

A AMAZÔNIA E O CLIMA DO GLOBO TERRESTRE*

Luiz Carlos Baldicero Molion**

INTRODUÇÃO

O clima de uma região é determinado por fatores atuantes em escalas global e regional. Os mais importantes são a circulação geral da atmosfera, a topografia local, a natureza da cobertura superficial, o ciclo hidrológico e a influência de correntes oceânicas, no caso de regiões costeiras. A circulação geral da atmosfera, que é uma consequência da distribuição latitudinal de energia solar e da distribuição assimétrica de continentes e oceanos, impõe as características gerais do clima regional. O ciclo hidrológico, por sua vez, não é, apenas, um componente do clima, mas, também, do cenário biogeofísico; sua influência no clima não se resume, apenas, na interação entre a umidade atmosférica, a precipitação pluviométrica e o escoamento superficial.

O cinturão latitudinal 10°N-10°S cobre aproximadamente 88 milhões de quilômetros quadrados da superfície da Terra, dos quais 77% são oceanos e 23% continen-

tes, sendo que estes últimos apresentam 50% de sua área coberta por florestas naturais. A maior delas é a Amazônia, que corresponde a cerca de 8% desse cinturão e 34% da superfície terrestre dentro dele. Com tal extensão florestal, a Amazônia pode ser importante para o clima do globo. Este trabalho procura mostrar esse fato baseando-se no presente conhecimento que se tem sobre interação floresta-atmosfera, tanto em seus aspectos físicos quanto químicos. Apresenta-se, também, uma revisão dos possíveis impactos de desmatamento no clima local utilizando resultados obtidos em outras regiões tropicais e simulações com modelos matemáticos.

AMAZÔNIA: UMA FONTE DE CALOR PARA A ATMOSFERA

A energia solar que chega à superfície terrestre é usada primeiramente para evaporar água (calor latente) e para aquecer o ar (calor sensível). Na Amazônia Central, estudos

* Recebido para publicação em 22 de agosto de 1989.

** Pesquisador Senior do Instituto de Pesquisas Espaciais — INPE.

micrometeorológicos mostraram que cerca de 85% da energia disponível são usadas na evapotranspiração (evaporação + transpiração das plantas) e o restante para aquecer o ar. Sobre floresta de "terra firme", o fluxo de vapor de água é constituído de aproximadamente, 65% da transpiração das plantas e 35% da água da chuva interceptada pelo dossel, sendo a evaporação do solo sob a floresta desprezível. Na média anual, a evapotranspiração na Amazônia é cerca de 50% de seu total pluviométrico, isto é, considerando o clima estável, a longo prazo 50% das chuvas na região são constituídos pela água evaporada localmente e o restante proveniente do Oceano Atlântico (Molion, 1976; Salati, 1987). Essa contribuição local é considerada alta se comparada com o que ocorre em latitudes temperadas onde a evaporação local constitui apenas 10% da precipitação local. Quando o vapor de água condensa, formando nuvens e chuva, a grande quantidade de calor, que foi utilizada na evapotranspiração (calor latente), é liberada e aquece toda a troposfera.

Sobre um continente tropical, o ar quente e úmido sobe (convecção) e é repostado, nos níveis próximos à superfície, por ar proveniente dos oceanos adjacentes (convergência); na alta troposfera, o ar é transportado para fora do continente (divergência) e desce sobre os oceanos subtropicais, fechando, assim, uma célula de

circulação de ar. A Figura 1 (Molion, 1987) mostra, esquematicamente, essa célula de circulação direta. Apenas para propósitos didáticos, essa célula de circulação direta é quebrada em duas componentes, uma na direção leste-oeste, denominada Circulação de Walker, e outro na direção equador-trópico, denominada Circulação de Hadley. A Figura 2 é um esquema dessas duas Circulações, que são componentes importantes da Circulação Geral da Atmosfera — CGA. Nota-se que, ao longo do cinturão equatorial, existem três regiões onde se encontra movimento ascendente (Figura 2a): o "Continente Marítimo" (Norte da Austrália, Indonésia, Filipinas), a Bacia do Congo, na África, e a Bacia do Amazonas. Estas regiões são fonte de calor para a CGA, sendo as duas últimas de origem continental (mecanismo do tipo esquematizado na Figura 1). A primeira é de natureza diferente; ela é resultante de calor que é transferido do oceano para a atmosfera, pois as águas do Pacífico naquela região apresentam temperatura de 28°C, ou maior, durante o ano todo. A fonte correspondente à Bacia do Congo parece ser a mais fraca das três e a da Indonésia (Pacífico) a mais forte. Existem anos, contudo, que a Amazônia torna-se mais potente que a outra.

O calor latente liberado por essas fontes é transportado para latitudes temperadas e polares pela CGA, que apresentam defi-

FIGURA 1

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UMA CIRCULAÇÃO DIRETA RESULTANTE DO AQUECIMENTO DIFERENCIAL ENTRE O CONTINENTE E OS OCEANOS ADJACENTES NO VERÃO (MOLION, 1987)

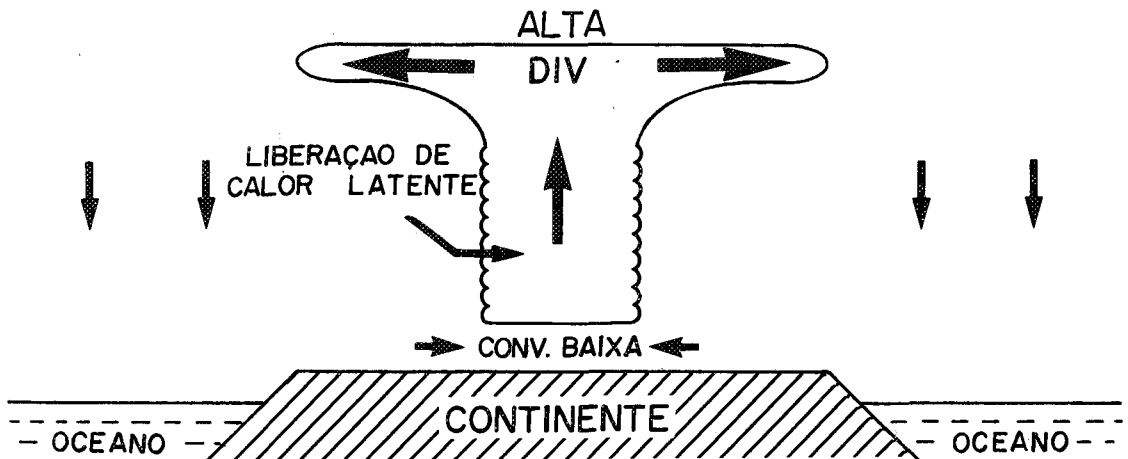
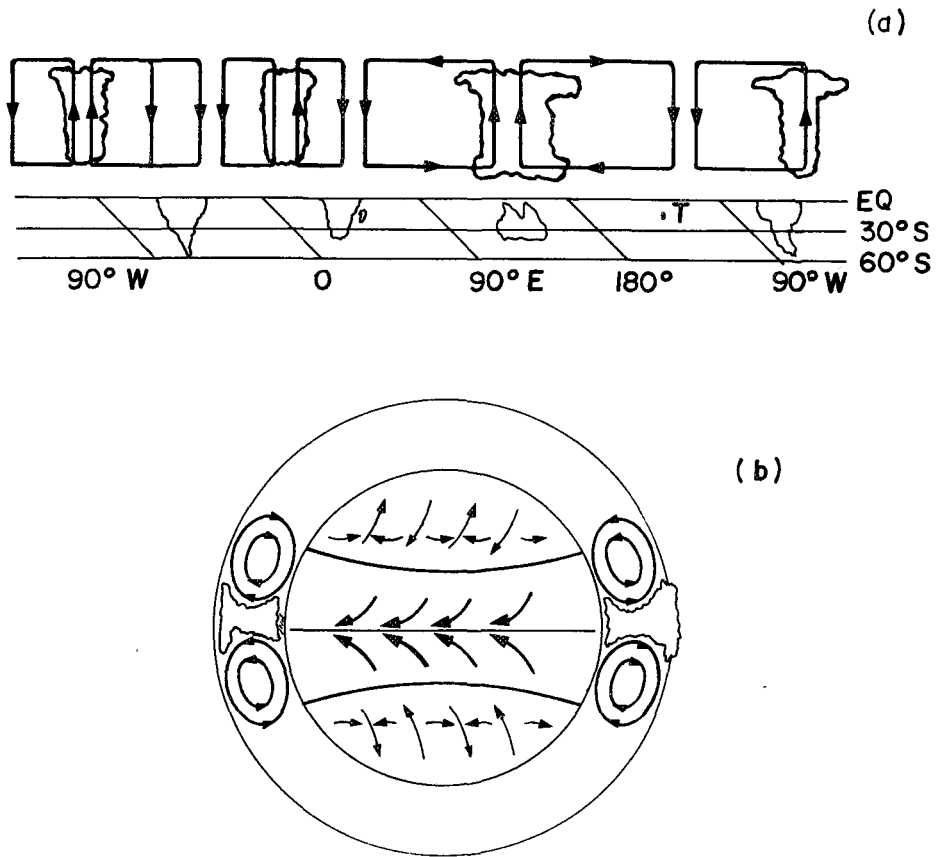


FIGURA 2

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO (a) DA CIRCULAÇÃO MÉDIA DE WALKER E (b) DA CIRCULAÇÃO MÉDIA DE HADLEY



ciência de calor, pois recebem menos energia do sol do que perdem para o espaço exterior.

Logo, sendo a Amazônia uma fonte importante de calor para a CGA, é provável que uma modificação em grande escala da cobertura superficial reduza a potência da fonte e interfira no clima do globo. Conforme mencionado anteriormente, em média, cerca de 50% das chuvas na Amazônia provêm da evapotranspiração local; durante a campanha da estação chuvosa do experimento GTE/ABLE 2, Nobre et al. (1988), de fato, mostraram que naquele ano a evapotranspiração local contribuiu para 58% das chuvas. O desmatamento reduz a evapotranspiração e, portanto, diminui a precipitação e o calor latente liberado. Usando um modelo de circulação geral (MCG), Dickinson e Henderson-Sellers (1988) realizaram um experimento de desmatamento em

grande escala para a Amazônia que resultou numa redução de cerca de 20% na precipitação média da região. A conseqüente redução de calor latente corresponde a 5% do total de calor que é transportado para fora do cinturão 10N-10S, de acordo com dados publicados por Hastenrath (1985). Experimentos realizados com outros MCGs (Lean and Warrilow, Nobre et al 1989) concordam qualitativamente com os resultados acima, i.e., que um desmatamento generalizado da Amazônia levaria a uma redução das chuvas e do calor que está disponível para ser transportado para as regiões fora dos trópicos que, conseqüentemente, ficariam mais frias e teriam sua estação de crescimento de plantas reduzida, diminuindo, assim, a produção de grãos. Embora os argumentos apresentados sejam fisicamente corretos, os efeitos de um desmatamento em grande escala no clima do globo ainda são alvo de

estudos e discussões, pois os modelos matemáticos atuais ainda são incipientes e seus resultados, portanto, devem ser interpretados com cuidado.

A AMAZÔNIA E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ATMOSFERA

A atmosfera terrestre é constituída por gases que permitem a radiação solar chegar à superfície terrestre, mas absorvem o calor que é por ela irradiado. Esta propriedade da atmosfera é chamada "efeito estufa", e os gases mais atuantes nesse processo são o vapor de água, o gás carbônico (CO_2), o metano (CH_4), o ozônio (O_3) e os compostos de clorofluorcarbono (CFCs).

A importância que as florestas tropicais têm na composição química da atmosfera ainda não é conhecida na sua totalidade. Elas são fontes importantes de metano e monóxido de carbono (CO). O CH_4 é produzido pela decomposição de matéria orgânica em lagos, pântanos e planícies de inundação; o CO é produzido principalmente através da queima de biomassa. Ambos, CO e CH_4 , são oxidados através de diferentes processos catalíticos que envolvem óxidos de nitrogênio (NO_x), também produzidos por queima de biomassa. Em ambientes ricos em NO_x , o ozônio é produzido, porém, é destruído em ambientes pobres de NO_x . Crutzen (1987) mostrou que a distribuição vertical de ozônio troposférico era maior sobre os Cerrados que sobre a Amazônia durante a estação seca. Ele atribuiu esse fato ao maior número de queimadas, com conseqüente produção fotoquímica desse gás que, posteriormente, seria transportado para os níveis mais altos da troposfera e, daí, para outras partes do globo através de circulação atmosférica do tipo Hadley-Walker.

Para estudar a influência que a Floresta Amazônica exerce na composição química da atmosfera foram realizadas duas campanhas do GTE/ABLE 2, uma durante a estação seca, julho-agosto de 1985 (Harriss et al., 1988 a), e outra na estação chuvosa, abril-maio de 1987 (Harriss et al., 1990b).

Os dados coletados estão sendo analisados no momento, mas já existem alguns resultados interessantes. Por exemplo, ficou demonstrado que a floresta é um sumidouro de ozônio e a região como um todo é uma fonte natural de metano. Talvez o resultado mais expressivo seja o fato de que a floresta retira do ar 9 quilos de carbono por hectare por dia, através da fotossíntese (Song Miao et al., 1990). Admitindo que essa taxa se mantenha durante o ano inteiro, apenas a floresta brasileira de terra firme, que é cerca de 350 milhões de hectares, retiraria cerca de 25% de todo carbono lançado anualmente pela humanidade através da queima de combustíveis fósseis, um total estimado de 5 bilhões de toneladas. Por outro lado, queimando a floresta, contribuiria para aumentar as concentrações de CO_2 . Durante a estação seca de 1987, Setzer et al. (1988), usando imagens de satélites, estimaram em 20 milhões de hectares a área queimada na Amazônia Legal, dos quais cerca de 40% eram florestas naturais; essas queimadas produziram cerca de 600 milhões de toneladas de gases. A Amazônia tem cerca de 50 bilhões de toneladas de carbono armazenadas em sua biomassa, que, caso fosse integralmente queimada, liberaria cerca de 11 bilhões de toneladas de carbono equivalente e aumentaria a concentração de CO_2 na atmosfera em cerca de três a cinco partes por milhão, o que representa pouco mais de 1% da concentração atual (Fearnside, 1985). Queimadas na Amazônia contribuem para aumentar o efeito estufa de duas maneiras: uma, não muito expressiva, pela liberação do carbono estocado na biomassa e a segunda através da destruição das árvores que retiram o CO_2 da atmosfera e atuam como um "grande filtro".

EFEITOS LOCAIS DO DESMATAMENTO

Regiões com florestas possuem albedo (refletividade) de superfície mais baixo que superfícies com outros tipos de cobertura. Portanto, absorvem mais energia solar e têm mais energia para ser particionada en-

tre calor-latente e calor sensível. Na Amazônia, cerca de 85% dessa energia é usada para a evapotranspiração e apenas 15% para aquecer o ar. Mudança de floresta para outros usos da terra alteraria essa partição, fazendo com que a fração que é usada para aquecer o ar aumente e, concomitantemente, a evapotranspiração seja reduzida. A remoção de florestas leva a um aumento da amplitude da temperatura do ar, ou seja, aumenta a diferença entre a máxima e a mínima. Ghuman e Lal (1987) relataram resultados de um estudo feito na Nigéria entre uma área de floresta e uma outra área adjacente desmatada. Eles observaram que, durante o dia, a temperatura média do ar na clareira foi 3° a 5°C mais alta que na floresta. A umidade relativa também mostrou contrastes significativos. Para um dia em particular, as mínimas observadas foram 87% e 49%, respectivamente para a floresta e a clareira. As estações meteorológicas estavam cerca de 50 m de distância uma da outra.

Simulações feitas com modelo climático (Dickinson e Henderson-Sellers, 1988) para a Amazônia sugeriram que a temperatura do ar aumentaria entre 1° e 3° C após o desmatamento. Ao mesmo tempo, poderia haver reduções de evapotranspiração superior a 50% em algumas partes da região. Para a região como um todo, essas simulações sugeriram uma redução de cerca de 20% na precipitação pluviométrica após o desmatamento. Foi ainda sugerido que as distribuições, tanto espacial como temporal, da precipitação pluviométrica também se modificariam após o desmatamento.

Uma outra componente importante do ciclo hidrológico é o escoamento superficial (*runoff*), que, paradoxalmente, aumenta com o desmatamento, embora a precipitação diminua, apresentando picos de cheias maiores que anteriormente. As causas principais para o aumento do *runoff* após o desmatamento são a compactação do solo, diminuindo a infiltração, e o aumento do volume de água que chega à superfície. Conforme mencionado anteriormente, o dossel intercepta cerca de 15% das chuvas, i.e., tal percentual não chega a atingir a superfície, sendo evaporado imediatamente; com a remoção da floresta, haveria um

aumento médio de cerca de 4 mil metros cúbicos de água por hectare por ano que, devido à compactação do solo, escorreria diretamente para os canais dos rios.

Um outro problema ligado à variação de elementos climáticos e remoção de florestas é a degradação e erosão dos solos. Jansson (1982) revisou a literatura existente sobre erosão de solos tropicais e encontrou taxas de até 334 toneladas por hectare por ano. Erosão em campos cultivados variaram de 1,5 a 2,500 vezes em relação à erosão de solos cobertos com florestas naturais, dependendo da declividade do terreno, textura do solo, total anual de chuva, natureza e técnica de cultivos entre outros. O solo é uma componente essencial para o desenvolvimento da biosfera; sua formação é muito lenta e toma um tempo muito mais longo que a vida humana para se recuperar após ter sido destruído. Uma vez que a cobertura protetora da floresta é removida, o impacto das grandes gotas de chuva tropical desagregam a estrutura superficial do solo. As pequenas partículas resultantes selam os poros e reduzem ainda mais a infiltração do solo já compactado pela agricultura. A consequência é um aumento do *runoff* e da erosão que, por sua vez, leva ao assoreamento dos rios, mudança da qualidade de suas águas e vida aquática.

CONCLUSÃO

Se uma taxa conservadora de 2% de crescimento populacional for considerada, estima-se que a população mundial ultrapassará a casa dos 12 bilhões de habitantes antes da metade do próximo século. É óbvio, então, que regiões tropicais como a Amazônia, onde não há limitações de certos elementos climáticos, principalmente radiação solar e precipitação, para produção de alimentos, não podem ficar à margem desse processo. A exploração da região, contudo, tem que ser racional e cuidadosa, uma vez que existem argumentos que indicam ser a floresta importante para a estabilidade do clima do globo e para o meio am-

biente local. Considerando a discussão anterior, surge naturalmente a pergunta: "Qual é o uso da terra mais apropriado para a Amazônia?". Molion (1986) propõe algumas soluções para essa questão em regiões

tropicais. Em resumo, ele sugere que a melhor solução é um balanço entre florestas naturais, campos cultivados e pastagens, sendo uma proporção maior de florestas e menor de pastagens.

BIBLIOGRAFIA

- CRUTZEN, P. J. Role of the tropics in atmospheric chemistry, In: *The Geophysiology of Amazonia*. R. E. Dickinson (ed.) p. 107-132, John Wiley and Sons, 1987.
- DICKINSON, R. E.; SELLERS, A. H. Modeling tropical deforestation: a study of GCM land-surface parameterization. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 114, 439-462, 1988.
- FEARNSIDE, P. M. Brazil's Amazon Forest and the global carbon problem, *Interciencia*, 10 (4): 179-185, 1985.
- GHUMAN, B. S.; LAL, R. Effects of deforestation on soil properties and microclimate of a high rainforest in Southern Nigeria. In: *The Geophysiology of Amazonia*, R. E. Dickinson (ed.), p. 225-244, John Wiley and Sons, 1987.
- HARRISS, R. C. et al. The Amazonas Boundary Layer Experiment (ABLE-2A): Dry Season, 1985, *J. Geophys. Res.* 93 (D2): 1351-1375, 1988.
- _____. et al. The Amazonas Boundary Layer Experiment (ABLE-2B): Wet Season, 1987. *J. Geophys. Res.* (in press), 1990.
- HASTENRATH, S. *Climate and Circulation of the Tropics*, 455 p., D. Riedl Pub. Co., 1985.
- JANSSON, M. B. Land erosion by water in different climates. UNGI Report n. 57, Department of Physical Geography, Uppsala University, Sweden, 1982.
- LEAN, J.; WARRILLOW. Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation, *Nature* 342: 411-413, 1989.
- MOLION, L. C. B. A Climatonomie Study of the Energy and Moisture Fluxes of Amazonas Basin with Consideration of Deforestation Effects, INPE 923-TPT/035, 119 p. S. J. Campos, S. Paulo, Brazil, 1976.
- _____. Land use and agrosystem management in the humid tropics, in *Land Use and Agrosystem Management under Severe Climatic Conditions*, WMO Technical Note n. 184, p. 114-137, WMO, Geneva, Switzerland, 1986.
- _____. Micrometeorology of an Amazonian rainforest. In: *The Geophysiology of Amazonia*. R. E. Dickinson (ed.) p. 255-270, John Wiley and Sons, 1987.
- NOBRE, C. A. et al. Mean large scale meteorological aspects of ABLE-2B, *EOS Transactions*, 69 (16), 1988.
- NOBRE, C. A.; SHUKLA, J.; SELLERS, P. Impactos climaticos do desmatamento da Amazonia, *Climanalise*, CPTEC/INPE, S. J. Campos, S. Paulo, Brazil, September 1989.
- SALATI, E. The forest and the hydrological cycle. In: *The Geophysiology of Amazonia*, R.E. Dickinson (ed.) p. 273-287, John Wiley and Sons, 1987.
- SETZER, A. W. et al. Relatório de Atividades do Projeto IBDF-INPE "SEQUE" — Ano 1987, INPE 4534-RPE/565, 47 p., S. J. Campos, S. Paulo, Brasil, 1988.
- SONG MIAO, P. S. et al. Atmosphere-biosphere exchange of CO₂ and O₃ in the Central Amazon Forest, *J. Geophys. Res.* (in press), 1990.

RESUMO

A Amazônia, a maior bacia hidrográfica do mundo, coberta quase que totalmente por florestas tropicais chuvosas, apresenta um cenário em rápida transformação. Mudanças no uso da terra, de florestas para outros tipos tais como pastagens ou campos cultivados podem interferir com o clima do globo terrestre, além de alterar drasticamente o meio ambiente local. Primeiramente, porque a Amazônia é uma fonte importante de calor para a circulação geral da atmosfera e, em segundo lugar, porque a floresta tem um papel importante na composição química da atmosfera e, conseqüentemente, no efeito estufa. Este trabalho tem como objetivo demonstrar esses fatos usando as evidências e resultados de modelos matemáticos disponíveis presentemente.