

A FLORESTA AMAZÔNICA BRASILEIRA E O PROBLEMA MUNDIAL DO CARBONO

Philip M. Fearnside  
Instituto Nacional de Pesquisas  
da Amazônia-INPA  
C.P. 478  
69011 Manaus-Amazonas

Corrected: 11 de maio de 1987  
Corrected: 5 de junho de 1991  
Corrected: 12 de janeiro de 1995

Tradução de: Brazil's Amazon Forest and the Global Carbon  
Problem Interiencia 10(4): 179-186 (1985).

SUMMARY:

BRAZIL'S AMAZON FOREST AND THE GLOBAL CARBON PROBLEM

Tropical deforestation has been identified by several global carbon models as an important source of atmospheric carbon dioxide. Biomass and soil carbon information available for the Brazilian Amazon indicate that if this area were converted to cattle pasture--the present fate of most of the rapidly-expanding deforested portions of the region--approximately  $11 \times 10^9$  metric tons (Giga (G) tons) of carbon would be released in the initial burning. Subsequent releases would bring the total to about 62 G tons within a decade or two of clearing. This carbon could contribute significantly to global warming during the next decades.

RESUMO:

A FLORESTA AMAZÔNICA BRASILEIRA E O PROBLEMA MUNDIAL DO CARBONO

O desmatamento nos trópicos tem sido identificado por diversos modelos do ciclo global de carbono como uma fonte importante de gás carbônico na atmosfera. Informações disponíveis sobre carbono na biomassa e no solo da Amazônia brasileira indicam que, se esta área fosse convertida em pastagens, que é o destino atual da maior parte das superfícies desmatadas que rapidamente aumentam na região, aproximadamente  $11 \times 10^9$  toneladas métricas (Giga (G) toneladas) de carbono seriam lançadas na atmosfera pela queimada inicial. Quantidades liberadas subsequentemente elevariam o total até cerca de 62 G toneladas dentro de uma ou duas décadas, após o desmatamento. Este carbono contribuiria de maneira significativa ao aquecimento global durante as décadas vindouras.

## INTRODUÇÃO

O aumento da quantidade de dióxido de carbono na atmosfera é uma preocupação mundial importante por causa da possibilidade de mudanças no clima do mundo. As tendências atuais no uso de combustíveis fósseis poderiam levar, antes da metade do próximo século, a um aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, suficiente para aquecer a terra a uma média de 1,5-4,5°C. Uma mudança como essa teria implicações importantes para as atuais regiões de concentração de habitações humanas e para a produção agrícola.<sup>1</sup> A importância do desmatamento nos trópicos tem sido um foco de controvérsia acadêmica nos debates a respeito do problema mundial do carbono. A falta de dados confiáveis sobre a biomassa, taxas de desmatamento, regeneração e liberação de carbono são as causas dessas divergências.

Tem sido particularmente ausente a informação quantitativa sobre a Amazônia brasileira, como a maior extensão contínua de floresta úmida tropical remanescente no planeta. Aqui argumenta-se que o desmatamento na Amazônia poderia ser uma contribuição significativa ao problema maior do carbono mundial e que é possível que a importância relativa do desmatamento cresça à medida em que a derrubada continua nas próximas décadas. Embora mudanças na temperatura média global atribuíveis à derrubada na Amazônia possam parecer modestas, elas são adicionados à tensão ambiental num sistema muito perto de quebrar.

Os impactos ambientais a serem esperados de um dado aumento de temperatura são uma área de controvérsia. Mais importante do que o aumento médio da temperatura é o aquecimento das regiões polares, onde são esperados aumentos maiores de temperatura do que em latitudes baixas. Espera-se futuramente que o aumento de temperatura de todas as fontes induzido pelo CO<sub>2</sub> derreta o gelo polar, começando com o gelo do mar (Kukla & Gavin, 1981) e o lençol de gelo do oeste Antártico (Thomas *et al.*, 1979), levantando o nível do mar em 5 cm (Estados Unidos, Council on Environmental Quality and Department of State, 1980; ver Marshall, 1981). Tal enchente inundaria muitas das partes mais populosas do mundo, bem como muito da região Amazônica. Um ponto de amplo acordo nas controvérsias acadêmicas que envolvem quase todos os cálculos relacionados com os efeitos do CO<sub>2</sub> é que, uma vez chegados às temperaturas críticas que comecem a derreter o gelo polar, as longas demoras no equilíbrio do CO<sub>2</sub> oceânico tornariam ineficientes quaisquer medidas defensivas iniciadas a essa data tardia, tal como redução nas emissões de CO<sub>2</sub>.

A velocidade com que tal derretimento viria a ocorrer é incerta: o lençol de gelo do oeste Antártico pode levar várias centenas de anos para derreter, mas também poderia derreter completamente em menos de 100 anos (Thomas *et al.*, 1979; ver também Mercer, 1978). Um levantamento recente de opiniões de

peritos sobre o assunto conclui que a desintegração provavelmente levaria vários séculos, mas nesse interim os níveis dos oceanos subiriam numa taxa acelerada de 70 cm por século (Kerr, 1983b). O lençol de gelo do oeste Antártico é mais vulnerável ao derretimento rápido do que o outro gelo Antártico porque as prateleiras flutuantes de gelo no seu perímetro atual impedem o lençol de sofrer um "surge" ou um deslizamento rápido para o oceano. As prateleiras de gelo estão presas junto do continente Antártico, encailhadas em vários pontos altos ou ilhas, formando elevações de gelo. Se a temperatura do ar se elevar, prateleiras de gelo, tais como a prateleira Ross, derreteriam mais depressa do que os lençóis de gelo terrestres, liberando subsequentemente a pressão em direção oposta que agora limita o volume do fluxo de gelo que vem da massa principal de gelo do continente no oeste Antártico para o mar. A incerteza a respeito da velocidade da desintegração do lençol de gelo no caso de aquecimento provém do conhecimento pobre que se tem da topografia do fundo e os prováveis padrões de drenagem das geleiras atrás do lençol (Thomas *et al.*, 1979). A dúvida a respeito da velocidade da desintegração da prateleira de gelo resulta do fraco entendimento dos efeitos das mudanças climáticas sobre a salinidade das águas superficiais, que afetam a estabilidade das camadas oceânicas e a velocidade de transporte do calor das camadas inferiores para a superfície (Schneider & Chen, 1980: 114).

Seria necessário um aquecimento de 5°C no lençol de gelo do oeste Antártico para o degelo. Ainda que vários modelos climáticos tenham predito uma elevação dessa magnitude para acompanhar as elevações das temperaturas médias mundiais no ordem de 2°C da duplicação do CO<sub>2</sub> pré-industrial (Manabe & Stouffer, 1979; Estados Unidos, National Academy of Sciences, 1979; ver Hansen *et al.*, 1981), existe uma divergência na questão de quão grande seria o aquecimento nas regiões polares em relação à média global. Lian & Cess (1977) fizeram questão de reinterpretar as estimativas anteriores de efeito duplicado (Budyko, 1969) para o fator muito mais baixo de 25%. O aquecimento polar é ampliado devido à retroalimentação positiva do relacionamento entre albedo (refletividade) e cobertura de gelo, pois o derretimento do gelo expõe superfícies escuras que absorvem mais calor. Espera-se que a região polar do hemisfério norte seja mais aquecida do que a do hemisfério sul devido à maior porcentagem de oceano e à mudança estacional menor na cobertura de gelo (Kellogg, 1980: 219).

Embora possua um potencial menor do que o lençol de gelo do oeste Antártico para causar uma grande elevação do nível do oceano, o derretimento do gelo marinho do oceano ártico do hemisfério norte traria mudanças substanciais nos padrões de clima mundiais. Os modelos de gelo marinho prevêm que a duplicação do CO<sub>2</sub> pré-industrial derreterá todo esse gelo no verão (Parkinson & Kellogg, 1979; ver Hansen *et al.*, 1981). Um oceano ártico aberto é um fator importante em uma mudança prevista de zonas climáticas em direção aos polos, arrebatando

com a agricultura nas latitudes de maior produção de cereais atualmente na terra (Flohn, 1974; ver também Schware & Kellogg, 1982). Mudanças semelhantes em direção aos polos também ocorrem nas simulações de clima quando uma geografia idealizada elimina um oceano ártico explícito pela suposição de proporções constantes de água e terra em todas as latitudes (Manabe & Wetherald, 1980). A quantia pelas quais regiões do mundo seriam mais úmidas ou mais secas é um assunto com alguma incerteza. Foi feita a sugestão de que o clima de várias regiões do globo atualmente secas seriam beneficiadas, incluindo o nordeste do Brasil, ao mesmo tempo em que outras áreas, incluindo o sul do Brasil e a maior parte da área de floresta úmida Amazônica, ficariam mais secas (Schware & Kellogg, 1982). Entretanto, espera-se que o rio São Francisco, no nordeste do Brasil, será um dos muitos rios da terra atualmente sustentando a agricultura irrigada, a sofrer uma diminuição no fluxo de água (Revelle, 1982).

Permanecem incertezas na avaliação do impacto potencial do desmatamento da Amazônia no problema mundial do carbono, mas essas são pequenas em relação ao impacto total. Liberação incompleta é uma das incertezas. Uma parte do carbono contido na biomassa acima do chão da floresta tropical é convertido em carvão no momento da queimada, removendo assim uma parte do estoque de carbono numa fossa a longo prazo onde ele só poderá ser convertido para CO<sub>2</sub> numa escala de tempo de milênios. Não existem ainda medições desse fator de carbonização, embora estejam sendo feitas análises dos dados para observações de transferência de carvão vegetal para essa e outras fossas numa queimada estudada pelo INPA numa floresta derrubada para pastagem perto de Manaus em 1984. O fator de carbonização para uso com conversão total da biomassa não deveria incluir somente o carvão vegetal formado durante a queimada inicial da floresta derrubada mas também o carvão vegetal formado durante as queimadas subsequentes da pastagem e da floresta secundária. A grande variabilidade que caracteriza a qualidade da queimada na Amazônia significa que são necessárias medições em várias queimadas para que se possam obter parâmetros para modelos climáticos. Um conjunto de valores que tem sido usado nesses modelos foi derivado por Goudriaan & Ketner (1984: 178-179) das estimativas visuais a grosso modo de Seiler & Crutzen (1980) da formação de carvão vegetal num incêndio na zona temperada numa floresta de pinheiros ponderosa (Pinus ponderosa). Goudriaan & Ketner (1984) usam fatores de carbonização de 5% para folhas, 10% para os galhos e 20% para os troncos; essas partes perfazendo 30%, 20% e 30%, respectivamente, da biomassa total ou 37,5%, 25,0% e 37,5%, respectivamente, da biomassa acima do solo em florestas tropicais. Um fator de carbonização ponderado para a biomassa acima do solo seria portanto de 11,9%, se esse fator fosse aplicado às 45,41 gigatoneladas (10<sup>9</sup> toneladas métricas = G toneladas) do carbono total da biomassa acima do solo da floresta Amazônica brasileira (Tabela 1), a liberação total de carbono (da

biomassa total e do solo de superfície) da substituição da floresta por pastagem seria de 56,44 G toneladas. Impressões preliminares são de que o fator de carbonização é um tanto mais baixo do que os 11,9% de Goudriaan & Ketner (1984), significando que a liberação real de carbono para a atmosfera com a conversão para pastagem estaria entre 56,44 e 60,09 G toneladas.

A liberação de carbono seria também amortecida pelo estoque da biomassa da vegetação secundária que, provavelmente, dominaria as terras de pastagem degradada dentro de uma ou duas décadas da conversão da floresta primária. Estão sendo conduzidos pelo INPA estudos no Pará e Rondônia sobre a acumulação de biomassa da floresta secundária em relação à fertilidade do solo. Apesar da incerteza no que diz respeito ao estoque do carbono em equilíbrio na vegetação de substituição, a derrubada da floresta úmida seria suficientemente grande para, mesmo que a média da biomassa contida na vegetação de substituição chegasse, digamos, à 50% da biomassa original, uma cifra improvável de ser alcançada em média na região, ainda ocorreria uma liberação líquida de CO<sub>2</sub> climaticamente significativa.

#### EFEITOS IMEDIATOS

Se a Amazônia brasileira inteira fosse derrubada e queimada com uma combustão suposta de 25% da biomassa viva e morta acima do solo, seriam liberadas cerca de 11,34 G toneladas de carbono. Como não existe nenhuma medição, a fração de biomassa convertida para CO<sub>2</sub> é incerta. Silva (1978) usou uma estimativa de 20% de combustão; Seiler & Crutzen (1980) usaram 25%. Para efeito de cálculo, adotei os valores presumidos por Seiler & Crutzen (1980). Observações de queimadas na Amazônia brasileira indicam que as frações queimadas variam grandemente entre os agricultores e de ano para ano (ver Fearnside, 1986a).

A quantia que permanece na atmosfera de CO<sub>2</sub> induzido pelo homem é incerta por um fator de dois devido à dúvida a respeito da concentração de CO<sub>2</sub> pré-industrial. Se o nível pré-industrial era 290 ppmv (partes por milhão por volume), então permaneceram 70 G toneladas, mas se a concentração era de 260 ppmv então permaneceu o dobro daquela quantia, calculando-se a partir de um total de insumo humano de 180-200 G toneladas (Bolin *et al.*, 1979a). Será usada aqui a cifra menor para CO<sub>2</sub> pré-industrial, pois os valores nessa ordem foram considerados como razoáveis baseados em uma elevação supostamente lenta por grande parte da vegetação do mundo que não está limitada pelo CO<sub>2</sub> (Goudriaan & Ajtay, 1979; ver Björkström, 1979a: 448), e por evidência da razão isotópica de carbono dos anéis de árvores (Stuiver, 1978). As bolhas de ar aprisionadas no gelo ártico e Antártico desde os tempos pré-industriais contêm cerca de 270 ppmv de CO<sub>2</sub> (H. Oeschger & B. Stouffer, citado por Kerr, 1983a). O re-exame recente das medições de CO<sub>2</sub> em fins do século dezanove feitas na Europa e América do Sul indicam fortemente o valor pré-industrial

no âmbito de 260-270 ppmv (Wigley, 1983). Um suporte indireto para níveis pré-industriais mais baixos de CO<sub>2</sub> é dado pelas simulações do ciclo de carbono global que só produzem ajustamentos razoáveis aos dados históricos de séries de tempo de <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C se se presume o CO<sub>2</sub> pré-industrial de aproximadamente 245 ppmv (Emanuel *et al.*, 1984).

Usando uma fração remanescente atual de 54-78% para o acumulado de carbono total (fóssil + não fóssil), calculado da estimativa por Bolin *et al.*, (1979: 49) para o caso do CO<sub>2</sub> pré-industrial de 260 ppmv, permaneceriam na atmosfera 6,13-8,85 G toneladas de carbono.<sup>2</sup> O presente cálculo é otimístico ao presumir um valor fixo para a fração aerotransportada remanescente ou cumulativa: na realidade espera-se que a porção aerotransportada de insumos futuros eleve-se à medida que a capacidade de absorção dos oceanos seja saturada devido aos aumentos futuros de CO<sub>2</sub>. Keelling & Bacastow (1977; ver Bolin *et al.*, 1979a: 47) calcularam que a fração aerotransportada (ignorando-se as fontes por mudanças na biota) pode aumentar para acima de 80%. Uma série de modelos de concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico por Siegenthaler & Oeschger (1978) produziram valores simulados para a fração aerotransportada dos desprendimentos cumulativos de CO<sub>2</sub> (somente de combustíveis fósseis) na ordem de 80% se forem queimadas todas as reservas de combustível fóssil. Os mesmos modelos produziam valores para a fração aerotransportada variando de 55,5% até 71,1% no caso de ocorrer uma duplicação do CO<sub>2</sub> pré-industrial em 2020. Tais aumentos na fração aerotransportada ampliariam o impacto climático de cada tonelada de carbono liberada.

Como a atual concentração de carbono atmosférico de 330 ppmv corresponde à 700 G toneladas (Björkström, 1979b) o aumento atmosférico médio pelos desprendimentos relativamente rápidos acompanhando a queima inicial da floresta da Amazônia brasileira seria de cerca de 2,9-4,2 ppmv. As elevações da temperatura média global por causa do "efeito estufa" desse insumo de carbono podem ser calculadas a grosso modo usando a faixa de 1,5-4,5°C sugerido pela National Academy of Sciences dos Estados Unidos (1979), para o efeito da duplicação de uma concentração pré-industrial de CO<sub>2</sub> de 300 ppmv. Os efeitos médios de uma duplicação prevista pela maioria dos modelos de clima global caem nessa faixa, incluindo as estimativas de 2-3°C de Manabe & Wetherald (1967, 1975) e de 2°C por Manabe & Stouffer (1979). Esses modelos incluem o processo de retroalimentação positiva entre a temperatura do oceano e o aquecimento troposférico o qual amplia o efeito do CO<sub>2</sub> nas temperaturas superficiais globais: a elevação da temperatura da superfície do oceano libera vapor de água, o qual por sua vez absorve a radiação solar e a re-emite como infra-vermelho (IV). A fração dessa emissão IV que é direcionada para baixo aquece mais a superfície do oceano (Ramanathan, 1981). Os modelos climáticos globais que omitem esse processo de retroalimentação (Newell & Dopplick, 1979), ou

alternativamente observações a curto prazo sobre massas de terra continentais (Idso, 1980) concluem que a duplicação do CO<sub>2</sub> teria um efeito desprezível na média das temperaturas globais, enquanto os vários modelos que incluem a retroalimentação mostram aquecimento na faixa indicada (ver Kerr, 1982; Estados Unidos, National Academy of Sciences, 1982; Ramanathan, 1981). A queimada inicial acarretaria 0,01-0,06°C desse aquecimento global.<sup>3</sup>

#### EFEITOS RETARDADOS

O desprendimento final total de carbono pelo desmatamento da Amazônia depende do uso da terra substituindo a vegetação original. A grande maioria da área derrubada na Amazônia brasileira é convertida em pastagem dentro de poucos anos após a derrubada (Fearnside, 1983). Não é provável que a pastagem substitua toda a vegetação lenhosa, como a invasão de espécies lenhosas é comum no atual primeiro ciclo daquilo que poderá se tornar uma espécie de sistema de pecuária itinerante de baixa produtividade (Fearnside, 1979, 1980). De uma maneira análoga à agriculturaitinerante, os pastos são temporariamente abandonados quando a produtividade cai abaixo de níveis aceitáveis. Infelizmente, a rebrota da vegetação lenhosa em terra de pastagem degradada é muito mais vagarosa do que a rebrota em roças em pousio sob agricultura itinerante de ciclo longo, e não é provável que se permita que a rebrota de capoeira atinja uma proporção alta da biomassa da floresta original antes que seja roçada. O argumento algumas vezes apresentado de que a regeneração rápida da biomassa, característica da agricultura itinerante contrabalançaria substancialmente os desprendimentos de carbono do desmatamento em áreas como a Amazônia brasileira\* é portanto enganador. Na Amazônia brasileira a área ocupada por agricultura itinerante é mínima em relação à área de pasto em rápida expansão (Fearnside, 1985a). De qualquer maneira, alguma quantidade de carbono ficará sem dúvida retida nas florestas secundárias nas próximas décadas.

Outra fossa de carbono pobremente quantificada é o carvão produzido durante a queimada. Seiler & Crutzen (1980) argumentaram que o armazenamento de carbono como carvão no solo abaixa significativamente o impacto do desmatamento sobre o CO<sub>2</sub> atmosférico. Houghton *et al.* (1983) conduziram testes de sensibilidade de um modelo tipo contabilidade dos estoques de carbono (Moore *et al.*, 1981) e chegaram à conclusão que, se a floresta intocada pode ser considerada como em estado estável no que diz respeito ao carbono, o carvão "não é importante, exceto na medida em que a taxa de queimada e formação está mudando atualmente". Houghton *et al.* concluem de sua análise que a maior fonte de carbono atmosférico é a conversão de florestas para agricultura, especialmente nos trópicos (ver também Hobbie *et al.*, 1984; Woodwell *et al.*, 1983). O desmatamento é um fator significativo, mesmo quando se presume a influência alteradora do

carvão vegetal enfatizada por Seiler & Crutzen (1980): quando se usou os valores desses autores para o carvão e outros parâmetros como base para uma simulação do ciclo global do carbono, descobriu-se que o período de vida da biomassa e as taxas do desmatamento da rerecuperação da terra são duas das três incertezas mais importantes que afetam os níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico no próximo século (Goudriaan & Ketner, 1984: 189).

A maior parte da biomassa deixada sem queimar pela primeira queimada seguida à derrubada é oxidada dentro de uma ou duas décadas pela decomposição e combustão quando, como roças agrícolas e pastagens, é re-queimada nos anos subsequentes. O aumento da atividade dos cupins nas áreas desmatadas fornecem uma via adicional para a liberação do CO<sub>2</sub> (Zimmerman *et al.*, 1982; mas ver crítica por Collins & Wood, 1984 e resposta por Zimmerman *et al.*, 1984). O impacto desses desprendimentos retardados sobre o CO<sub>2</sub> atmosférico e temperaturas globais seria cerca de seis vezes maior do que os efeitos imediatos. A liberação acumulada alcançaria 61,8 G toneladas carbono como resultado do declínio do carbono estocado na biomassa total sob vegetação natural (Tabela 1) até as 2 toneladas por hectare de peso de biomassa úmida (= 0,21 G toneladas C na Amazônia Legal brasileira) sob pastagem com dez anos de idade em Paragominas, Pará (Hecht, 1982: 355), juntamente com a diminuição no carbono nos 20 cm superficiais do solo, pela quantidade observada como resultado da conversão da floresta em pastagem. A matéria orgânica do solo declina rapidamente em seguida à derrubada devido à elevação das temperaturas do solo deslocando o valor de equilíbrio para um nível mais baixo (Cunningham, 1963; Nye & Greenland, 1960). Usando médias de carbono do solo sob pastagens com 10 e 11 anos de idade em Paragominas e Suia-Missu (Falesi, 1976: 31 e 42), pode-se esperar uma diminuição de 0,91% de peso seco nos 20 cm de superfície do solo sob floresta (média para as mesmas duas áreas) para 0,56% sob pastagem. Para a Amazônia Legal (5 X 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>), isso liberaria 1,96 G toneladas C dos 20 cm da superfície do solo da floresta, usando um valor para a densidade do solo de 0,56 g cm<sup>-3</sup> sob floresta em Paragominas (Hecht, 1981: 95). A camada de superfície do solo de pastagem usada nesse cálculo é aquela que foi compactada da camada de 20 cm superior do solo da floresta, não a camada de idêntica dimensão vertical sob pastagem. As figuras da perda de carbono do solo são conservadoras: camadas mais profundas são desprezadas.

O aumento total de CO<sub>2</sub> da liberação imediata e retardada de carbono seria de 15,7-22,7 ppmv, usando as mesmas suposições sobre o destino do carbono na atmosfera que as usadas para o cálculo dos efeitos imediatos. Esses cálculos são conservadores ao ignorar qualquer efeito potencial decorrente da quebra do ciclo anual do fluxo do carbono entre a biosfera e a atmosfera. O fluxo anual de carbono entre a biosfera e a atmosfera totaliza aproximadamente 63 G toneladas, em comparação com as 5 G toneladas de combustíveis fósseis (Bolin *et al.*, 1979b). A

importância do fluxo na biosfera é indicada pelo ciclo anual de concentração de CO<sub>2</sub> no hemisfério norte quando comparado com o Polo Sul (Keeling *et al.*, 1976,b; ver também Woodwell *et al.*, 1978). A proporção maior de terra no hemisfério norte é responsável pela oscilação maior entre as estações do ano. O rompimento do fluxo de carbono da atmosfera para a biosfera é considerado potencialmente sério, pois a menor diminuição da habilidade da biota da terra na absorção do carbono através da fotossíntese criaria um desequilíbrio significativo (Henderson-Sellers, 1981: 454).

Os desprendimentos retardados de carbono de uma Amazônia brasileira desmatada trariam o total da elevação na média da temperatura global para 0,08-0,34°C, segundo o procedimento de cálculo usado para efeitos imediatos. Extendendo-se esses cálculos para toda a bacia de hidrográfica Amazônica elevar-se-iam os valores em cerca de 56% (trazendo a elevação de temperatura média para 0,12-0,53°C), usando-se 7,8 X 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> como a área da bacia Amazônica (Henderson-Sellers, 1981) e 5 X 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> para a Amazônia Legal brasileira.

#### DISCUSSÃO

Controvérsias acadêmicas cercam muitos dos pontos tocados pelos argumentos acima. Os dados sobre a biomassa da floresta Amazônica usados nos presentes cálculos são tirados de estudos publicados para localidades específicas. O componente principal do total da biomassa na região (floresta densa de terra firme) deriva da média dos estudos relatando medições em duas partes da região amplamente separadas; o valor da biomassa usado para cada uma dessas partes da região, por sua vez, é um composto de vários estudos (Tabela 1, nota d). O total da biomassa da floresta densa de terra firme para as três frações (vivo acima do solo, subterrânea e foliça + morto acima do solo) é de 361,5 toneladas ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). Uma estimativa recente baseada em inventários do volume de madeira e relações alométricas pretendem uma média de apenas 155,1 toneladas ha<sup>-1</sup> (ou cerca da metade da presente estimativa) para a categoria aparentemente equivalente de "florestas latifolhas produtivas intocadas fechadas dos trópicos Americanos" (Brown & Lugo, 1984). Esse valor é substancialmente menor do que qualquer valor disponível de medições diretas. Outras informações existentes para partes da Amazônia brasileira não incluídas na presente estimativa, tais como 354 toneladas ha<sup>-1</sup> de biomassa de "madeira" calculada para as florestas da área do Projeto Jari (Jordan & Russell, 1983), confirmam os valores mais altos da Tabela 1. Vale a pena notar, entretanto, que quantidades de carbono climaticamente significativas seriam liberadas pelo desmatamento da região, mesmo que a estimativa muito mais baixa baseada no volume de madeira provasse ser correta.

A controvérsia cerca também todas as iniciativas de prever o aquecimento induzido pelo CO<sub>2</sub> a partir de modelos de circulação geral da atmosfera. As discrepâncias entre muitos resultados de modelo e tendências de temperaturas observadas foram revistas por Idso (1983). Apesar das eventuais insuficiências que os modelos existentes possam ter, a lógica que suporta um "efeito estufa" potencialmente significativo induzido pelo CO<sub>2</sub> é bastante convincente. A presente discussão baseia suas conclusões em prováveis mudanças de temperatura de uma dada elevação de CO<sub>2</sub> na síntese fornecida pelo grupo de especialistas reunido pela National Academy of Sciences dos Estados Unidos (1977, 1979, 1982).

As elevações de CO<sub>2</sub> atmosférico são cumulativas. Dividir a culpa entre desmatamento e outras fontes não faz nada para diminuir a severidade do problema como um todo. Nem também a existência de múltiplos contribuidores para o CO<sub>2</sub> atmosférico faz com que sejam fúteis as atividades destinadas a aliviar qualquer parcela em particular do problema. Tendo essas considerações em mente, vale a pena examinar como o desprendimento do CO<sub>2</sub> pelo desmatamento da Amazônia se compara com o da queima de combustível fóssil atualmente e como a importância relativa desses contribuidores pode mudar no futuro.

A derrubada da floresta úmida Amazônica é um fator pequeno em relação aos combustíveis fósseis quando se fazem comparações ou dos desprendimentos atuais de carbono provenientes da queima da floresta úmida com os desprendimentos globais atuais de combustível fóssil, ou dos desprendimentos totais potenciais da queima completa da floresta úmida com a dos estoques mundiais de combustível fóssil. Focalizar, ou sobre os pequenos desprendimentos líquidos atuais da biota (e.g. Broecker *et al.*, 1979) ou sobre desprendimentos hipotéticos totais das reservas de combustível fóssil (e.g. Clark *et al.*, 1982) é enganador como orientador quanto ao impacto potencial do desmatamento nas próximas décadas. O carbono nas reservas de combustível fóssil "disponíveis" globais totais é avaliado em 5.000 G toneladas (Perry & Landsberg, 1977 citado por Bolin *et al.*, 1979a: 33). Pela taxa atual de desprendimento de carbono do combustível fóssil anual de 5 G toneladas (Bolin *et al.*, 1979a), a liberação do estoque de carbono no solo e na floresta Amazônica através de combustão completa e através da conversão em pastagem (60,09 G toneladas C de floresta - 0,21 sob pastagem = 59,88 G toneladas C liberadas da biomassa, + 1,96 G toneladas do solo = 61,84 G toneladas) representaria 12 anos de uso de combustível fóssil, enquanto que a liberação incompleta representaria proporcionalmente menos. Entretanto, se a derrubada da floresta úmida for rápida nas próximas décadas, o impacto relativo desse processo assumirá uma importância maior durante o breve período enquanto a existência de áreas substanciais de floresta úmida permite a continuação da derrubada. Estimativas da atual liberação anual de carbono a partir do desmatamento incluem

0,6-1,1 G toneladas (Seiler & Crutzen, 1980: 235), 1,3 G toneladas (Loucks, 1980: 23), 1,75 G toneladas (Bach, 1980: 160), e 1 até 7 G toneladas (Woodwell *et al.*, 1978). Embora a maior dessas estimativas tenha sido criticada como irreconciliável com as taxas do absorção pelos oceanos (Broecker *et al.*, 1979), e como desprezando fossas tais como carvão vegetal do solo (Seiler & Crutzen, 1980), até mesmo as estimativas mais altas das atuais taxas de desprendimento proveniente do desmatamento são pequenas em comparação pelos desprendimentos potenciais que acompanham os prováveis aumentos na derrubada da floresta úmida. Por exemplo, se a liberação de aproximadamente 62 G toneladas de carbono implícita na conversão da floresta Amazônica em pastagem ocorresse no mesmo número de anos, o que seria uma taxa muito mais lenta do que a indicada pelas tendências anuais (Fearnside, 1982, 1984), então a liberação média de 1 G tonelada C resultante representaria 20% do desprendimento atual de combustível fóssil. Não está fora da faixa de possibilidades que haja um desprendimento do estoque de carbono da floresta úmida Amazônica com uma taxa ao dobro dessa.

#### CONCLUSÕES

- 1.) A derrubada dos 5 X 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> da Amazônia Legal brasileira liberaria aproximadamente 11 G toneladas C imediatamente para a atmosfera seguido de uma liberação lenta elevando o total para cerca de 62 G toneladas.
- 2.) Esses desprendimentos, imediato e total, de carbono correspondem à contribuição de 0,01 - 0,06°C e 0,08 - 0,34°C às elevações da média da temperatura global, respectivamente, de acordo com cálculos baseados em várias pré-suposições. Enfatiza-se que os dados são escassos sobre biomassa, eficiência de queimadas, carvão vegetal e outros fatores na região Amazônica, e que as incertezas na compreensão atual do problema mundial do carbono também se aplicam aos cálculos acima. Esses cálculos são feitos no contexto em que a combustão esperada do combustível fóssil traga a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférica total para o dobro do nível pré-industrial.
- 3.) O ritmo rápido da derrubada torna a importância provável do desmatamento em relação aos combustíveis fósseis muito maior, nas próximas décadas, do que qualquer um dos desprendimentos de carbono do passado recente ou os desprendimentos totais finais poderiam implicar.
- 4.) A liberação do carbono para a atmosfera soma-se à lista dos prováveis impactos negativos biológicos e humanos causados pelo desmatamento em larga escala.

## NOTAS

(1) Estados Unidos, National Academy of Sciences (1977, 1979, ver Wade (1979)); Estados Unidos, Council on Environmental Quality & Department of State (1980, ver Marshall (1981)); Estados Unidos, National Academy of Sciences (1982, ver Kerr (1982)); Flohn, (1974).

(2) Uma ampla variação de valores apareceu na literatura para a "fração aerotransportada", ou, a parte do CO<sub>2</sub> liberada que permanece na atmosfera em vez de ser incorporada aos organismos vivos ou transferida para fossas mortas tais como sedimentos oceânicos. Duas fontes de confusão potencial tornam necessário cuidado na interpretação desses valores. Um problema é a base usada para calcular essa fração, a qual pode se referir, ou aos desprendimentos do carbono fóssil somente, ou ao total dos desprendimentos (carbono fóssil + não fóssil). Os valores para o carbono fóssil somente são mais altos do que os valores para carbono total por um fator de 60% aproximadamente. Como os desprendimentos do combustível fóssil são muito mais bem documentados do que são os desprendimentos do desmatamento e outras fontes não fósseis, os valores para a fração aerotransportada do carbono fóssil (*i.e.*, que assume erradamente nenhum fluxo líquido de carbono da biota) são mais comuns.

Um segundo problema é o nível pré-industrial de CO<sub>2</sub> presumido ao se fazer as estimativas para a fração aerotransportada. Aqueles que presumem um nível pré-industrial de CO<sub>2</sub> de cerca de 290 ppmv, como era normal para os primeiros modelos de clima, chegam a um valor para a fração aerotransportada de cerca de metade daqueles que baseiam os cálculos em um nível pré-industrial de CO<sub>2</sub> de aproximadamente 260 ppmv (Bolin, 1979a: 49). Outros valores que aparecem na literatura para a fração aerotransportada para o carbono total incluem: 36% baseado em um nível pré-industrial de 295 ppmv (Freyer, 1978, citado por Freyer, 1979: 90); 40-50% (Revelle & Munk, 1977, citado por Revelle, 1982: 41); 62% (Hampicke, 1980: 1956); 35-45%, baseado em nível pré-industrial de CO<sub>2</sub> de 275 ppmv (Bolin, 1977: 615); e 27-39% baseado em um nível pré-industrial de CO<sub>2</sub> de 290 ppmv (Bolin *et al.*, 1979a: 49).

Deveria ser lembrado que a presunção de uma fração aerotransportada constante é um artifício da prática padrão da aplicação, para um único ano determinado, de uma fração calculada sobre 25 a 100 anos. O tempo é crítico para a fração aerotransportada; a única razão para que a fração possa não ter mudado desde meados do século dezenove é que a taxa de crescimento das fontes fósseis e não fósseis de CO<sub>2</sub> para a atmosfera possa ter sido exponencial desde então (R.A. Houghton, comunicação pessoal, 1985).

3.) Note-se que esses cálculos presumem que o desmatamento ocorre dentro do contexto da concentração chegando ao dobro de CO<sub>2</sub> pré-industrial devido aos desprendimentos de todas as fontes. Tal duplicação foi projetada para ocorrer até o ano 2025 se o consumo de combustível fóssil continuar a crescer à média de 4% ano<sup>-1</sup> que caracterizou o período 1940-1973 (Marshall, 1981 citando Estados Unidos, Council on Environmental Quality, 1981) ou 20 anos mais tarde o consumo crescer a metade daquela taxa (Wade, 1979, citando Estados Unidos, National Academy of Sciences, 1979). Por níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico diferentes que o dobro do nível pré-industrial o efeito de qualquer liberação dada de carbono seria diferente. O impacto de cada gigatonelada adicional, bem como o impacto de todas as gigatoneladas anteriores, aumentará à medida que os caminhos para as várias fossas forem sendo saturados a altos níveis de CO<sub>2</sub>.

(4) Lugo & Brown, 1981; Brown & Lugo, 1980 citado por Lugo & Brown, 1982; Brown & Lugo, 1982.

(5) Uma descoberta recente de 2,5 toneladas ha<sup>-1</sup> de biomassa viva acima do solo em uma pastagem pastoreada com dois anos de idade, mais seis toneladas ha<sup>-1</sup> de folhagem (Buschbacher, 1983), indica uma redução da biomassa um tanto menor embora ainda substancial.

(6) Agradeço aos J.G. Gunn, R.A. Houghton, D.H. Janzen, M.M. Keller, G.T. Prance, J.M. Rankin, & G.M. Woodwell por seus valiosos comentários sobre as versões anteriores do manuscrito. Agradeço a Interciência pela permissão de publicar esta tradução (Fearnside, 1985b). Ver Lugo & Brown (1986) para críticas deste trabalho, respondidas em Fearnside (1986b).

## BIBLIOGRAFIA

Aubréville, A. 1961. Etude Ecologique des Principales Formations Végétales du Brésil et Contribution a la Connaissance des Forêts de l'Amazonie Brésilienne. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, França. 268 p.

Bach, W., Pankrath, S. & Williams, J. (compiladores). 1980. Interactions of Energy and Climate. Reidel, Dordrecht, Hollanda. 569 p.

Björkström, A. 1979a. A model of CO<sub>2</sub> interaction between atmosphere, oceans, and land biota. p. 403-457 In B. Bolin, E.T. Degens, S. Kempe & P. Ketner (compiladores) The Global Carbon Cycle. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) Report No. 13. John Wiley & Sons, Nova York, E.U.A. 491 p.

Björkström, A. 1979b. Man's global redistribution of carbon. Ambio 8(6): 251-259.

Bolin B. 1977. Changes of land biota and their importance form the carbon cycle. Science 196: 613-615.

Bolin, B., Degens, E.T., Duvigneaud, P. & Kempe, S. 1979a. The global biogeochemical carbon cycle. p. 1-56 In B. Bolin, E.T. Degens, S. Kempe & P. Ketner (compiladores) The Global Carbon Cycle. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) Report No. 13. John Wiley & Sons, Nova York, E.U.A. 491 p.

Bolin, B., Degens, E.T., Kempe, S. & Ketner, P. (compiladores). 1979b. The Global Carbon Cycle. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) Report No. 13. John Wiley & Sons, Nova York, E.U.A. 491 p.

Braga, P.I.S. 1979. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta Amazônica. Acta Amazonica 9(4) suplemento: 53-80.

Brasil, Presidência da República, Ministério das Minas e Energia, Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Secretaria de Planejamento, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (SEPLAN-CNPq-INPA). 1981. Projeto Tucuruí: Relatório Semestral Jul.-Dez. (1981), Vol. 1, Fitomassa. INPA, Manaus. 267 p.

Broecker, W.S., Takahasi, T., Simpson, H.J. & Peng, T.H. 1979. Fate of fossil fuel: Carbon dioxide and the global carbon budget. Science 206: 409-418.

Brown, S. & Lugo, A.E. 1980. Preliminary estimates of the storage of organic carbon in tropical forests ecosystems. p. 65-117 In S. Brown, A.E. Lugo & B. Liegal (compiladores) The Role of Tropical Forests in the World Carbon Cycle. CONF-800350. Estados Unidos, Department of Energy, Washington, D.C., E.U.A. 156 p.

Brown, S. & Lugo, A.E. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. Biotropica 14(3): 161-187.

Brown, S. & Lugo, A.E. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. Science 223: 1290-1293.

Buschbacher, R.J. 1983. Changes in biomass and productivity when Amazon rain forest is converted to pasture. Bulletin of the Ecological Society of America 64(2): 113 (resumo).

Budyko, M.I. 1969. The effect of solar radiation variations on the climate of the earth. Tellus 21: 611-619.

Cardenas, J.D.R., Kahn, F.L. & Guillaumet, J.L. 1982. Estimativa da Fitomassa do Reservatório da UHE de Tucuruí. p. 1-11 In Brasil, Presidência da República, Ministério das Minas e Energia, Centrais Elétricas do Norte S.A. (ELETRONORTE) & Brasil, Secretaria de Planejamento, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (SEPLAN-CNPq-INPA). Projeto Tucuruí: Relatório Semestral Jan.-Jun. (1982), Vol. 2, Limnologia, Macrófitas, Fitomassa, Degradação de Fitomassa, Doenças Endêmicas, Solos. INPA, Manaus. 32 p.

Clark, W.C., Cook, K.H., Marland, G., Weinberg, A.M., Rotty, R.M., Bell, R.M., Bell, P.R. & Cooper, C.L. 1982. The carbon dioxide question: Perspectives for 1982. p. 4 In W.C. Clark (compilador) The Carbon Dioxide Review 1982. Oxford University Press, Nova York, E.U.A. 470 p.

Collins, N.M. & Wood, T.G. 1984. Termites and atmospheric gas production. Science 224: 84-86.

Cunningham, R.K. 1963. The effect of clearing a tropical forest soil. Journal of Soil Sciences 14(2): 334-345.

Emanuel, W.R., Killough, G.G., Post, W.M. & Shugart, H.H. 1984. Modeling terrestrial ecosystems in the global carbon cycle with shifts in carbon storage capacity by land-use change. Ecology 65(3): 970-983.

Estados Unidos, Council of Environmental Quality. 1981. Global Energy Futures and the Carbon Dioxide Problem. Superintendent of



Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., E.U.A.

Estados Unidos, Council on Environmental Quality and Department of State. 1980. The Global 2000 Report to the President. Pergamon Press, Nova York, E.U.A. 3 vols.

Estados Unidos, National Academy of Sciences (N.A.S.). 1977. Energy and Climate. Report of the Geophysics Study Committee, Geophysics Research Board, Assembly of Mathematical and Physical Sciences, National Research Council. N.A.S. Press, Washington, D.C., E.U.A. 158 p.

Estados Unidos, National Academy of Sciences (N.A.S.). 1979. Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment. N.A.S. Press, Washington, D.C., E.U.A.

Estados Unidos, National Academy of Sciences (N.A.S.). 1982. Carbon Dioxide and Climate: A Second Assessment. N.A.S. Press, Washington, D.C., E.U.A. 72 p.

Falesi, I.C. 1976. Ecossistema de Pastagem Cultivada na Amazônia Brasileira. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU), Belém. 193 p.

Fearnside, P.M. 1979. O desenvolvimento da floresta Amazônica: Problemas prioritários para a formulação de diretrizes. Acta Amazonica 9(4) suplemento: 123-129.

Fearnside, P.M. 1980. Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia brasileira: Conseqüências para a sustentabilidade de produção bovina. Acta Amazonica 10(1): 119-132.

Fearnside, P.M. 1982. Desmatamento na Amazônia brasileira: Com que intensidade vem ocorrendo? Acta Amazonica 12(3): 579-590.

Fearnside, P.M. 1983. Land use trends in the Brazilian Amazon region as factors in accelerating deforestation. Environmental Conservation 10(2): 141-148.

Fearnside, P.M. 1985a. Agriculture in Amazonia. p. 393-418 In G.T. Prance & T.E. Lovejoy (compiladores) Key Environments: Amazonia. Pergamon Press, Oxford, Inglaterra. 442 p.

Fearnside, P.M. 1985b. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem. Interciencia 10(4): 179-186.

Fearnside, P.M. 1986a. Predição da qualidade da queimada na Transamazônica para simulação do agro-ecossistema em estimativas de capacidade de suporte humano. Ciência e Cultura 38(11): 1804-1811.

Fearnside, P.M. 1986b. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem: Reply to Lugo and Brown. Interciencia 11(2): 58-64.

Flohn, H. 1974. Climatic variation and modification of climate: Facts and problems. Applied Sciences and Development (Institute for Scientific Cooperation, Tübingen, Rep. Fed. Alemanha) 8: 96-105.

Freyer, H.D. 1978. Preliminary evaluation of past CO<sub>2</sub> increase as derived from <sup>13</sup>C measurements in tree rings. p. 69-77 In J. Williams (compilador) Carbon Dioxide, Climate and Society: Proceedings of an International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) Workshop. Pergamon Press, Oxford, Inglaterra.

Freyer, H.D. 1979. Variations in the atmospheric CO<sub>2</sub> content. p. 79-99 In B. Bolin, E.T. Degens, S. Kempe & P. Ketner (compiladores) The Global Carbon Cycle. Scientific Committee on Problems of Environment (SCOPE) Report No. 13. John Wiley & Sons, Nova York, E.U.A. 491 p.

Golley, F.B. 1975. Productivity and mineral cycling in tropical forests. p. 106-115 In Estados Unidos, National Academy of Sciences (N.A.S.) Productivity of World Ecosystems. N.A.S. Press, Washington, D.C., E.U.A. 166 p.

Golley, F.B., McGinnis, J.T., Clements, R.G., Child, G.I. & Duever, M.J. 1975. Mineral Cycling in a Tropical Moist Forest Ecosystem. University of Georgia Press, Athens, Georgia, E.U.A. 248 p.

Goudriaan, J. & Ajtay, J.G.L. 1979. The possible effects of increased CO<sub>2</sub> on photosynthesis. p. 237-249 In B. Bolin, E.T. Degens, S. Kempe & P. Ketner (compiladores) The Global Carbon Cycle. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) Report No. 13. John Wiley & Sons, Nova York, E.U.A. 491 p.

Hampicke, U. 1979. Net transfer of carbon between the land biota and the atmosphere, induced by man. p. 219-236 In B. Bolin, E.T. Degens, S. Kempe & P. Ketner (compiladores) The Global Carbon Cycle. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) Report No. 13. John Wiley & Sons, Nova York, E.U.A. 491 p.

Hampicke, U. 1980. The role of the biosphere. p. 149-169 In W. Bach, J. Pankrath & J. Williams (compiladores) Interactions of Energy and Climate. Dordrecht, Reidel, Holanda. 569 p.

Hansen, J., Johnson, D., Lacis, A., Lebedeff, S., Lee, P., Rind, D. & Russell, G. 1981. Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. Science 123: 957-966.

Hecht, S.B. 1981. Deforestation in the Amazon Basin: Magnitude, dynamics, and soil resource effects. Studies in Third World Societies No. 13: 61-108.

Hecht, S.B. 1982. Agroforestry in the Amazon Basin: Practice, Theory and Limits of a Promising Land Use. p. 331-371 In S.B. Hecht (compiladora) Amazonia: Agriculture and Land Use Research. Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT, Cali, Colombia. 428 p.

Henderson-Sellers, A. 1981. The effect of land clearance and agricultural practices upon climate. Studies in Third World Societies No. 14: 443-485.

Hobbie, J., Cole, J., Dungan, J., Houghton, R.A. & Peterson, B. 1984. Role of biota in global CO<sub>2</sub> balance: The controversy. BioScience 34(8): 492-498.

Houghton, R.A., Hobbie, J.E., Melillo, J.M., Moore, B., Peterson, B.J., Shaver, G.R. & Woodwell, G.M. 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. Ecological Monographs 53(3): 235-262.

Idso, S.B. 1980. The climatological significance of a doubling of earth's atmospheric carbon dioxide concentration. Science 207: 1462-1463.

Idso, S.B. 1983. Carbon dioxide and global temperature: What the data show. Journal of Environmental Quality 12(2): 159-163.

Jordan, C.F. & Russell, C.E. 1983. Jari: Productividad de las plantaciones y perdida de nutrientes debido al corte y la quema. Interiencia 8(6): 294-297.

Keeling, C.D., Adam, J.A., Edkdahl, C.A. & Guenther, P.R. 1976a. Atmospheric carbon dioxide variations at the South Pole. Tellus 28: 552-564.

Keeling, C.D., Bacastow, R.B., Bainbridge, A.E., Ekdahl, C.A., Guenther, P.R. & Waterman, L.S. 1976b. Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii. Tellus 28: 539-551.

Keeling, C.D. & Bacastow, R.B. 1977. Impact of industrial gases on climate. p. 72-83 In Estados Unidos, National Academy of Sciences (N.A.S.) Energy and Climate. N.A.S. Press, Washington, D.C., E.U.A. 158 p.

Kellogg, W.W. 1980. Modeling future climate. Ambio 9(5): 216-221.

Kerr, R.A. 1982. CO<sub>2</sub>-Climate models defended. Science 217: 620.

Kerr, R.A. 1983a. The carbon cycle and climate warming. Science 222: 1107-1108.

Kerr, R.A. 1983b. Carbon dioxide and a changing climate. Science 222: 491.

Klinge, H. & Rodrigues, W.A. 1974. Phytomass estimation in a central Amazonian rain forest. p. 339-350 In H.E. Young (compilador) IUFRO Biomass Studies. University Press, Orono, Maine, E.U.A.

Klinge, H., Rodrigues, W.A., Brunig, E. & Fittkau, E.J. 1975. Biomass and structure in a Central Amazonian rain forest. p. 115-122 In F.B. Golley & E. Medina (compiladores) Tropical Ecological Systems: Trends in Terrestrial and Aquatic Research. Springer Verlag, Nova York, E.U.A. 398 p.

Kukla, G. & Gavin, J. 1981. Summer ice and carbon dioxide. Science 214: 497-503.

Lechthaler, R. 1956. Inventário das árvores de um hectare de terra firme da zona Reserva Florestal Ducke, Município de Manaus. Publicações do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia: Botânica. Conselho Nacional de Pesquisas -CNPq, Rio de Janeiro. 10 p.

Lian, M.S. & Cess, R.D. 1977. Energy balance climatic models: A reappraisal of ice-albedo feedback. Journal of the Atmospheric Sciences 34: 1058-1062.

Loucks, O.L. 1980. Proceedings of the Carbon Dioxide and Climate Research Program Conference. In L.E. Schmitt (compilador) The Institute for Energy Analysis/Oak Ridge Associated Universities, Washington, D.C., E.U.A. 287 p.

Lugo, A.E. & Brown, S. 1981. Tropical lands: Popular misconceptions. Mazingira 5(2): 10-19.

Lugo, A.E. & Brown, S. 1982. Conversion of tropical moist forests: A critique. Interiencia 7(2): 89-93.

Lugo, A.E. & Brown, S. 1986. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem. Interiencia 11(2): 57-58.

Manabe, S. & Stouffer, R.J. 1979. A CO<sub>2</sub>-climate sensitivity study with a mathematical model of global climate. Nature 282: 491-493.

Manabe, S. & Wetherald, R.T. 1967.. Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity. Journal of the Atmospheric Sciences 24: 241-259.

Manabe, S. & Wetherald, R.T. 1975. The effects of doubling the CO<sub>2</sub> concentration on the climate of a general circulation model. Journal of the Atmospheric Sciences 32: 3-15.

Manabe, W. & Wetherald, R.T. 1980. On the distribution of climate change resulting from an increase in CO<sub>2</sub> content of the atmosphere. Journal of the Atmospheric Sciences 37: 99-118.

Marshall, E. 1981. By flood, if not by fire, CEQ says. Science 211: 463.

Mercer J.H. 1978. West Antarctic ice sheet and CO<sub>2</sub> greenhouse effect: A threat of disaster. Nature 271: 321-325.

Moore, B., Boone, R.D., Hobbie, J.E., Houghton, R.A., Melillo, J.M., Peterson, B.J., Shaver, G.R., Våråsmarty, C.J. & Woodwell, G.M. 1981. A simple model for analysis of the role of terrestrial ecosystems in the global carbon budget. p. 356-385 In B. Bolin (compilador) Carbon Cycle Modeling. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) Report No. 16. John Wiley & Sons, Nova York, E.U.A. 390 p.

Newell, R.E. & Dopplick, T.G. 1979. Questions concerning the possible influence of anthropogenic CO<sub>2</sub> on atmospheric temperature. Journal of Applied Meteorology 18: 822-825.

Nye, P.H. & Greenland, D.J. 1960. The Soil under Shifting Cultivation. Technical Communication No. 51. Commonwealth Agricultural Bureaux of Soils, Harpenden, Inglaterra. 156 p.

Ovington, J.D. & Olson, J.S. 1970. Biomass and chemical content of El Verde lower montane rain forest plants. p. H.53-H.77 In H.T. Odum & R.F. Pigeon (compiladores) A Tropical Rain Forest: a Study of Irradiation and Ecology at El Verde, Puerto Rico. Office of Information Services, U.S. Atomic Energy Commission, Oak Ridge, Tennessee, E.U.A. 3 vols.

Perry, H. & Landsberg, H.H. 1977. Projected world energy consumption. p. 35-50 In Estados Unidos, National Academy of Sciences (N.A.S.). Energy and Climate. N.A.S. Press, Washington, D.C., E.U.A. 158 p.

Pires, J.M. 1973. Tipos de vegetação da Amazônia. p. 179-202 In M.F. Simões (compilador) O Museu Goeldi no Ano do Sesquicentário. Museu Goeldi, Publicações Avulsas No. 20. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém. 286 p.

Ramanathan, V. 1981. The role of the ocean-atmosphere interaction in the CO<sub>2</sub> climate problem. Journal of the Atmospheric Sciences 38: 918-930.

Revelle, R. 1982. Carbon dioxide and world climate. Scientific American 247(2): 33-41.

Rodrigues, W.A. 1967. Inventário florestal piloto ao longo da estrada Manaus-Itacoatiara, Estado do Amazonas: Dados preliminares. p. 257-267 In H. Lent (compilador) Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica, Vol. 7: Conservação da Natureza e Recursos Naturais. Conselho Nacional de Pesquisas - CNPq, Rio de Janeiro. 287 p.

Schneider, S.H. & Chen, R.S. 1980. Carbon dioxide warming and coastline flooding: physical factors and climatic impact. Annual Review of Energy 5: 107-140.

Schware, R. & Kellogg, W.W. 1982. De como pudieran influir los cambios de clima sobre la producción de alimentos. Ceres (FAO, Roma) 15(2): 40-42.

Seiler, W. & Crutzen, P.J. 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. Climatic Change 2: 207-247.

Siegenthaler, U. & Oeschger, H. 1978. Predicting future atmospheric carbon dioxide levels. Science 199: 388-395.

Silva, L.F. 1978. Influência do Manejo de um Ecossistema nas Propriedades Edáficas dos Oxisols de "Tabuleiro". Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira-CEPLAC, Itabuna, Bahia. 85 p.

Soares, M.R.O. 1957. Inventário florestal não publicado sobre Reserva Florestal Ducke. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. (Dados apresentados em Aubréville, 1961: 61).

Stuiver, M. 1978. Atmospheric carbon dioxide and carbon reservoir changes. Science 199: 253-258.

Takeuchi, M.A. 1961. The structure of the Amazonian vegetation. II. Tropical rain forest. Journal of the Faculty of Science University of Tokyo, section III, Botany 8(1/3): 1-26.

Thomas, R.H., Sanderson, T.J.O. & Rose, K.E. 1979. Effect of climatic warming on the West Antarctic ice sheet. Nature 277: 355-358.

Wade, N. 1979. CO<sub>2</sub> in climate: Gloomysday predictions have no fault. Science 206: 912-913.

Wigley, T.M.L. 1983. The pre-industrial carbon dioxide level. *Climatic Change* 5: 315-320.

Woodwell, G.M., Whittaker, R.H., Reiners, W.A., Likens, G.E., Delwiche, C.C. & Botkin, D.P. 1978. The biota and the world carbon budget. *Science* 199: 141-146.

Woodwell, G.M., Hobbie, J.E., Houghton, R.A., Melillo, J.M., Moore, B., Peterson, B.J. & Schaver, G.R. 1983. Global deforestation: contribution to atmospheric carbon dioxide. *Science* 222: 1081-1086.

Zimmerman, P.R., Greenberg, J.P. & Darlington, J.P.E.C. 1984. Termites and atmospheric gas production. *Science* 224: 86.

Zimmerman, P.R., Greenberg, J.P., Wandinga, S.O. & Crutzen, P.J. 1982. Termites: a potentially large source of atmospheric methane, carbon dioxide, and molecular hydrogen. *Science* 218: 563-565.

TABLE I  
BIOMASS AND CARBON STORE OF "NATURAL" VEGETATION IN BRAZIL'S LEGAL AMAZON

Vegetation Type	Live Above Ground				Below Ground			Litter and Dead Above Ground			
	Area (km <sup>2</sup> )	Reference	Dry Phytomass (m tons ha <sup>-1</sup> ) (a)	Reference	Carbon (b) (G tons)	Dry Phytomass (m tons ha <sup>-1</sup> ) (a)	Reference	Carbon (b) (G tons)	Dry weight (m tons ha <sup>-1</sup> ) (a)	Reference	Carbon (b) (G tons)
Upland Dense Forest	3,063,000	(c)	251.7	(d)	34.69	86.3	(c)	11.90	23.5 (c)	(c)	3.239
Scrub Forest (carrada)	1,290,520	(c)	37.8	(g)	2.20	25.2	(g, h)	1.46	7.7	(g, h)	0.450
Montane Forest	26,000	(c)	198.0	(i, p. 53)	0.23	64.8	(i, p. 53)	0.08	3.15	(i, p. 65)	0.004
Other Upland Forest types	259,000	(c, j)	277.5	(g)	3.23	70.3	(g, h)	0.82	22.2	(g, h)	0.260
Humid Savanna (upland + flooded)	163,000	(c)	71.5	(g)	0.53	31.9	(g, h)	0.24	6.7	(g, h)	0.050
Flooded Forests (Várzea + Igapó)	70,000	(c)	158.1	(k)	0.50	54.2	(f, k)	0.17	3.34	(k)	0.011
Mangroves	1,000	(c)	162.5	(l)	0.01	190.0	(l)	0.01	102.1	(l)	0.005
<b>TOTAL</b>	<b>4,874,520</b>				<b>41.39</b>			<b>14.68</b>			<b>4.02</b>

Total carbon — 60.09 G tons

- (a) All dry weights approximated using correction factor of 0.475 m tons dry/m ton wet (midpoint of range used by Klings *et al.* 1975).
- (b) Carbon content of 0.45 used for all biomass (Woodwell *et al.*, 1978; Golley, 1975; 106 cited by Hampicke, 1979: 219).
- (c) Bragg, 1979.
- (d) Average of estimates for two portions of Amazonia: the Tucuruí Reservoir area, Pará (247.84 m tons ha<sup>-1</sup> live above ground phytomass dry weight), and "Central Amazonia" high forest near Manaus (255.60 m tons ha<sup>-1</sup>). Tucuruí estimate is weighted mean of 4 types of high neotropical forest in the proportions occurring in the reservoir area (Benzil, ELTONOWORTH and SEPLAN-CHOP-IMPA, 1981; Cardenas *et al.*, 1982), while Central Amazonia estimate is unweighted mean of 6 studies in the Manaus area: the phytomass weighed by Klings and Rodrigues (1974) and estimates made by Klings and Rodrigues (1974) as extensions of their study to 5 nondestructive quadrat and transect forest surveys available in the literature (Takachi, 1961; Lochthaler, 1956; Aubreville, 1961; Rodrigues, 1967; Soares (1957) cited by Aubreville (1961)).
- (e) Klings *et al.*, 1975.
- (f) Calculated assuming same ratio to live above ground phytomass (dry weight) as in upland dense forest at Manaus: 353.4 m tons ha<sup>-1</sup> live above ground: 121.1 m tons ha<sup>-1</sup> below ground: 33.0 m tons ha<sup>-1</sup> litter and dead above ground (7.6 m tons ha<sup>-1</sup> standing dead wood + 18.2 m tons ha<sup>-1</sup> fallen dead wood + 7.2 m tons ha<sup>-1</sup> live litter) (Klings *et al.*, 1975).
- (g) Seiler and Crutzen, 1980.
- (h) Calculated using percent underground, above ground dead and litter phytomass for these vegetation types given by references indicated.
- (i) Pires, 1973.
- (j) Rio Tocantins (a clearwater river) flooded forest at Tucuruí Reservoir, Pará (Cardenas *et al.*, 1982).
- (k) Mangrove values from Pashá (Golley *et al.*, 1975).

(Notas de Tabela 1)

(a) Todos os pesos foram secos aproximados usando-se um fator de correção de 0,475 m toneladas secos/toneladas úmido (ponto médio de variação usado por Klinge et al., 1975).

(b) Conteúdo de carbono de 0,45 usado para toda a biomassa (Woodwell et al., 1978; Golley, 1975: 106 citado por Hampicke, 1979: 219).

(c) Braga, 1979.

(d) Média de estimativas para duas partes da Amazônia: a área da Represa de Tucuruí, Pará (247,84 toneladas  $ha^{-1}$  peso seco de fitomassa viva acima do solo), e a floresta alta da "Amazônia Central" perto de Manaus (255,60 toneladas  $ha^{-1}$ ). A estimativa de Tucuruí é a média ponderada de quatro tipos de floresta alta não ribeirinha nas proporções ocorrendo na área da represa (Brasil, ELETRONORTE & SEPLAN-CNPq-INPA, 1981; Cardenas et al., 1982), enquanto a estimativa da Amazônia Central é a média não ponderada de seis estudos na área de Manaus: a fitomassa pesada por Klinge & Rodrigues (1974) e as estimativas feitas por Klinge & Rodrigues (1974) como extensões de seu estudo para cinco levantamentos florestais, disponível na literatura, feitos por quadras e transetos não destrutivos (Takeuchi, 1961; Lechthaler, 1956; Aubréville, 1961; Rodrigues, 1967; Soares, 1957 citado por Aubréville, 1961).

(e) Klinge et al., 1975.

(f) Calculado presumindo a mesma razão entre a fitomassa total e a fitomassa viva acima do solo (peso seco) como na floresta densa de terra firme em Manaus: 353,4 toneladas  $ha^{-1}$  viva acima do solo: 121,1 toneladas  $ha^{-1}$  abaixo do solo: 33,0 toneladas  $ha^{-1}$  folhiga e biomassa morta acima do solo (7,6 toneladas  $ha^{-1}$  madeira morta em pé + 18,2 m tons  $ha^{-1}$  madeira morta caída + 7,2 toneladas  $ha^{-1}$  folhiga fina) (Klinge et al., 1975).

(g) Seller & Crutzen, 1980.

(h) Calculado usando as porcentagens de fitomassa abaixo do solo, acima do solo morto e de folhiga para esses tipos de vegetação dadas pela referência indicada.

i) Valores da floresta de encosta de Puerto Rico (Ovington & Olson, 1970).

(j) Pires, 1973.

(k) Floresta inundada do rio Tocantins (um rio de água cristalina) no local da Represa de Tucuruí, Pará (Cardenas et al., 1982).

(1) Valores para mangues do Panamá (Golley et al., 1975).