

# **Impacto das Mudanças na Cobertura Vegetal Amazônica na Circulação Atmosférica e na Precipitação em Escalas Regional e Global: Um estudo com Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA)**

Francis Wagner Silva Correia<sup>1\*</sup>, Regina Célia dos Santos Alvalá<sup>2</sup>, Antonio Ocimar Manzi<sup>3</sup>

## **RESUMO**

O Modelo de Circulação Geral da Atmosfera do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, acoplado ao esquema de superfície Simplified Simple Biosphere Model (SSiB), foi utilizado para avaliar as mudanças na circulação atmosférica e na precipitação, em escalas regional e global, decorrentes de modificações da cobertura vegetal na bacia Amazônica de acordo com três cenários de desflorestamento: alterações atuais; previstas para o ano de 2033 e desflorestamento de grande escala da Amazônia. No presente estudo foi observado aumento no movimento ascendente na região oeste da Amazônia, enquanto na porção leste observou-se uma redução na simulação utilizando o cenário de desflorestamento de grande escala. As mudanças no movimento vertical podem estar relacionadas às mudanças na precipitação, tanto no leste (redução) como no oeste (aumento) da Amazônia. Mudanças na circulação de grande escala foram sentidas em regiões distantes da região desflorestada, mostrando que a perturbação na estrutura dinâmica pode se propagar para regiões remotas. Em todos os cenários de desflorestamento também foram observadas mudanças significativas na precipitação em áreas remotas de onde ocorreram as mudanças da superfície. Essas persistentes e significativas diferenças na precipitação fora da área desflorestada podem ser atribuídas tanto à variabilidade natural quanto às consequências globais do desflorestamento.

## **ABSTRACT**

The Atmospheric General Circulation Model of the Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (AGCM/CPTEC) coupled with the Simplified Simple Biosphere Model – SSiB was used to investigate the impact of Amazon land cover changes on the atmospheric circulation and precipitation in regional and global scales. Four 3-years integrations were carried out for three different scenarios: (a) no deforestation, (b) current conditions, (c) scenario predicted for 2033, and (d) large scale deforestation. In this study, for the large scale deforestation scenario, it was observed an increase in the upwelling movement in the western portion of the Amazon Basin, while a reduction was observed in the eastern portion. Precipitation changes were observed in the same area possibly associated with these vertical movement changes. Remote effects of deforestation in the large scale circulation were also observed showing that local perturbation in dynamic structure of the atmosphere can propagate for distant regions. For all scenarios, significant changes in precipitation patterns in remote areas of the world were observed. These persistent and significant changes in precipitation out of deforested areas may be attributed to either natural variability or global consequences of deforestation.

Palavras chaves: MCGA, SSiB, Amazônia, Desflorestamento, Cenários

## **1 – INTRODUÇÃO**

A Amazônia é uma grande fonte de calor e vapor de água para a atmosfera global. Abrange uma extensa área e está posicionada nos trópicos, onde as trocas de energia entre a superfície continental e a atmosfera são bastante intensas. Mudanças nesse ecossistema provavelmente conduziram a impactos na circulação atmosférica, no transporte de umidade e no ciclo hidrológico, não somente sobre a América do Sul, mas em outras partes do mundo (Kleidon e Heimann, 2000; Voltaire e Royer, 2004, Chagnon e Bras, 2005). Na Amazônia, segundo levantamento recente do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a taxa de desflorestamento foi de 18.793 km<sup>2</sup> de 2004 a 2005, sendo a região sul-nordeste da Amazônia (Maranhão,

---

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Amazonas - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (UEA/INPA), [francisw@inpa.gov.br](mailto:francisw@inpa.gov.br), <sup>2</sup> Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/CPTEC-INPE, [regina@cptec.inpe.br](mailto:regina@cptec.inpe.br); <sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), [manzi@inpa.gov.br](mailto:manzi@inpa.gov.br).

Pará e Mato Grosso) a mais afetada (INPE, 2006). Considerando a série histórica do monitoramento, observou-se que até o ano 2005 aproximadamente 17,5% do total de área de floresta tinha sido desflorestada. Diante das modificações que vêm ocorrendo nos usos da terra na Amazônia brasileira, algumas questões podem ser levantadas, tais como: “Essas mudanças poderiam causar impactos na circulação atmosférica e na precipitação? E, quais seriam estes impactos?” O efeito do desflorestamento de grande escala no clima da Amazônia foi avaliado em diferentes estudos (por exemplo, por Costa e Foley, 2000; Kleidon e Heinmann, 2000) através da utilização de Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA). O objetivo do presente trabalho foi realizar um estudo de modelagem numérica, utilizando o MCGA do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (MCGA/CPTEC) acoplado ao esquema de superfície Simplified Simple Biosphere Model (SSiB), para três cenários de desflorestamento, a fim de avaliar as conseqüências na circulação atmosférica e na precipitação em escalas regional e global decorrentes das mudanças nos usos da terra na região da Amazônia.

## 2 – MODELO ATMOSFÉRICO E SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

A versão do MCGA utilizada é a T62L28 com resolução horizontal de aproximadamente 2°. O modelo é formulado com uma discretização espectral na horizontal e um esquema de diferenças finitas na vertical e no tempo. A parametrização de Kuo (1974) é o esquema de convecção profunda do modelo, enquanto que o esquema de Tiedtke (1983) é utilizado para representar a convecção rasa. As trocas turbulentas entre a superfície vegetada e a atmosfera são determinadas pela interação entre a camada mais baixa do modelo e o esquema de superfície acoplado, o Simplified Simple Biosphere Model – SSiB (Xue et al., 1991). Foram realizados quatro experimentos: CONTROL, PROVEG, CEN2033, DESFLOR. Nos experimentos CONTROL e PROVEG os mapas de vegetação da América do Sul incluíram a vegetação original e aquela incluindo as áreas desflorestadas (pastagem degradada), respectivamente (Sestini et al, 2002) (Figuras 1a,b). No experimento CEN2033 utilizou-se o cenário de desflorestamento da Amazônia Legal referente ao ano de 2033 (Figura 1c) gerado pelo modelo “DINÂMICA” (Soares Filho et al., 2004). No experimento DESFLOR utilizou-se um cenário de desflorestamento de grande escala. Cada experimento consistiu de três integrações por um período de três anos. Todas as integrações foram inicializadas às 00:00h TMG (Tempo Médio Greenwich) com dados das análises do National Center for Environmental Prediction (NCEP) para os dias 1, 2 e 3 de dezembro de 1997. Os primeiros dois anos de integração do MCGA foram ignorados devido ao ajustamento da umidade do solo e das condições iniciais.

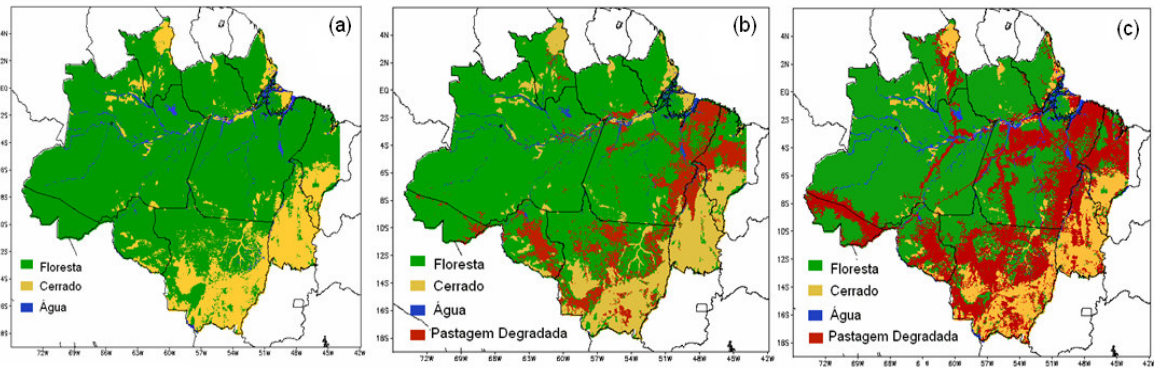


Figura 1 - Cenários de desflorestamento usados nas simulações numéricas com o MCGA/CPTEC: (a) Cenário para a simulação de controle; (b) Cenário atual de desflorestamento; (c) Cenário referente ao ano de 2033.

### 3 – MUDANÇAS NA CIRCULAÇÃO DE HADLEY E WALKER

A circulação da atmosfera nos trópicos é caracterizada por uma circulação meridional, denominada circulação de Hadley, e por uma circulação zonal, chamada circulação de Walker. Os efeitos das mudanças na cobertura vegetal são verificados através da diferença na velocidade vertical ( $\text{Pa s}^{-1}$ ). As Figuras 2 e 3 apresentam as circulações meridional e zonal no experimento controle, respectivamente, destacando as células de Hadley e de Walker, assim como as mudanças decorrentes dos cenários de desflorestamento. Na simulação DESFLOR, não foi observada mudanças significativas na circulação meridional sobre a área desflorestada, com uma pequena redução no movimento ascendente em torno de  $10^{\circ}\text{S}$ . As mudanças mais acentuadas estão presentes no Hemisfério Norte, com redução no movimento ascendente em torno de  $10^{\circ}\text{N}$  de latitude, e um enfraquecimento da circulação meridional em direção ao pólo até a latitude de  $50^{\circ}\text{N}$ . No cenário PROVEG, observou-se um aumento (cor azul) significativo no movimento ascendente ao sul da Amazônia entre  $20$  e  $15^{\circ}\text{S}$ . Semelhante ao cenário DESFLOR, observou-se um enfraquecimento significativo na circulação no Hemisfério Norte em direção ao pólo no cenário CEN2033, com uma redução no ramo descendente de Hadley. Com relação à circulação meridional, o movimento ascendente aumentou na região oeste da Amazônia, enquanto na porção leste observou-se uma redução na simulação com o cenário de desflorestamento de grande escala. As mudanças no movimento vertical podem estar relacionadas às mudanças na precipitação, tanto no leste (redução) como no oeste (aumento) da Amazônia. Por outro lado, o desflorestamento conduziu a reduções significativas nos ramos ascendentes sobre a África e sudeste da Ásia. No cenário de desflorestamento PROVEG, três regiões apresentaram mudanças na circulação zonal, com aumento no movimento ascendente sobre o leste da Amazônia, no sudeste da Ásia ( $90^{\circ}\text{L}$ ) e no Pacífico ( $160$ - $180^{\circ}\text{L}$ ); havendo, dessa forma, um fortalecimento na célula de Walker, principalmente na Ásia e no Pacífico.

### 4 – MUDANÇAS REMOTAS NA PRECIPITAÇÃO

Quando os impactos do desflorestamento tropical são identificados através de simulações com modelos de circulação global da atmosfera (MCGA), a questão desafiadora, ainda não bem respondida, é se as mudanças induzidas pelo desflorestamento (nos diferentes cenários) podem resultar em reduções (aumentos) na precipitação em regiões remotas, além das alterações na estrutura dinâmica da atmosfera, já observadas. A distribuição anual da precipitação e as mudanças decorrentes dos três cenários de desflorestamento para todo

o globo são apresentadas na Figura 4. Em todos os cenários, mudanças significativas (95% e 99% pelo teste *t* de Student) na precipitação foram observadas sobre a área desflorestada, assim como em áreas remotas de onde ocorreram as mudanças da superfície. No cenário DESFLOR, são observadas reduções significativas na porção leste da Bacia Amazônica, inclusive na ZCIT na costa leste da América do Sul; contudo, aumento significativo foi observado no oeste da Amazônia. Observam-se, claramente, regiões remotas com aumento da precipitação, dentre as quais se destacam o sul do Oceano Índico próximo à costa norte da Austrália, a África tropical e o norte do México. Reduções significativas foram observadas a leste dos Estados Unidos, no sudeste da Ásia e a costa leste do continente Africano. No cenário CEN2033 também se observa aumento no sul do Oceano Índico, na África e no sul dos Estados Unidos. No cenário PROVEG são observadas anomalias positivas e negativas, principalmente na Oceania, no leste da África e na América Central. Além disso, em todos os cenários de desflorestamento se observa anomalia positiva da precipitação no sul da Europa. As mudanças no clima decorrentes dos três cenários de desflorestamento na Amazônia foram avaliadas através dos impactos no ciclo anual da precipitação. Para isso, seis diferentes áreas, onde se observaram mudanças significativas na precipitação foram selecionadas (Figura 5). A Bacia Amazônica apresentou uma significativa redução na precipitação durante a estação seca, principalmente nos cenários CEN2033 e DESFLOR, e poucas mudanças estão presentes na estação úmida. Sobre o México e parte da América Central observou-se pequenas reduções no período de agosto a outubro para todos os cenários de desflorestamento, enquanto que no leste dos Estados Unidos pequenas reduções na precipitação estão presentes entre os meses março e maio. Com exceção do cenário PROVEG, os demais apresentaram um pequeno aumento na precipitação na estação úmida, principalmente nos meses de março e abril, porém nenhuma mudança foi observada na estação seca.

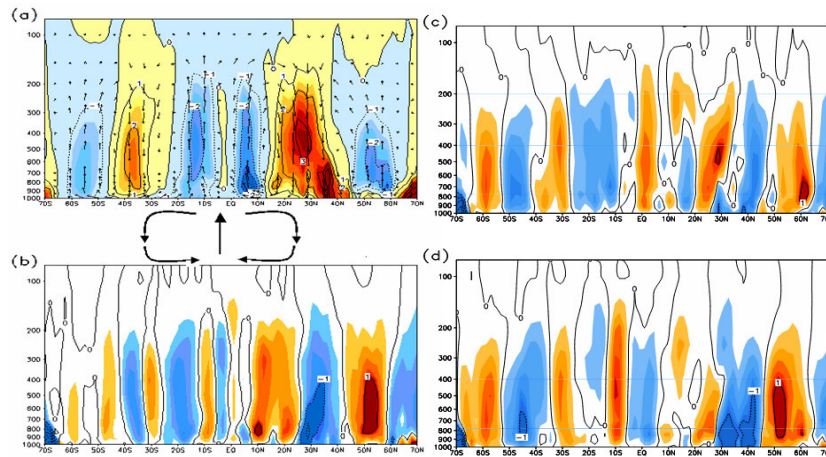


FIGURA 2 - Velocidade vertical ( $10^2 \times \text{Pa s}^{-1}$ ) na seção transversal zonal de  $70^\circ\text{S}$  a  $70^\circ\text{N}$  (média de  $180^\circ\text{O}$  a  $180^\circ\text{L}$ ) para a estação úmida (janeiro-março): (a) simulação controle; (b) mudanças na velocidade vertical decorrente do cenário DESFLOR; (c) do cenário PROVEG e (d) do cenário CEN2033.

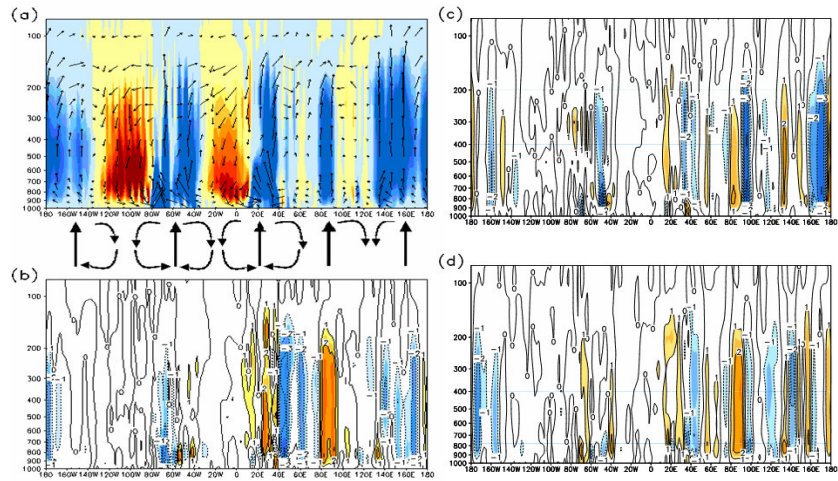


FIGURA 3 - Velocidade vertical ( $10^2 \times \text{Pa s}^{-1}$ ) na seção transversal meridional de  $180^\circ\text{O}$  a  $180^\circ\text{L}$  (média de  $20^\circ\text{S}$  a  $5^\circ\text{N}$ ) para a estação úmida (janeiro-março): (a) simulação controle; (b) mudanças na velocidade vertical decorrente do cenário DESFLOR; (c) do cenário PROVEG e (d) do cenário CEN2033.

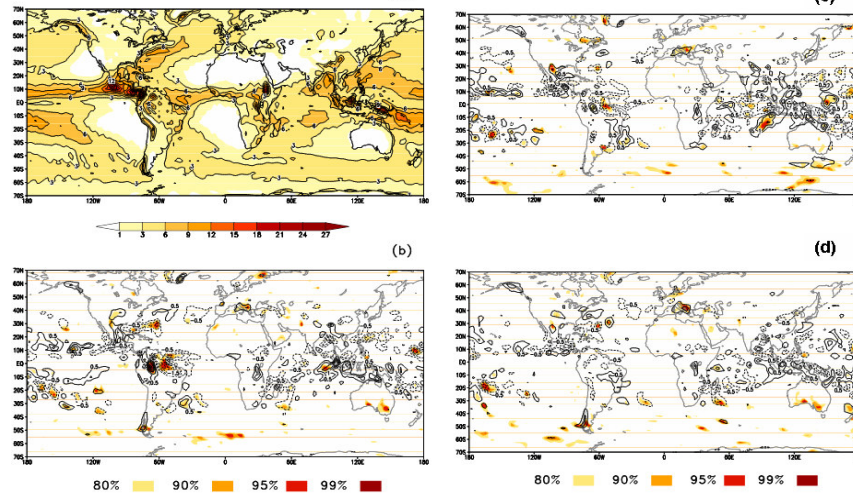
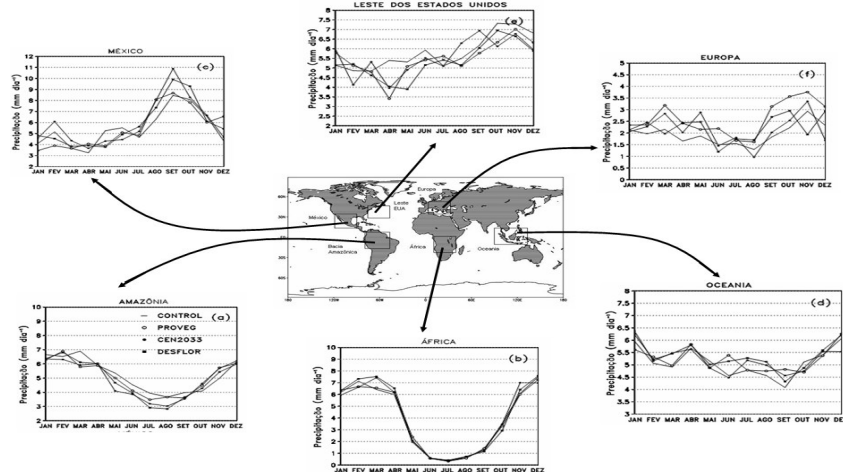


FIGURA 4 - Distribuição média anual da precipitação em  $\text{mm dia}^{-1}$ : (a) simulação controle; (b) mudanças na precipitação decorrentes do cenário de desflorestamento de grande escala DESFLOR. Linhas contínuas (tracejadas) representam aumento (redução).



FIGURAS 5 - Ciclo anual da precipitação para os experimentos controle e para as simulações com os cenários de desflorestamento PROVEG, CEN2033 e DESFLOR sobre as seguintes áreas: (a) Bacia Amazônica. (b) África, (c) México; (d) Oceania; (e) leste dos Estados Unidos e (f) Europa.

## 5 – CONCLUSÃO

Nesse estudo, avaliaram-se as mudanças na circulação atmosférica e na precipitação em escalas regional e global decorrentes de modificações da cobertura vegetal Amazônica de acordo com três cenários de desflorestamento utilizando o MCGA-CPTEC (T62L28). De um modo geral, as mudanças na circulação geral da atmosfera decorrente dos cenários de desflorestamento foram verificadas nas células de grande escala. As mudanças na circulação de grande escala podem ser sentidas em regiões distantes da região desflorestada, mostrando que a perturbação na estrutura dinâmica pode se propagar para regiões remotas. Em todos os cenários de desflorestamento foram observadas mudanças significativas na precipitação em áreas distantes daquela onde ocorreram as mudanças da superfície. Essas persistentes e significativas diferenças na precipitação fora da área desflorestada podem ser atribuídas tanto à variabilidade natural quanto às conseqüências globais do desflorestamento. Diferentes estudos têm mostrado que existe um enfraquecimento da circulação sobre a área desflorestada, uma vez que houve uma redução no fluxo de calor da superfície para a atmosfera, conduzindo a um resfriamento da camada. Contudo, no presente estudo observou-se em algumas situações aumento do movimento ascendente na área desflorestada. Segundo Eltahir e Bras (1993), existem dois mecanismos que competem entre si: (1) uma circulação convergente direta na camada limite governada por um aumento na temperatura da superfície e, (2) uma circulação divergente na camada limite devido à redução na precipitação e no calor latente (resfriamento da camada). Nesse estudo, a convergência de umidade nos baixos níveis esteve presente em todos os cenários de desflorestamento, fazendo com que mais umidade fosse transportada para a área desflorestada. Desta forma, possivelmente no presente estudo o mecanismo dominante foi o da convergência em baixos níveis, governado pelo aquecimento da superfície, correspondendo ao segundo mecanismo na formulação de Eltahir e Bras (1993).

## REFERENCIAS

- Costa, M.; Foley, J. Combined effects of deforestation and doubled Atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on the climate of Amazonia. *Journal of Climate*, v.13, p.18-34, 2000.
- Chagnon, F.; Bras, R. Contemporary climate change in the Amazon. *Geophysical Research Letters*, v. 32, p.1-4, 2005.
- Eltahir, E.; Bras, R. On the response of the tropical atmosphere to large-scale deforestation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 119, p.779-793, 1993.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2006. Monitoring the Brazilian Amazon forest by satellite: 2004-2005. São José dos Campos, Brazil.
- Kleidon, A.; Heimann, M. Assessing the role of deep rooted vegetation in the climate system with model simulations: mechanism, comparison to observations and implications for Amazonian deforestation. *Climate Dynamics*, v. 16, p.183-199, 2000.
- Kuo, H. Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large scale flow. *Journal of the Atmospheric Science*, v.31, p.1232-1240, 1974.
- Sestini, M. F. Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos. São José dos Campos: INPE, 2002. 64 p
- Soares-Filho, B. S.; Alencar, A.; Nepstad, D.; Cerqueira, G.; Diaz, M.; Rivero, S.; Solórzanos, L.; Voll, E.

Simulating the response of land-cover change to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, v. 10, p.745-764, doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00769.x, 2004.

Tiedtke, M. The sensitivity of the time-mean large-scale flow to cumulus convection in the ECMWF model. *Proc. Workshop on Convection in Large-Scale Numerical Models*, Reading, United Kingdom, ECMWF, 297-316, 1983.

Voldoire, A.; Royer, J. F. Tropical deforestation and climate variability. *Climate Dynamics*, v.22, p. 857-874, 2004.

Xue, Y. P. J.; Sellers, J. L.; Kinter, J. Shukla. A simplified biosphere model for global climate studies. *Journal of Climate*, v.4, p.345-364, 1991.