

Modelagem dos Impactos das Mudanças da Cobertura da Terra na Amazônia: Avaliação do Balanço de Radiação.

Regina Célia dos Santos Alvalá¹
Francis Wagner Silva Correia²,
Antônio Ocimar Manzi²

¹CPTEC-INPE. Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos – SP
regina@cptec.inpe.br

²Núcleo de Modelagem Climática e Ambiental/INPA
Escritório Central do LBA. Av: André Araújo, n. 2936, casa 21, Aleixo
69011-970 – Manaus – AM - Brazil,
(francisw, manzi)@inpa.gov.br

Abstract: The numerical regional model (Eta) coupled with the Simplified Simple Biosphere Model (SSiB) was used to investigate the impact of land cover changes on the radiation balanced in Amazonia. Four 13-month integrations were performed for the following scenarios: (a) no deforestation, (b) current conditions, (c) deforestation predicted for 2033, and (d) large scale deforestation. All initial and prescribed boundary conditions were kept identical for all integrations, except the land cover changes. The results show that during the dry season the post-deforestation decrease in root depth plays an important role in radiation budget, since there is less soil moisture available for evapotranspiration. In both the scenarios (b) and (c), the downward component of the surface solar radiation decreased due to an increase in the cloud cover over deforested areas, which contributed to even further reduction of the net radiation absorbed at the surface. The cloud mechanism, where an increase in albedo is balanced by an increase in downward solar radiation, was not detected in any of these scenarios.

Palavras-chaves: solar radiation, albedo, net radiation, regional model, deforestation, Amazonia. radiação solar, albedo, saldo de radiação, modelo regional, desflorestamento, Amazônia.

1. Introdução

O território brasileiro como um todo, tem apresentado diferentes transformações no padrão espacial de uso e cobertura da terra nas últimas décadas, entre as quais se destacam altas taxas de desflorestamento da floresta tropical na região Norte e a desertificação no Nordeste. Essas diferentes transformações ocorridas na cobertura da superfície, associadas às práticas de uso da terra, exercem uma grande influência na hidrologia, clima e ciclos biogeoquímicos em diferentes regiões do Brasil (Nobre et al., 1991; Nepstad et al., 1994). A região Amazônica tem apresentado nas últimas décadas altas taxas de desmatamento (INPE, 2006). Diante das constantes modificações que vêm ocorrendo no uso da terra na região amazônica, esforços têm sido envidados para avaliar quais são os impactos que as mudanças poderiam causar no clima. Para isto, um grande número de estudos tem usado modelos de circulação geral da atmosférica (MCG) para examinar os possíveis efeitos do desmatamento amazônico de grande escala no clima regional e global (Nobre et al., 1991; McGuffie et al, 1995; Walker et al., 1995; Manzi e Planton, 1996; Hahmann e Dickinson, 1997; Costa e Foley, 2000; Gandu et al., 2004). Diante desses resultados, uma outra questão que pode ser abordada é a consideração de um panorama mais realista da cobertura vegetal para a Amazônia e, conseqüentemente, a verificação dos efeitos climáticos detectados. Assim sendo, o objetivo do trabalho consistiu em realizar um estudo de modelagem numérica para avaliar as conseqüências no balanço radiativo decorrentes das mudanças que vêm ocorrendo na

cobertura vegetal da região amazônica. Nas simulações, utilizou-se um mapa de vegetação atual da região amazônica (Sestini et al. 2002), e dois cenários de desflorestamento da Amazônia Legal, um para os próximos trinta anos e outro representando uma situação extrema, em que toda a Amazônia é desflorestada.

2. Modelo atmosférico, Simulações Numéricas e Mapas de Vegetação

Utilizaram-se para as simulações o Modelo Regional ETA/CPTEC na resolução de 40 km, com a versão do “Simplified Simple Biosphere Model (SSiB)” como esquema de superfície. As principais características do modelo regional Eta podem ser vistas em Chou et al. (2002) e Correia (2005), enquanto informações detalhadas sobre o modelo SSiB podem ser vistas em Xue et al. (1991) e em Correia (2005).

Foram realizados quatro experimentos, denominados CONTROL, PROVEG, CEN2033, DESFLOR. Cada experimento consistiu de uma rodada para o período de um ano e um mês (396 dias). As rodadas foram inicializadas sempre às 00:00 horas TMG com as condições iniciais geradas pelo modelo de circulação geral da atmosfera do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MCGA/CPTEC) para o dia 1 de dezembro de 1999. O modelo foi forçado lateralmente, a cada seis horas, com as previsões do modelo de circulação geral (T62L28, com 28 níveis na vertical e truncamento triangular na onda zonal de número 62, o que gera uma resolução horizontal de cerca de 1,87° (200 km) em todos os experimentos. A simulação com o MCGA para o último ano, para cada experimento, foi utilizado para forçar o modelo regional com a mesma condição de contorno (cobertura vegetal) utilizado pelo MCGA. A condição inicial de água no solo foi obtida através da integração do modelo de balanço de água; contudo, ela foi fornecida ao modelo regional através das condições iniciais geradas a partir do MCGA/CPTEC. O primeiro mês de integração (dezembro) foi ignorado, devido ao ajustamento da umidade do solo e das condições iniciais; assim, o estudo do impacto no balanço de radiação foi realizado levando-se em consideração somente os meses de janeiro à dezembro de 2000. Em todas as simulações realizadas utilizou-se a temperatura da superfície do mar (TSM) climatológica. Informações específicas das rodadas estão resumidas na **Tabela 1**. Todas as simulações foram inicializadas da mesma forma, com exceção da cobertura vegetal, a fim de evitar que os impactos pudessem ser atribuídos às diferentes inicializações de água no solo ou a outros fatores.

Tabela 1 – Características das rodadas para cada experimento utilizando o modelo regional ETA.

Experimentos	Inicialização	Integração	TSM	Água no solo
CONTROL	1/12/1999	396 dias	Climatológica	MCGA/CPTEC
PROVEG	1/12/1999	396 dias	Climatológica	MCGA/CPTEC
CEN2033	1/12/1999	396 dias	Climatológica	MCGA/CPTEC
DESFLOR	1/12/1999	396 dias	Climatológica	MCGA/CPTEC

A **Figura 1** apresenta os mapas de vegetação utilizados nas simulações, ou seja, mapa da simulação controle (a) mapa de vegetação e desflorestamento atual, denominado ProVeg (b) e um cenário futuro para o ano de 2033 (c). Este último mapa foi elaborado pela Universidade Federal de Minas Gerais e The Woods Hole Research Center (<http://www.csr.ufmg.br/simamazonia/>).

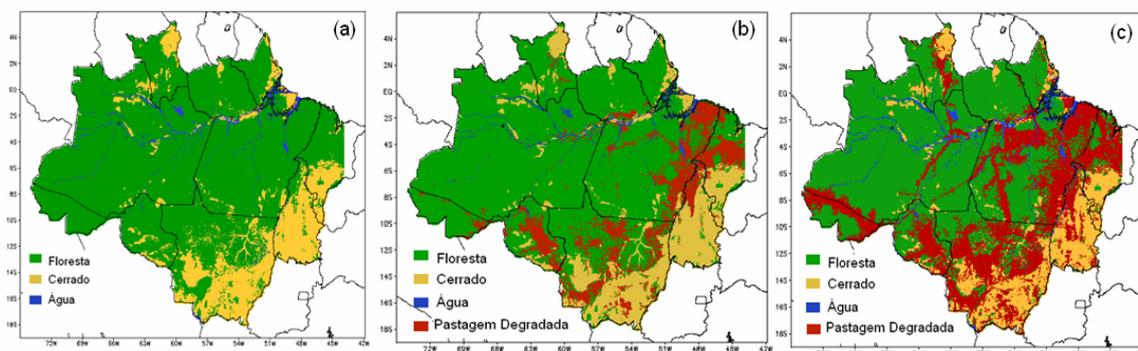


Figura 1 – Mapa de vegetação e cenários de desflorestamento usados nas simulações numéricas com o MCGA/CPTEC: (a) Mapa para a simulação de controle; (b) Cenário atual de desflorestamento; (c) Cenário referente ao ano de 2033.

3. Resultados

Os resultados das simulações utilizando os cenários de desflorestamentos PROVEG, CEN2033 e DESFLOR, cujos impactos no clima regional são avaliados através da diferença entre as simulações PROVEG, CEN2033, DESFLOR e CONTROL são apresentados a seguir. A significância estatística das anomalias é avaliada utilizando-se o teste *t* de Student considerando os níveis de confiança de 99%, 95%, 90% e 80%.

3.1. Mudanças Climáticas Regionais: PROVEG-CONTROL

O albedo da superfície apresentou um acréscimo de 7% (média na área), aumentando de 0,13 na simulação controle (em que a floresta está intacta) para 0,20 no experimento com o cenário PROVEG, o qual incluiu o bioma pastagem degradada representando o desflorestamento na Amazônia Legal. Os valores do albedo calculado pelo modelo, tanto para floresta quanto para pastagem, estão de acordo com aqueles encontrados por Von Randow et al. (2004), que avaliaram os componentes do balanço de radiação, os fluxos turbulentos de energia e de CO₂ medidos em sítios de pastagem e de floresta (Rondônia) durante as estações seca e úmida da região.

O saldo de radiação à superfície, na média, reduziu 15% sobre a área desflorestada, devendo-se principalmente ao aumento do albedo à superfície. Resultados diferentes desses foram encontrados por Manzi e Planton (1996), que observaram um aumento no saldo de radiação, devido a grande quantidade de radiação solar que alcançou a superfície, causado pela redução na cobertura de nuvens (“*Feedback*” de nuvem). Essas diferenças entre as simulações numéricas mostram que há uma forte dependência dos resultados em relação às parameterizações de nuvens e da transferência radiativa consideradas nos modelos atmosféricos.

De modo geral, as mudanças no clima próximo à superfície, decorrentes da diferença entre as simulações PROVEG e CONTROL, são mais acentuadas no período seco em relação ao período úmido, principalmente no que se refere aos balanços de radiação e de energia, estando relacionado à variação sazonal peculiar no clima nessa região.

3.2. Mudanças Climáticas Regionais: CEN2033-CONTROL

O saldo de radiação à superfície reduziu 15% (-25 W m^{-2}), devido ao aumento do albedo, que conduziu a uma redução de 17 W m^{-2} no saldo de radiação de onda curta. Sud et al. (1996b), avaliando o impacto do desflorestamento na Amazônia Legal, utilizando um cenário referente ao ano 1988, encontraram uma redução de 24 W m^{-2} no saldo de radiação, sendo o principal causador da redução o aumento no albedo da superfície (+4,8%).

3.3. Mudanças Climáticas Regionais: DESFLOR-CONTROL

Nas últimas décadas, um grande número de simulações com modelos de circulação geral da atmosfera (MCGA), acoplado a diferentes esquemas de superfície, tem sido conduzido para avaliar o impacto da completa remoção da floresta tropical da América do Sul no clima local, regional e global. Os principais resultados de várias simulações foram revisados por Lean e Rowntree (1997). Contudo, simulações de desflorestamento de grande escala na Amazônia utilizando modelos regionais (resolução de 40 km), só mais recentemente estão sendo realizadas. De modo geral, as mudanças no clima decorrentes da diferença entre as simulações DESFLOR e CONTROL são mais significativas que aquelas observadas nos cenários PROVEG e CEN2033; confirmando mais uma vez que, à medida que avança o grau de desflorestamento na Amazônia, também aumenta a intensidade das mudanças no clima regional, sendo mais significativas durante o período seco, tal como observado nas simulações numéricas de Kleidon e Heinmann (2000) e de Voldoire e Royer (2004).

O saldo de radiação à superfície reduziu aproximadamente 17% ($-27,8 \text{ W m}^{-2}$), redução esta mais acentuada que as observadas nas simulações anteriores; e, diferente dos resultados prévios, essa redução foi devida ao aumento da perda de radiação de onda longa da superfície, e não ao aumento do albedo. Diferente do resultado encontrado no presente estudo, e de outros estudos descritos na literatura, Manzi e Planton (1996) observaram um pequeno aumento no saldo de radiação à superfície, ocasionado pela grande quantidade de radiação solar que alcançou a superfície devido à redução na cobertura de nuvens (“*feedback* de nuvem”). As diferenças entre essas simulações mais uma vez mostram a forte dependência existente entre os resultados dos modelos e a parametrização de nuvens e da transferência radiativa.

Semelhante aos resultados observados em diferentes estudos de modelagem sobre o desflorestamento nos trópicos, as mudanças mais significativas nos balanços de radiação e de energia, assim como na temperatura da superfície, foram observados na estação seca, sendo o estresse de umidade no solo responsável por esses resultados. Além disso, observou-se que essas mudanças também foram bem mais significativas que aquelas observadas nos cenários PROVEG e CEN2033.

3.4. Balanço de radiação a superfície

Para avaliar o impacto das mudanças da cobertura vegetal referente aos três cenários de desflorestamentos (PROVEG, CEN2033 e DESFLOR) no balanço de radiação, considerou-se as mudanças em três importantes variáveis: albedo, temperatura à superfície e nebulosidade (**Tabela 2**). O albedo aumentou nos três cenários, variando de 0,13 na floresta para 0,20 sobre a pastagem degradada. A temperatura à superfície aumentou em todos os cenários de desflorestamento, com valores médios anuais de 2,0 2,4 e 2,8°C para os cenários PROVEG, CEN2033 e DESFLOR, respectivamente. Em cada cenário, os impactos mais significativos na temperatura foram observados no período seco, quando o solo se encontra sob estresse hídrico. A mudança na nebulosidade depende do cenário em questão. Observou-se aumento na cobertura de nuvens nos baixos níveis em todos os cenários; porém, observou-se redução na cobertura de nuvens na média troposfera somente no cenário DESFLOR. No cenário PROVEG a nebulosidade (baixos níveis) aumentou 4,9% na média anual, 5,9% no período úmido e 2,6% na estação seca. No cenário CEN2033 a nebulosidade aumentou 3,9% na média anual, 3,9% na estação úmida e 4,2% na estação seca; entretanto, nos altos níveis houve redução (2,8%) na média anual. No caso do DESFLOR a nebulosidade (baixos níveis) aumentou 1,7%, 1,4% e 3,6% na média anual, estação úmida e estação seca, respectivamente, porém com reduções nos níveis médios e altos.

Todos os cenários de desflorestamento conduziram a uma redução do saldo de radiação (de 24,4, 25,7 e 27,8 W m⁻², para os cenários PROVEG, CEN2033 e DESFLOR, respectivamente). No balanço de radiação de onda curta do cenário PROVEG, a redução na radiação incidente, decorrente do aumento na nebulosidade, contribuiu para a redução no saldo de radiação à superfície; portanto, o saldo de radiação de onda curta diminuiu (-18,3 e -14,2 W m⁻², nas estações úmida e seca, respectivamente). De um modo geral, o aumento do albedo foi o principal responsável pela redução do saldo de radiação, uma vez que a perda de radiação de onda longa teve menor influência nesse cenário. Similarmente, no cenário CEN2033 houve redução na radiação incidente devido ao aumento local da nebulosidade, bem como a redução no saldo de radiação também ocorreu devido ao aumento do albedo, fazendo com que houvesse uma redução no saldo de radiação de onda curta de 15,6 e 15,3 W m⁻², nas estações úmida e seca, respectivamente. No cenário DESFLOR houve aumento da radiação solar incidente, devido à redução na nebulosidade nos níveis altos e médios, e, diferente dos outros cenários, a redução do saldo de radiação foi determinada pela maior perda de radiação de onda longa, e não pelo aumento do albedo.

No balanço de radiação de onda longa, o aumento da radiação emergente no cenário CEN2033, decorrente do aumento da temperatura a superfície, teve papel dominante na redução do saldo de onda longa, uma vez que praticamente não houve mudanças da radiação incidente. Contudo, nos cenários PROVEG e DESFLOR observou-se aumento (3 W m⁻² – aumento na nebulosidade) e redução (-2,7 W m⁻²), respectivamente, na radiação de onda longa incidente. Essas mudanças estão relacionadas às variações na cobertura de nuvens em ambos os cenários, com aumento na nebulosidade no PROVEG e redução no cenário DESFLOR (níveis médios). Diante desses resultados, observa-se que em todos os cenários os saldos de radiação de onda curta e de onda longa contribuíram para a redução no saldo de radiação, sendo o balanço de radiação de ondas curtas o principal responsável nos cenários PROVEG e CEN2033.

Tabela 2 – Impactos regionais dos cenários CONTROL, PROVEG, CEN2033 e DESFLOR (Modelo ETA). SW_↓, SW_↑, e ΔSW: radiação de onda curta incidente, emergente e saldo de radiação de onda curta (W m⁻²), respectivamente; LW_↓, LW_↑ e ΔLW: radiação de onda longa incidente, emergente e saldo de radiação de onda longa (W m⁻²), respectivamente; Rn: saldo de radiação (W m⁻²); α: albedo (%); n: nebulosidade (%); T_S: temperatura da superfície (°C); T_{sol}: temperatura do solo (°C); e os subscritos *sfc* e *top* referem-se a superfície e o topo da atmosfera, respectivamente. Os valores correspondem às médias espaciais sobre as áreas desflorestadas.

Variável	PROVEG			CEN2033			DESFLOR		
	anual	úmida	seca	anual	úmida	seca	anual	úmida	seca
SW _{↓sfc}	-4,3	-4,8	+0,4	-2,5	-1,4	-1,6	+5,4	+4,9	+3,0
SW _{↑sfc}	+14,0	+13,5	+14,6	+14,4	+14,2	+13,7	+15,6	+15,8	+14,2
ΔSW _{sfc}	-18,3	-18,3	-14,2	-16,9	-15,6	-15,3	-10,2	-10,9	-11,2
LW _{↓sfc}	+3,0	+1,9	+0,7	+0,2	-0,2	-0,8	-2,7	-1,1	-3,4
LW _{↑sfc}	+9,1	+8,9	+13,6	+9,0	+8,6	+11,5	+14,9	+9,2	+14,0
ΔLW _{sfc}	-6,1	-7,0	-12,9	-8,8	-8,8	-12,3	-17,6	-10,3	-17,4
Rn _{sfc}	-24,4	-25,3	-27,1	-25,7	-24,4	-27,6	-27,8	-21,2	-28,6
α	+6,0	+6,0	+6,0	+6,0	+6,0	+6,0	+6,0	+6,0	+6,0
T _S	+2,0	+1,7	+1,9	+2,4	+1,8	+2,2	+2,8	+2,1	+2,6
T _{sol}	+2,6	+2,1	+2,8	+2,6	+1,9	+2,3	+3,2	+2,4	+3,3
N	+4,9	+5,9	+2,6	+3,9	+3,9	+4,2	+1,7	+1,4	+3,6
SW _{↑top}	+6,3	+6,9	+2,9	+5,2	+4,7	+4,4	+0,4	+0,7	+1,2
LW _{↑top}	+0,0	+0,4	+2,2	+2,2	+3,7	+1,9	+7,0	+6,4	+6,0

Na estação seca, os impactos no balanço de radiação são mais significativos em todos os cenários. O aumento na radiação de onda longa emergente é mais intenso (13,6, 11,5 e 14 W m^{-2} para os cenários PROVEG, CEN2033 e DESFLOR, respectivamente), fazendo com que o impacto no saldo de radiação seja também mais acentuado. De modo similar acontece com a temperatura à superfície, cujo valor na estação seca foi aproximadamente 10% maior que na estação úmida. Esse resultado corrobora vários experimentos de desflorestamento realizados com MCGA, em que se observaram mudanças mais significativas na estação seca em decorrência do déficit de água no solo (Sud et al., 1996a; Hahmann e Dickinson, 1997). Nobre et al. (1991) observaram que a redução do saldo de radiação é governada pelo aumento do albedo, conduzindo a uma redução no saldo de radiação de onda curta a superfície, enquanto Hahmann e Dickinson (1997) observaram um aumento na radiação de onda curta incidente (+13 W m^{-2}) causada pela redução na cobertura de nuvens, cancelando o efeito do aumento do albedo. Esses resultados divergentes entre as simulações indicam a forte dependência que há das parameterizações de nuvens e da transferência radiativa.

Von Randow et al. (2004), avaliando o balanço de radiação à superfície em sítios de pastagem e de floresta em Rondônia para um período de três anos, observaram grande variação da radiação de onda curta refletida, com aumento de 55% no sítio de pastagem em relação a floresta. Além disso, um aumento de 4,7 W m^{-2} na perda de radiação de onda longa conduziu a uma redução de 13,3% no saldo de radiação. No presente estudo, foram observadas reduções da ordem de 15% no saldo de radiação, valor este próximo daquele encontradas por Von Randow et al. (2004); contudo, o aumento na radiação refletida simulada (44% na média dos cenários) está abaixo daquele observado.

Um aumento quase linear na temperatura à superfície, na radiação de onda longa e no saldo de radiação de onda longa (em todas as estações) foi observado quando se compararam os diferentes cenários de desflorestamento. As mudanças tornam-se mais significativas à medida que a área desflorestada é expandida, bem como os impactos são mais intensos na estação seca. Os resultados estão coerentes com aqueles mencionados nas seções anteriores, quando se avaliou o impacto no clima sazonal decorrente dos diferentes cenários de desflorestamento. Novas simulações com modelos globais e regionais, considerando diferentes cenários de desflorestamento, são necessárias para confirmar os resultados encontrados no presente estudo.

4. Conclusões

Os resultados obtidos mostraram que em todos os cenários de desflorestamento as mudanças mais significativas no balanço de radiação, de energia e na temperatura foram observadas na estação seca. Isso ocorreu principalmente devido à redução do comprimento das raízes na pastagem, fazendo com que menos água no solo esteja disponível para a evapotranspiração em situação de estresse hídrico. A mudança na nebulosidade depende do cenário. Reduções na radiação solar incidente nos cenários CEN2033 e PROVEG foram causadas pelo aumento na cobertura de nuvens em baixos níveis, que contribuíram para a redução no saldo de radiação à superfície. A maior redução no saldo de radiação de onda curta, devido ao aumento do albedo, foi o principal responsável pela redução do saldo de radiação nos cenários PROVEG e CEN2033; enquanto que, no cenário DESFLOR, o principal causador foi a maior redução na perda por radiação de onda longa. Diferente de outros estudos, não se observou o mecanismo de nuvens nesses cenários, em que o aumento da radiação solar refletida é balanceado pelo aumento na radiação solar incidente (redução na nebulosidade).

Referências

- Chou, S. C.; Tanajura, C.; Xue, Y.; Nobre, C. Validation of the coupled Eta/SSiB model over South America. **Journal of Geophysical Research**, v.107, n. D20, 8088, doi: 10.1029/2000JD000270, 2002.
- Correia, F. W. S. Modelagem do Impacto de Modificações da Cobertura Vegetal Amazônica no Clima Regional. São Jose dos Campos. 422 p. (INPE-14094-TDI/1077). Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.
- Costa, M; Foley, J. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentration on the climate of Amazônia. **Journal of Climate**, v.13, p. 18–34, 2000.
- Gandu, A. W.; Cohen, J. C. Simulation of deforestation in eastern Amazonia using a high-resolution model. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, n.(1-3), p. 123-135, 2004.
- Hahmann, A.; Dickinson, R. RCM2-BATS model over tropical South America: applications to tropical deforestation. **Journal of Climate**, v.10, p. 1944-1964, 1997.
- 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.
- Lean, J.; Rowntree, P. Understanding the sensitivity of a GCM simulation of Amazonian deforestation to the specification of vegetation and soil characteristics. **Journal of Climate**, v.10, p.1216 - 1235, 1997.
- Manzi, A.; Planton, S. A simulation of the Amazônia deforestation using a GCM calibrated with ABRACOS and ARME data. In: Gash, J. H. C.; Nobre, C. A.; Roberts, J. M.; Victoria, R. L. eds. **Amazonian Deforestation and Climate**. Chichester: John Wiley, 1996, p. 505-529.
- McGuffie, K.; Henderson-Sellers, A.; Zhang, H.; Durbridge, T.; Pitman, A. Global climate sensitivity to tropical deforestation. **Global Planet Change**, v. 10, p. 97-128, 1995.
- Nepstad, D.C., C.R. de Carvalho, E.A. Davidson, P.H. Jipp, P.A. Lefebvre, G.H. de Negreiros, E.D. da Silva, T.A. Stone, S.E. Trumbore, and S.Vieira.. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature** v. 372, p.666-69, 1994.
- Nobre, C. A.; Sellers, P. J.; Shukla, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v. 4, p. 957 - 988, 1991.
- Sestini, M. F.; Alvalá, R. C. S.; Mello, E. M. K.; Valeriano, D. M.; Chan, C. S.; Nobre, C. A.; Paiva, J. A. C.; Reimer, E. S. **Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos**. INPE, São José dos Campos, 2002. INPE-8972-RPQ/730.
- Sud, Y. C.; Walker, G. K.; Kim, H. L.; Linton, G. E.; Sellers, P. J.; Lau, W. K. Biogeophysical consequences of the tropical deforestation Scenario: A GCM simulation Study. **Journal of Climate**, v.9, p.3225-3247, 1996a.
- Sud, Y.; Yang, R.; Walker, G. Impact of in situ deforestation in Amazonia on the regional climate: General circulation model simulation study. **Journal of Geophysical Research**, v.101, n. D3, p.7095-7109, 1996b.
- Voltaire, A.; Royer, J. F. Tropical deforestation and climate variability. **Climate Dynamics**, v.22, p. 857-874, 2004.
- Von Randow, C.; Manzi, A.; Kruijt, B.; Oliveira, P.; Zanchi, F.; Silva, R.; Hodnett, M.; Gash, J.; Elbers, J.; Waterloo, M.; Cardoso, F.; Kabat, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical Applied Climatology**, v. 78, p.5-26, 2004.
- Walker, G.; Sud, Y.; Atlas, R. Impact of the Ongoing Amazonian deforestation on local precipitation: A GCM simulation Study. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.76, n.3, p.346-361, 1995.
- 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.