a patógenos cuja expansão foi

favorecida pela mudança climática indica como esses efeitos são pouco compreendidos [84]. Uma análise dos resultados do modelo do Centro Hadley sob um cenário de emissões sem mitigação indica que 43% de uma amostra representativa de 69 espécies de plantas angiospermas se tornaria inviável antes de 2095 devido a mudanças na localização das zonas climáticas [66]. O clima e as preocupações com a biodiversidade também são unidos pelo benefício de evitar o desmatamento: salvar um hectare de floresta do desmatamento evita tanto o efeito estufa como a perda de biodiversidade. Além disso, as florestas amazônicas reciclam uma quantidade enorme de água, suprindo o vapor de água para a atmosfera que sustenta a chuva na bacia amazônica, necessária para manter a própria floresta [58]. Essa água também mantém a chuva em partes densamente povoadas do Brasil como São Paulo [37].

Há uma aliança natural de interesses entre os que querem conservar a floresta amazônica pela sua biodiversidade e os que querem conservá-la por seus benefícios climáticos. Porém, essa aliança pode desmoronar na hora de identificar quais trechos de floresta deveriam receber prioridade [36]. Frequentemente, a conservação de biodiversidade focaliza no futuro de longo prazo, ou seja, aquilo que vai sobrar depois de muitos anos de desmatamento, deixando uma paisagem de fragmentos, principalmente em áreas protegidas, favorecendo investimentos em reservas grandes longe da atual fronteira de desmatamento. Por outro lado, os benefícios da mitigação do efeito estufa geralmente são julgados em termos de “adicionalidade” ao longo dos cinco anos de um período de compromisso no Protocolo de Kyoto e favoreceria reservas perto da fronteira de desmatamento se crédito fosse concedido.

Biodiversidade e considerações sobre clima levam a prioridades diferenciadas pelos locais de floresta tropicais que são mais importantes para serem protegidos. A biodiversidade é frequentemente discutida em termos de “hotspots” onde muitas espécies endêmicas e em extinção ocorrem [69]. Estes incluem a região das Yungas ao longo dos contrafortes orientais dos Andes, a Mata Atlântica na costa do Sudeste do Brasil, América Central e Madagascar. Com exceção parcial do Yungas, todas essas áreas representam os últimos fragmentos restantes de florestas que sofreram séculos de depredação. Do ponto de vista de clima, essas florestas têm prioridade mais baixa que as vastas extensões de floresta restante na Amazônia. Qualquer mudança que poderia ser alcançada em termos de políticas públicas para reduzir o desmatamento futuro nesses remanescentes de floresta afetaria uma área mínima de floresta e estoque de carbono, considerando que até mesmo uma leve mudança na taxa de desmatamento na Amazônia afetaria um estoque incomparavelmente maior de carbono [31].

A redução das emissões exigirá o uso de todas as opções de mitigação existentes, entre elas a redução do desmatamento tropical, globalmente mais eficaz em termos de custo [36]. Em outras palavras, manter florestas em pé conservar a sua biodiversidade também ajuda a evitar a mudança climática que ameaça a biodiversidade e, por meio da sua retroalimentação com as emissões, provoca ainda mais mudança climática.

Justiça social

Os assuntos de justiça social estão intimamente ligados aos impactos da mudança climática, à mitigação do efeito estufa e ao futuro das florestas tropicais. As áreas de florestas tropicais do mundo são economicamente pobres quando comparadas às áreas industrializadas, responsáveis pela maioria da liberação de gases de efeito estufa em nível mundial. Um mal-entendido comum é achar que evitar o desmatamento tropical significaria impedir os agricultores pobres de se alimentarem com agricultura de corte e queima para deixar que os america-

nos ricos passem em carros grandes. No entanto, na Amazônia brasileira (em contraste com algumas outras partes dos trópicos), o desmatamento é feito principalmente pelos ricos [20]. Isto apresenta uma oportunidade pelo que este autor denomina de “a estratégia Robin Hood”, tirando dos ricos para dar aos pobres ao parar o desmatamento realizado pelos fazendeiros ricos e especuladores de terra e usar o valor dos serviços ambientais da floresta como meio de sustentar a população rural pobre da Amazônia [25].

Uma pergunta constante é: “como compensar os serviços ambientais de a floresta permanecer em pé sem recompensar grileiros (grandes apropriadores ilegais de terra) e fazendeiros que foram vitoriosos na luta freqüentemente sangrenta pela terra?”. A compensação para o carbono tornaria mais lucrativa ainda a grilagem de terras amazônicas como atividade econômica. Impactos sociais representam pontos preocupantes em larga gama de projetos de mitigação em potencial nas florestas tropicais [23]. Embora muitas políticas e proteções legais (e lutas sociais) sejam necessárias para assegurar que os segmentos pobres da população residente na região recebam os benefícios das atividades de mitigação, o primeiro passo em qualquer plano para aproveitar o valor dos serviços ambientais da floresta deve ser a criação daquele valor, neste caso, o valor do carbono. A existência de preocupações de justiça social indica a necessidade de mudanças sociais e não que o valor de carbono de florestas tropicais deveria ser desprezado.

A função dos povos indígenas em manter a floresta amazônica é um ponto crucial do debate sobre o papel do desmatamento evitado na mitigação do efeito estufa. Áreas indígenas representam defesa fundamental contra o desmatamento, e elas abrangem muito mais floresta do que as unidades de conservação [75]. A noção de que países, empresas e outros atores preocupados com o efeito estufa podem simplesmente embolsar gratuitamente as contribuições ambientais dos povos indígenas é gravemente incorreta, e é provável que essa noção conduza à erosão e perda da proteção que esses guardiões das florestas fornecem atualmente [39].

AGRADECIMENTOS

O Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: Proc. 470765/01-1, 306031/2004-3, 557152/2005-4, 420199/2005-5) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA: PPI 1-1005, PRJ05.57) contribuíram com apoio financeiro. Parcialmente traduzido de um capítulo preparado para: *Ciência de Mudança de Clima e Política*, organizado por Steven Schneider, Armin Rosencranz e Michael Mastrandrea, Island Press, Covelo, Califórnia, EUA. Agradeço a M. Buckeridge, S. Couseiro e P.M.L.A. Graça pelos comentários.

LITERATURA CITADA

1. ALENCAR, A.C.; SOLÓRZANO, L.A.; NEPSTAD, D.C. Modeling forest understory fires in an eastern Amazonian landscape. *Ecological Applications* 14(4): S139-S149. 2004.
2. ARNELL, N.W.; CANNELL, M.G.R.; HULME, M.; KOVATS, R.S.; MITCHELL, J.F.B.; NICHOLS, R.J.; PARRY, M.L.; LIVERMORE, M.T.J.; WHITE, A. The consequences of CO₂ stabilisation for the impacts of climate change. *Climatic Change* 53(4): 413-446. 2002.
3. BARBER, C.V.; SCHWEITHELM, J. *Trial by Fire: Forest Fires and Forestry Policy in Indonesia's Era of Crisis and Reform*. World Resources Institute, Washington, DC. 2000, 76 p.
4. BARBOSA, R.I.; FEARNside, P.M. 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(4): 513-534. 1999.
5. BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47: 151-163. 1996.
6. BELLAMY, P.H.; LOVELAND, P.J.; BRADLEY, R.I.; LARK, R.M.; KIRK, G.J.D. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature* 437: 245-248. 2005.

7. BETTS, R.A.; COX, P.M.; COLLINS, M.; HARRIS, P.P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C.D. The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. **Theoretical and Applied Climatology** 78: 157-175. 2004.
8. BLANCO, J. T.; FORNER, C. **Expiring CERs: A proposal to addressing the permanence issue for LUCF projects in the CDM**. Unpublished manuscript, Economic and Financial Analysis Group, Ministry of the Environment, Bogotá, Colombia. FCCC/SB/2000/MISC.4/Add.2/Rev.1, 14 September 2000. (disponível em <http://www.unfccc.de>).
9. CÂNDIDO, L.A.; MANZI, A.O.; TOTA, J.; da SILVA, P.R.T.; da SILVA, F.S. M.; dos SANTOS, R.M. N.; CORREIA, F.W. S. O Clima atual e futuro da Amazônia nos Cenários do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas: a questão da savanização. **Ciência e Cultura** (no prelo).
10. CARDOSO, M.; HURTT, G.C.; MOORE III, B.; NOBRE, C.A.; PRINS, E.M. Projecting future fire activity in Amazonia. **Global Change Biology** 9(5): 656-669. 2003.
11. COCHRANE, M.A. Fire science for rainforests. **Nature** 421: 913-919. 2003.
12. COCHRANE, M.A.; ALENCAR, A.; SCHULZE, M.D.; SOUZA JR., C.M.; NEPSTAD, D.C.; LEFEBVRE, P.; DAVIDSON, E.A. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. **Science** 284: 1832-1835. 1999.
13. COX, P.M.; BETTS, R.A.; COLLINS, M.; HARRIS, P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C.D. Amazonian dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. **Theoretical and Applied Climatology** 78: 137-156. 2004.
14. COX, P.M.; BETTS, R.A.; JONES, C.D.; SPALL, S.A.; TOTTERDELL, I.J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. **Nature** 408: 184-187. 2000.
15. DAVIDSON, E.A.; JANSSENS, I.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature** 440: 165-173. 2006.
16. DEUTSCHER BUNDESTAG. **Protecting the Tropical Forests: A High-Priority International Task**. Referat Öffentlichkeitsarbeit, Deutscher Bundestag, Bonn, Alemanha. 1990, 968 p.
17. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Resources Assessment 1990: Tropical Countries**. (FAO Forestry Paper 112). FAO, Roma, Itália. 1993. 61 p. + anexos.
18. FEARNSIDE, P.M. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem. **Interciência** 10(4): 179-186. 1985.
19. FEARNSIDE, P.M. Forest management in Amazonia: The need for new criteria in evaluating development options. **Forest Ecology and Management** 27(1): 61-79. 1989.
20. FEARNSIDE, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. **Ambio** 22(8): 537-545. 1993.
21. FEARNSIDE, P.M. Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management** 78(1-3): 51-70. 1995.
22. FEARNSIDE, P.M. Global warming response options in Brazil's forest sector: Comparison of project-level costs and benefits. **Biomass and Bioenergy** 8(5): 309-322. 1995.
23. FEARNSIDE, P.M. Socio-economic factors in the management of tropical forests for carbon. p. 349-361 In: APPS, M.J.; PRICE, D.T. (eds.) **Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle**. NATO ASI Series, Subseries I "Global Environmental Change," Vol. 40. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha. 1996. 452 p.
24. FEARNSIDE, P.M. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. **Climatic Change** 35(3): 321-360. 1997a.
25. FEARNSIDE, P.M. Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonia. **Ecological Economics** 20(1): 53-70. 1997b.
26. FEARNSIDE, P.M. Plantation forestry in Brazil: Projections to 2050. **Biomass and Bioenergy** 15(6): 437-450. 1998.
27. FEARNSIDE, P.M. Effects of land use and forest management on the carbon cycle in the Brazilian Amazon. **Journal of Sustainable Forestry** 12(1-2): 79-97. 2000a.
28. FEARNSIDE, P.M. Global warming and tropical land-use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. **Climatic Change** 46(1-2): 115-158. 2000b.
29. FEARNSIDE, P.M. Greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. pp. 231-249. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; STEWART, B.A. (eds.) **Global Climate Change and Tropical Ecosystems. Advances in Soil Science**. CRC Press, Boca Raton, Florida, EUA. 2000c. 438 p.
30. FEARNSIDE, P.M. Uncertainty in land-use change and forestry sector mitigation options for global warming: Plantation silviculture versus avoided deforestation. **Biomass and Bioenergy** 18(6): 457-468. 2000d.

31. FEARNNSIDE, P.M. The potential of Brazil's forest sector for mitigating global warming under the Kyoto Protocol. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change** 6(3-4): 355-372. 2001a.
32. FEARNNSIDE, P.M. Saving tropical forests as a global warming countermeasure: An issue that divides the environmental movement. **Ecological Economics** 39(2): 167-184. 2001b.
33. FEARNNSIDE, P.M. Time preference in global warming calculations: A proposal for a unified index. **Ecological Economics** 41(1): 21-31. 2002a.
34. FEARNNSIDE, P.M. Why a 100-year time horizon should be used for global warming mitigation calculations. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change** 7(1): 19-30. 2002b.
35. FEARNNSIDE, P.M. Deforestation control in Mato Grosso: A new model for slowing the loss of Brazil's Amazon forest. **Ambio** 32(5): 343-345. 2003a.
36. FEARNNSIDE, P.M. Conservation policy in Brazilian Amazonia: understanding the dilemmas. **World Development** 31(5): 757-779. 2003b.
37. FEARNNSIDE, P.M. A água de São Paulo e a floresta amazônica. **Ciência Hoje** 34(203): 63-65. 2004a.
38. FEARNNSIDE, P.M. Are climate change impacts already affecting tropical forest biomass? **Global Environmental Change** 14(4): 299-302. 2004b.
39. FEARNNSIDE, P.M. Indigenous peoples as providers of environmental services in Amazonia: Warning signs from Mato Grosso. p. 187-198. In: Hall, A. (ed.) **Global Impact, Local Action: New Environmental Policy in Latin America**. University of London, School of Advanced Studies, Institute for the Study of the Americas, London, Reino Unido. 2005. 321 p.
40. FEARNNSIDE, P.M. A vazante na Amazônia e o aquecimento global. **Ciência Hoje** 38(231): 76-78. 2006a.
41. FEARNNSIDE, P.M. Mitigation of climatic change in the Amazon. p. 353-375 In: LAURANCE, W.F.; PERES, C.A. (eds.) **Emerging Threats to Tropical Forests**. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, EUA. 2006b. 563 p.
42. FEARNNSIDE, P.M. On the value of temporary carbon: A comment on Kirschbaum. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change** (no prelo). DOI 10.1007/s11027-007-9112-7. 2007.
43. FEARNNSIDE, P.M.; BARBOSA, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management** 108(1-2): 147-166. 1998.
44. FEARNNSIDE, P.M.; BARBOSA, R.I. Avoided deforestation in Amazonia as a global warming mitigation measure: The case of Mato Grosso. **World Resource Review** 15(3): 352-361. 2003.
45. FEARNNSIDE, P.M.; LASHOF, D.A.; MOURA-COSTA, P. Accounting for time in mitigating global warming through land-use change and forestry. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change** 5(3): 239-270. 2000.
46. FEARNNSIDE, P.M.; LAURANCE, W.F. Tropical deforestation and greenhouse gas emissions. **Ecological Applications** 14(4): 982-986. 2004.
47. FULLER, D.O.; MURPHY, K. The enso-fire dynamic in insular Southeast Asia. **Climatic Change** 74(4): 435-455. 2006.
48. GREENPEACE INTERNATIONAL. **Should forests and other land use change activities be in the CDM?** Greenpeace International, Amsterdam, Países Baixos. 2000. 24 p.
49. HARE, B.; MEINSHAUSEN, M. How much warming are we committed to and how much can be avoided? **Climatic Change** 75: 111-149. 2006.
50. HEGERL, G.C.; CROWLEY, T.J.; HYDE, W.T.; FRAME, D.J. Climate sensitivity constrained by temperature reconstructions over the past seven centuries. **Nature** 440: 1029-1032. 2006.
51. HOPKIN, M. Missing gas saps plant theory. **Nature** 447: 11. 2007.
52. HUNTINGFORD, C.; HARRIS, P.O.; GEDNEY, N.; COX, P.M.; BETTS, R.A.; MARENCO, J.A.; GASH, J.H.C. Using a GCM analogue model to investigate the potential for Amazonian forest dieback. **Theoretical and Applied Climatology** 78: 177-185. 2004.
53. KEPPLER, F.; HAMILTON, J.T.G.; BRASS, M.; RÖCKMANN, T. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. **Nature** 439: 187-191. 2006.
54. KERR, R.A. Latest forecast: Stand by for a warmer, but not scorching, world. **Science** 312: 351. 2006.
55. KIRSCHBAUM, M.U.F. Temporary carbon sequestration cannot prevent climate change. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change** 11: 1151-1164. 2006.
56. LAURANCE, W.F.; LAURANCE, S.G.; FERREIRA, L.V.; RANKIN-DE-MERONA, J.M.; GASCON, C.; LOVEJOY, T.E. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. **Science** 278: 1117-1118. 1997.
57. LAURANCE, W.F.; NASCIMENTO, H.E.M.; LAURANCE, S.G.; ANDRADE, A.; RIBEIRO, J.E.L.S.; GIRALDO, J.P.; LOVEJOY, T.E.; CONDIT, R.; CHAVE, J.; HARMS, K.E.; D'ANGELO, S. **Rapid decay of tree-community composition in Amazonian forest fragments**. Proceedings of the National Academy of Sciences <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0609048103>. 2006.

58. LEAN, J.; BUNTON, C.B.; NOBRE, C.A.; ROWNTREE, P.R. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. p. 549-576. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R.L. (eds.) **Amazonian Deforestation and Climate**. Wiley, Chichester, Reino Unido. 1996. 611 p.
59. LEGGETT, J. (ed.) **Global Warming: The Greenpeace Report**. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido. 1990. 554 p.
60. MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R.A.; KILEEN, T.J.; LI, W.; NOBRE, C.A.. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science** 319: 169-172. 2008.
61. MALINGREAU, J.P.; STEPHENS, G.; FELLOWS, L. Remote Sensing of Forest Fires: Kalimantan and North Borneo in 1982-1983. **Ambio** 14(6): 314-321. 1985.
62. MASTRANDREA, M.D.; SCHNEIDER, S.H. Probabilistic integrated assessment of "dangerous" climate change. **Science** 304: 571-575. 2004.
63. MEEHL, G.A.; STOCKER, T.F.; COLLINS, W.D.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GAYE, A.T.; GREGORY, J.M.; KITOH, A.; KNUTTI, R.; MURPHY, J.M.; NODA, A.; RAPER, S.C.B.; WATTERSON, G.; WEAVER, J.; ZHAO, Z.C. 2007: Global Climate Projections. pp. 747-845 In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (eds.) **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 2007. 996 pp.
64. MEGGERS, B.J. Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millenia. **Climatic Change** 28(1-2): 321-338. 1994.
65. MEINSHAUSEN, M.; HARE, B. **Temporary sinks do not cause permanent climate benefits**. Greenpeace International, Amsterdam, Países Baixos. 2000. 7p. (disponível em: www.carbonsinks.de).
66. MILES, L.; GRAINGER, A.; PHILLIPS, O. The impact of global climate change on tropical biodiversity in Amazonia. **Global Ecology and Biogeography** 13(6): 553-565. 2004.
67. MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S. (eds.) **Tropical deforestation and climate change**. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Belém, Pará, Brazil & Environmental Defense (EDF), Washington, DC, EUA. 2005. 131 p.
68. MYERS, N. **Deforestation Rates in Tropical Forests and their Climatic Implications**. Friends of the Earth, London, Reino Unido. 1989. 116 p.
69. MYERS, N.; MITTERMEIER, C.G.; MITTERMEIER, R.A.; DA FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature** 403: 853-858. 2000.
70. NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, W. F. Biomass dynamics in Amazonian forest fragments. **Ecological Applications** 14(4) Supplement: S127-S138. 2004.
71. NEPSTAD, D. C.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.A.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature** 398: 505-508. 1999.
72. NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA JR. U. L.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management** 154: 395-407. 2001.
73. NEPSTAD, D.C.; LEFEBVRE, P.; SILVA JR. U. L.; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLORZANO, L.; MOUTINHO, P.; RAY, D.; BENITO, J.G. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis. **Global Change Biology** 10(5): 704-712. 2004.
74. NEPSTAD, D.C.; MOUTINHO, P.; DIAS-FILHO, P.M.B.; DAVIDSON, E.; CARDINOT, G.; MARKEWITZ, D.; FIGUEIREDO, R.; VIANNA, N.; CHAMBERS, J.; RAY, D.; GUEIREROS, J.B.; LEFEBVRE, P.; STERNBERG, L.; MOREIRA, M.; BARROS, L.; ISHIDA, F.Y.; TOHLVER, I.; BELK, E.; KALIF, K.; SCHWALBE, K. The effects of partial rainfall exclusion on canopy processes, aboveground production and biogeochemistry of an Amazon forest. **Journal of Geophysical Research** 107(D20): 1-18. 2002.
75. NEPSTAD, D.C.; SCHWARTZMAN, S.; BAMBERGER, B.; SANTILLI, M.; RAY, D.; SCHLESINGER, P.; LEFEBVRE, P.; ALENCAR, A.; PRINZ, E.; FISKE, G.; ROLLA, A. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. **Conservation Biology** 20(1): 65-73. 2006.
76. NEPSTAD, D.C.; TOHLVER, I.M.; RAY, D.; MOUTINHO, P.; CARDINOT, G. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. **Ecology** 88(9): 2259-2269. 2007.
77. NICHOLLS, N. et al. Observed climate variability and change. p. 133-192 In: HOUGHTON, J.T.; MEIRA FILHO, L.G.; CALLANDER, B.A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. (eds.) **Climate Change 1995: The Science of Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 1996. 572 p.

78. NOBRE, C.A. Mudanças climáticas globais: Possíveis impactos nos ecossistemas do País. **Parecerias Estratégicas** 12: 239-258. 2001.
79. NOGUEIRA, E.M.; NELSON, B.W.; FEARNESIDE, P.M. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management** 208(1-3): 261-286. 2005.
80. NOGUEIRA, E.M., NELSON, B.W. & FEARNESIDE, P.M. Volume and biomass of trees in central Amazonia: Influence of irregularly shaped and hollow trunks. **Forest Ecology and Management** 227(1-2): 14-21. 2006.
81. NOGUEIRA, E.M.; FEARNESIDE, P.M.; NELSON B.W.; FRANÇA, M.B. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. **Forest Ecology and Management** (no prelo). DOI: 10.1016/j.foreco.2007.04.047. 2007.
82. OYAMA, M. D.; NOBRE, C.A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letters** 30(23): 2199-2203. 2003.
83. PRENTICE, I.C. et al. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. p. 183-237 In: HOUGHTON, J.T. et al (eds.) **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 2001. 881 p.
84. POUNDS, J.A.; BUSTAMANTE, M.R.; COLOMA, L.A.; CONSUEGRA, J.A.; FOGDEN, M.P.L.; FOSTER, P.N.; LA MARCA, E.; MASTERS, K.L.; MARINO-VITERI, A.; PUSHCENDORE, R.; RON, S.R.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G.A.; STILL, C.J.; YOUNG, B.E. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. **Nature** 439: 161-167. 2006.
85. RICE, A.H.; PYLE, E.H.; SALESKA, S.R.; HUTYRA, L.; PALACE, M.; KELLER, M.; DE CAMARGO, P.B.; PORTILHO, K.; MARQUES, D.E.; WOFSY, S.C. Carbon balance and vegetation dynamics in an old-growth Amazonian forest. **Ecological Applications** 14(4) Supplement: S55-S71. 2004.
86. SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters** 34: L09708. doi:10.1029/2007GL029695. 2007.
87. SANTILLI, M.; MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S.; NEPSTAD, D.; CURRAN, L.; NOBRE, C.A. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol. **Climatic Change** 71: 267-276. 2005.
88. SAUGIER, B.; ROY, J.; MOONEY, H.A. Estimations of global terrestrial productivity: converging toward a single number? p. 241-255. In: SAUGIER, B.; ROY, J.; MOONEY, H.A. (eds.). **Global Terrestrial Productivity**. Academic Press, San Diego, California, EUA. 2001. 573 p.
89. SCHIMMEL, D. et al. Radiative forcing of climate change. pp. 65-131 In: HOUGHTON, J.T.; MEIRA FILHO, L.G.; CALLANDER, B.A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. (eds.). **Climate Change 1995: The Science of Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 1996. 572 p.
90. SCHNEIDER, S.H.. Abrupt non-linear climate change, irreversibility and surprise. **Global Environmental Change** 14: 245-258. 2004.
91. SCHNEIDER, S.H.; SEMENOV, S.; PATWARDHAN, A.; BURTON, I.; MAGADZA, C.; OPPENHEIMER, M.; PITTOCK, A.B.; RAHMAN, A.; SMITH, J.B.; SUAREZ, A.; YAMIN, F. 2007 Assessing Key Vulnerabilities and the Risk from Climate Change. Chapter 19 In: PARRY, M.; CANZIANI, O. (eds.). **Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. (no prelo).
92. 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. Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. **Nature** 433: 403-406. 2005.
93. STERNBERG, H. O'R. Man and environmental change in South America. p. 413-445 In: FITTKAU, E.J.; ELIAS, T.S.; KLINGE, H.; SCHWABE, G.H.; SIOLI, H. (eds.) **Biogeography and Ecology in South America**. Vol. I. D.W. Junk & Co., Haia, Países Baixos. 1968. 946 p.
94. TIAN, H.; MELLILO, J.M.; KICKLIGHTER, D.W.; MCGUIRE, A.D.; HELFRICH III, J.V.K.; MOORE III, B.; VÖRÖMARTY, C. Effect of Interannual Climate Variability on Carbon Storage in Amazonian Ecosystems. **Nature** 396: 664-667. 1998.
95. TIMMERMANN, A.; OBERHUBER, J.; BACHER, A.; ESCH, M.; LATIF, M.; ROECKNER, E. Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. **Nature** 398: 694-696. 1999.
96. TOWNSEND, A.R.; VITOUSEK, P.M.; HOLLAND, E.A. Tropical soils could dominate the short-term carbon cycle feedbacks to increase global temperatures. **Climatic Change** 22: 293-303. 1992.
97. TRENBERTH, K.E.; HOAR, T.J. El Niño and climate change. **Geophysical Research Letters** 24(23): 3057-3060. 1997.

98. TRUMBORE, S.E.; DAVIDSON, E.A.; CAMARGO, P.B.; NEPSTAD, D.C.; MARTINELLI, L.A. Below-ground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles** 9(4): 515-528. 1995.
99. UN-FCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Alemanha. (<http://www.unfccc.de>). 1992.
100. VAN KOOTEN, G.C.; GRAINGER, A.; LEY, E.; MARLAND, G.; SOLBERG, B. Conceptual issues related to carbon sequestration: Uncertainty and time. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology** 27(special): S65-S82. 1997.
100. WHITE A.; CANNELL, M. **The impacts of climate change on natural vegetation**. Hadley Centre, Bracknell, UK. http://www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre/pubs/brochures/B1999/imp_nat_veg.html#tdi1999.
101. WWF Climate Change Campaign, **Make-or-break the Kyoto Protocol**. World Wildlife Fund- US, Washington, DC, EUA. (disponível em: <http://www.panda.org/climate>). 2000

PÓS-ESCRITO

A desastrosa seca de 2005 levou à descoberta de que o nível de CO₂ atmosférico que tornaria o clima “perigoso” para a floresta amazônica é mais baixo do que se pensava antes. As temperaturas da superfície do mar no Oceano Atlântico, que também são afetadas pelo aquecimento global (Trenberth & Shea, 2006), têm um efeito significativo sobre secas nas partes sul e oeste da Amazônia, como aconteceu em 2005 (Marengo *et al.*, 2008). O modelo Hadley indica um aumento dramático neste tipo de seca que começaria quase imediatamente se as emissões continuam aumentando de uma forma próxima ao atual padrão: a probabilidade anual de tais secas aumentaria de 5% em 2005 para 50% em 2025 e 90% em 2060 (Cox *et al.*, 2008). Isto significa que, com o clima de 2005, uma seca desta magnitude teria acontecido uma vez em cada 20 anos, mas isto passaria a acontecer uma vez em cada dois anos em 2025 e nove vezes em cada dez anos em 2060. A probabilidade de seca pula para cima quando a concentração de CO₂ (sem contar o efeito de gases-traço) ultrapassa 400 ppmv.

BIBLIOGRAFIA

- Cox, P.M., P.P. Harris, C. Huntingford, R.A. Betts, M. Collins, C.D. Jones, T.E. Jupp, J.A. Marengo & C.A. Nobre. 2008. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature* 453: 212-215.
- Marengo, J.A., C.A. Nobre, J. Tomasella, M.D. Oyama, G. Sampaio de Oliveira, R. de Oliveira, H. Camargo, L.M. Alves & I.F. Brown. 2008. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate* 21: 495–516.
- Trenberth, K.E. & D.J. Shea. 2006. Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophysical Research Letters* 33, L12704, doi:10.1029/2006GL026894.