

ESTUDO DAS CONSEQUÊNCIAS CLIMÁTICAS DECORRENTES DAS ALTERAÇÕES DA VEGETAÇÃO DA AMAZÔNIA UTILIZANDO UM MODELO ANALÍTICO SIMPLES

Marcos Daisuke Oyama (1); Carlos Afonso Nobre

(1) Programa de Pós-Graduação em Meteorologia - INPE
CPTEC - INPE

ABSTRACT

The features of a simple analytical model and its use on the study of the climatic consequences of a Amazonian basinwide deforestation/desertification are presented. The model includes a simplified land-ocean-atmosphere interaction in the tropics. Land and ocean areas are separated by fixed meridians. Over land, Gill's model is coupled to the moisture conservation equation; over oceans, to a simple ocean model, which is able to simulate the expected gradient of sea surface temperature that appears when a ocean is forced by uniform easterlies. Coupling is obtained through the use of linear algebraic relations. The model is forced by evapotranspiration over land. The results show a reduction in both evaporation and moisture convergence; therefore, the heat source over Amazonia would weaken. This means a weakening of the Kelvin and planetary waves which emanate from Amazonia. The weakening of the Kelvin wave shifts the subsidence region over Atlantic westwards and enhances the moisture convergence over Africa. The weakening of the planetary wave shifts the subsidence region over Pacific eastwards, cools the cold waters of eastern Pacific and enhances the easterlies over the Central Pacific. Indonesia is not affected by Amazonia. The model does not include topography; therefore, all presented effects should be considered from this limitation.

1. Introdução

A fim de investigar as consequências climáticas decorrentes de um completo desmatamento da Amazônia, da forma mais realista possível, Modelos de Circulação Geral (MCG) têm sido utilizados (*e.g.* Nobre et al., 1991). Do ponto de vista regional, enquanto a maior parte dos MCG sugere que o desmatamento diminui tanto a precipitação quanto a convergência de umidade, e aumenta a temperatura à superfície, a totalidade prediz que o desmatamento diminui a evapotranspiração (Cf. Zeng et al., 1996, p.860). Esses resultados podem ser atribuídos ao “feedback” positivo existente entre convergência de umidade e aquecimento diabático (Cf. Eltahir e Bras, 1993, p.781). A redução da convergência de umidade diminui a quantidade de vapor d'água sobre a Amazônia, o que leva à redução da precipitação. Por um lado, isso diminui a disponibilidade de água do solo, reduzindo a evapotranspiração, o que diminui, ainda mais, a precipitação; por outro lado, equivale à redução de aquecimento diabático, o que diminui a convergência atmosférica (*e.g.* Gill, 1980), reduzindo, ainda mais, a convergência de umidade.

Oyama (1998) elaborou um modelo simples, doravante chamado de Modelo Linear Acoplado (MLA), para estudar a influência das alterações da vegetação na Amazônia - desmatamento e desertificação - sobre a faixa tropical, sob o mecanismo de “feedback” positivo entre convergência de umidade e aquecimento diabático. Ao contrário de Eltahir e Bras (1993), o MLA compreende toda a faixa tropical e é forçado pela evapotranspiração. Motivado por Zeng et al. (1996), o MLA incorpora a interação continente-oceano-atmosfera; no entanto, para permitir uma solução analítica, a interação é feita de forma bastante simplificada. O objetivo deste trabalho consiste em comunicar as características do MLA e a utilização do MLA no estudo dos efeitos das alterações da vegetação na Amazônia sobre a circulação atmosférica e a distribuição e intensidade das fontes e sumidouros de calor da região tropical.

2. Características do MLA

O MLA adota a aproximação do plano β equatorial. A disposição dos continentes - Indonésia, Amazônia e África - e oceanos - Pacífico, Atlântico e Índico - segue o trabalho de Nobre (1983) e está apresentada na Figura 1. A topografia não é considerada. Conforme mostrado na Figura 2a, sobre os continentes, divide-se a atmosfera em duas partes: a camada limite planetária (CLP), entre 1000 e 850 mb, e a atmosfera livre (AL), entre 850 e 150 mb. A superfície força a CLP através da evapotranspiração; a CLP força a AL quando umidade específica é convertida em aquecimento diabático através da convecção profunda; e a AL força a CLP quando a convergência atmosférica é convertida em convergência de umidade. Conforme mostrado na Figura 2b, sobre a camada de mistura oceânica (CMIS), de 100 m de espessura, considera-se somente a AL. A CMIS força a AL quando flutuações da termoclina são convertidas em aquecimento diabático; e a AL força a CMIS quando ventos são convertidos em tensão de cisalhamento. Tendo em vista a existência, na literatura (Philander, 1990, p.235), de uma expressão que relaciona, diretamente, o aquecimento diabático às flutuações da termoclina, o MLA não considera a CLP sobre os oceanos.

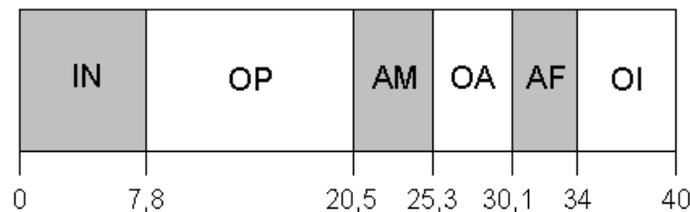


Figura 1 - Disposição dos continentes – Indonésia (IN), Amazônia (AM) e África (AF) - e oceanos – Pacífico (OP), Atlântico (OA) e Índico (OI). Na direção zonal, os valores são dados em Mm (*i.e.* 10^6 m). Adaptada de Nobre (1983, p.136).

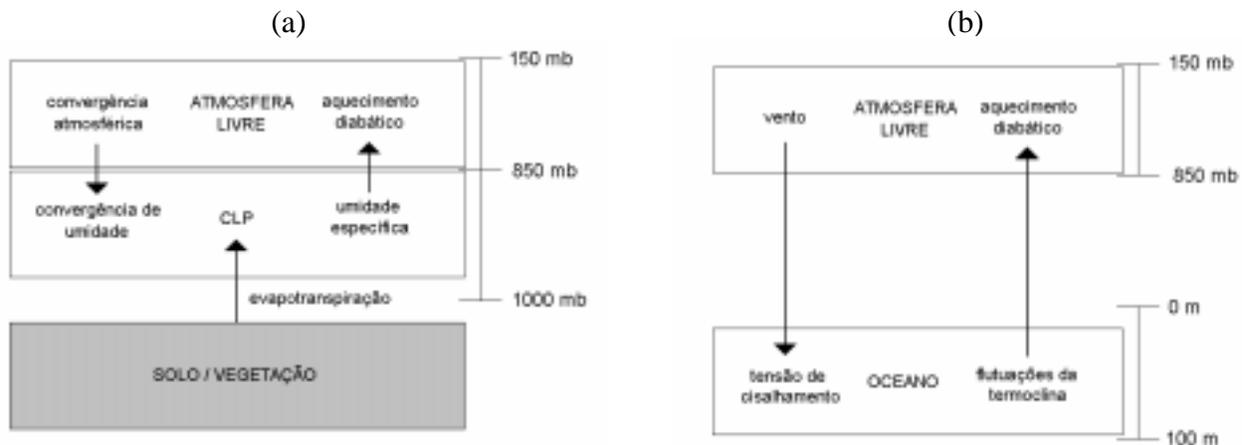


Figura 2 - Representação esquemática das interações continente-atmosfera (a) e oceano-atmosfera (b).

A AL é representada pelo modelo de Gill (1980), ou seja, pelo primeiro modo baroclínico das equações de água rasa sobre o plano β equatorial. Na direção zonal, supõem-se condições de contorno periódicas. A CMIS é representada através de um modelo elaborado para gerar, sob ventos de leste, águas quentes a oeste e frias a leste, o que concorda com o comportamento da temperatura à superfície do mar (TSM) do Pacífico Equatorial. Além disso, supõe-se que as flutuações da termoclina têm média zero. A CLP é representadas pelo balanço de umidade específica na CLP, supondo que toda umidade está confinada à

CLP, desprezando a advecção de umidade e considerando que, no termo de convergência de umidade, a umidade específica pode ser substituída por um valor constante.

Desenvolvendo as variáveis dependentes (vento, geopotencial e aquecimento diabático na AL; umidade específica e convergência atmosférica na CLP; e flutuações da termoclina e tensão de cisalhamento na CMIS), na direção meridional, tomando como base as funções do cilindro parabólico, faz-se um truncamento na ordem 2. Por simplicidade, o MLA considera somente fontes de calor simétricas em relação ao Equador. Supondo relações de acoplamento lineares, e impondo condições de continuidade nas interfaces entre continentes e oceanos, as soluções do MLA são obtidas analiticamente.

3. Efeitos das Alterações da Vegetação na Amazônia

O MLA é forçado pela evapotranspiração. Para representar as alterações da vegetação da Amazônia, consideram-se três cenários: climatologia, desmatamento e desertificação. No primeiro cenário, supõe-se, para todos os continentes, uma evapotranspiração constante de $3,5 \text{ mm dia}^{-1}$ no Equador; no segundo, reduz-se a evapotranspiração da Amazônia para $1,75 \text{ mm dia}^{-1}$; no terceiro, considera-se que não existe evapotranspiração sobre a Amazônia.

Na Tabela 1, nota-se que:

- na Amazônia, a redução de evapotranspiração acarreta uma diminuição da convergência de umidade;
- existe uma forte influência da Amazônia sobre a fonte de calor na África;
- a fonte de calor da Indonésia independe das condições sobre a Amazônia.

A redução de convergência de umidade decorrente do desmatamento corresponde ao esperado, pois o MLA reproduz o “feedback” positivo entre aquecimento diabático e convergência de umidade. Quanto à magnitude, o MLA prediz uma redução maior que o predito por MCG, de forma semelhante ao trabalho de Zeng et al. (1996). Isso ocorre, provavelmente, pelo fato dos MCG representarem não somente o “feedback” positivo, mas também o negativo, o que reduz o impacto do desmatamento na convergência de umidade. Outrossim, pode-se notar que, no modelo, de forma semelhante ao trabalho de Zeng et al., cerca de 50% da redução de precipitação é causada pela convergência de umidade.

Tabela 1 - Valores médios (mm dia^{-1}), no Equador, do balanço de água sobre a Amazônia, para vários cenários (*P*: precipitação, *E*: evapotranspiração, *C*: convergência de umidade).

	climatológico			desmatamento			desertificação		
	<i>P</i>	<i>E</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>E</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>E</i>	<i>C</i>
Indonésia	5,3	3,5	1,8	5,4	3,5	1,9	5,5	3,5	2,0
África	6,2	3,5	2,7	6,8	3,5	3,3	7,5	3,5	4,0
Amazônia	7,0	3,5	3,5	3,5	1,8	1,7	0,05	0	0,05

Na Figura 1, nota-se que:

- desmatamento enfraquece a fonte de calor sobre a Amazônia, o que enfraquece as ondas de Kelvin e planetária que emanam da Amazônia;
- enfraquecimento da onda de Kelvin desloca a região de subsidência do Atlântico para oeste e aumenta a convergência de umidade sobre a África;
- enfraquecimento da onda planetária desloca a região de subsidência do Pacífico para leste, resfria as águas frias do Pacífico Leste e intensifica os ventos de leste no Pacífico Central;
- não há influência do desmatamento sobre a Indonésia.

Segundo Zeng et al. (1996), o desmatamento da Amazônia enfraquece a circulação de Walker que atua no sistema Amazônia-Atlântico. No presente modelo, a influência do desmatamento abrange uma escala espacial maior. O enfraquecimento das ondas de Kelvin e planetária que emanam da Amazônia significa o enfraquecimento da circulação de Walker sobre o Atlântico e o Pacífico, o que impede o avanço da onda de Kelvin da Indonésia sobre a Amazônia, e aumenta a fonte de calor sobre a África. Portanto, por um lado, no presente modelo, a influência do desmatamento compreende não somente o sistema Amazônia-Atlântico, mas também o Pacífico e a África, ou seja, uma escala zonal maior. Por outro lado, se os Andes fossem, de alguma forma, incluídos no modelo, a interação Amazônia-Pacífico tornar-se-ia mais realista, ou seja, menos intensa.

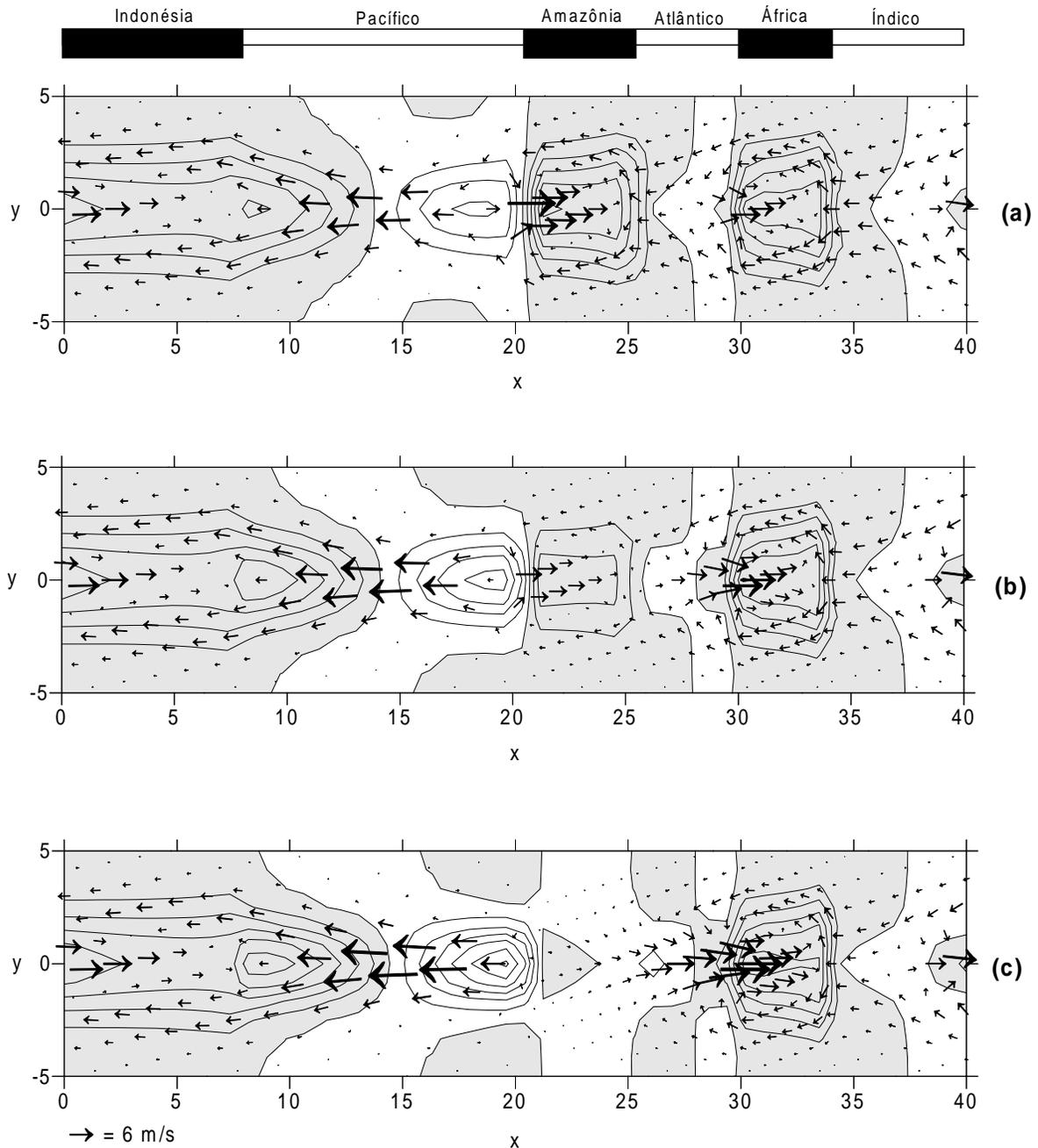


Figura 1 - Campo de vento e fontes de calor. Valores positivos de aquecimento estão sombreados. Unidade: $K \text{ dia}^{-1}$; intervalo de $0,5 K \text{ dia}^{-1}$; (a): climatologia; (b): desmatamento; (c): desertificação. As distâncias na direção zonal (x) e meridional (y) são dadas em Mm.

4. Conclusões

- A elaboração do MLA mostra que é possível incorporar a interação entre atmosfera, continentes e oceanos em um modelo analítico simples, válido para a faixa tropical. Utilizando o MLA, pode-se estudar, a partir de um ponto de vista bastante idealizado, os efeitos das alterações da vegetação da Amazônia no clima da região tropical.
- O desmatamento/desertificação provocam, sobre a Amazônia, uma redução da convergência de umidade, o que concorda com os resultados da maioria dos MCG.
- Sobre a Amazônia, a redução da convergência de umidade e da evapotranspiração diminuem a intensidade da fonte de calor, enfraquecendo as ondas de Kelvin e planetária que dela emanam. Portanto, o desmatamento/desertificação provocam efeitos em outras regiões.
- O enfraquecimento da onda de Kelvin diminui a intensidade da célula de Walker cujo ramo ascendente se encontra sobre a Amazônia e o subsidente, sobre o Atlântico, deslocando a região de subsidência do Atlântico para oeste. Além disso, o enfraquecimento da onda de Kelvin torna a onda planetária, oriunda da África, mais nítida, o que aumenta a convergência de umidade sobre a África.
- O aumento na intensidade da fonte de calor sobre a África não é suficiente para influenciar, significativamente, a Indonésia.
- O enfraquecimento da onda planetária diminui a intensidade da célula de Walker cujo ramo ascendente se encontra sobre a Amazônia e o subsidente, sobre o Pacífico, deslocando a região de subsidência do Pacífico se desloca para leste. Além disso, o enfraquecimento da onda planetária intensifica a região de águas frias do Pacífico Leste e os ventos de leste no Pacífico Central.
- Os efeitos sobre o Pacífico não são suficientes para influenciar, significativamente, a Indonésia.
- Como o modelo não considera a topografia, afirmações a respeito do enfraquecimento da onda planetária devem ser aceitas com reservas, pois os Andes bloqueiam, nos baixos níveis, a influência da Amazônia sobre o Pacífico.

Referências Bibliográficas

- Eltahir, E.A.B.; Bras, R.L. On the response of the tropical atmosphere to large-scale deforestation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.119, p.779-793, 1993.
- Gill, A.E. Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.106, p.447-462, 1980.
- Nobre, C.A. **Tropical heat sources and their associated large-scale atmospheric circulation**. 297p. Dissertação (PhD thesis) - Massachusetts Institute of Technology, 1983.
- Nobre, C.A.; Sellers, P.J.; Shukla, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v.4, p.957-988, 1991.
- Oyama, M.D. **Um modelo simples de interação continente-oceano-atmosfera aplicado ao estudo das alterações da vegetação na Amazônia**. 82p. Dissertação de Mestrado em Meteorologia - INPE, 1998.
- Philander, S.G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**. San Diego: Academic Press, 1990. 293p.
- Zeng, N.; Dickinson, R.E.; Zeng, X. Climatic impact of Amazon deforestation: a mechanistic model study. **Journal of Climate**, v.9, p.859-883, 1996.