

Sensoriamento remoto aplicado à análise chuva-vegetação na Amazônia Central

Ian Marins Seixas

Centro Nacional de Monitoramento e
Alertas de Desastres Naturais

Eduardo da Silva Pinheiro

Universidade Federal do Amazonas

p. 635– 649

Disponível em:

<http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/90073>

Como citar:

SEIXAS, I. M.; PINHEIRO, E. S. Sensoriamento remoto aplicado à análise chuva-vegetação na Amazônia Central. *GEOUSP – Espaço e Tempo* São Paulo v. 18 n. 2 p. 635-649, 2014.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 3.0 License.

Sensoriamento remoto aplicado à análise chuva-vegetação na Amazônia Central

Resumo

Estudos indicam que o desmatamento da Amazônia pode influenciar a redução do fornecimento de umidade para atmosfera e, conseqüentemente, a precipitação. Este artigo apresenta os resultados da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para verificar o comportamento da precipitação e da temperatura de brilho do topo de nuvens (TBTN) em nove áreas, com cobertura variando entre desmatamento intenso a floresta praticamente inalterada. Os dados de precipitação foram obtidos do satélite TRMM 3B43, os de TBTN, do satélite Goes e os dados do desflorestamento, de Inpe (2011). Os resultados indicaram possíveis alterações nos padrões de chuva e de formação de nuvens de convecção profunda e tendências negativas de precipitação na área desmatada.

Palavras-chave: Amazônia. Sensoriamento remoto. Desmatamento. Precipitação. Clima.

Remote sensing applied to analyse rain-vegetation relationship in the Central Amazon, Brazil

Abstract

Studies indicate that deforestation in the Amazon implies a reduction in the supply of moisture to the atmosphere and consequently the precipitation. This paper presents the results of applying remote sensing techniques to compare trends in precipitation and Cloud Top Brightness Temperature (TBTN) in nine areas ranging from heavy clearing forest cover virtually unchanged. The precipitation data were obtained from the TRMM satellite - 3B43, the TBTN were obtained from the Goes satellite and the data were obtained from deforestation of Inpe (2011). The results indicate possible changes in rainfall patterns, the patterns of formation of deep convective clouds and negative trends in precipitation for the area with deforestation.

Keywords: Amazon. Remote Sensing. Deforestation. Precipitation. Climate.

Introdução

O clima amazônico é caracterizado como quente e úmido, com precipitação média de 2300 mm.ano⁻¹ e com umidade relativa do ar quase sempre acima dos 70% (Fisch; Marengo; Nobre, 1998). Esse clima bastante característico é determinado pela quantidade de radiação solar que chega à região e pela grande disponibilidade de água na região devido às florestas, rios e lagos (Fisch; Marengo; Nobre, 1998). A região amazônica é fundamental como reguladora do clima em escala global (Ross, 2003; Correia; Manzi, 2006).

Pesquisas indicam que a floresta amazônica tem uma série de interações com a atmosfera (Shukla; Nobre; Sellers, 1990; Salati; Nobre, 1991; Fisch; Marengo; Nobre, 1998; Oyama; Nobre, 2003; Correia; Manzi, 2006; Debortoli; Rodrigues Filho; Dubreuil, 2011; Butt; Oliveira; Costa, 2011; Garcia-Carreras; Parker, 2011), uma vez que fornece uma grande quantidade de calor e vapor d'água à atmosfera local e global, conferindo à floresta um papel importante como regulador dos balanços hídricos e de energia. Assim, alterações nas paisagens florestais da Amazônia podem ocasionar sérios problemas sociais e ambientais, como modificações na diversidade da região (Fearnside, 2006; Melo; Marengo; Soares, 2008), alterações na circulação geral, no transporte de umidade e no ciclo hidrológico (Correia; Manzi, 2006).

O processo de desmatamento na Amazônia brasileira ocorre concentrado na região da fronteira da Amazônia Legal (Alves, 2002), definida pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Ibama) como a região do Arco do Desmatamento, que é constituída pelos estados do Pará, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Rondônia, Acre, Tocantins e Amazonas (Kampel; Câmara, 2002).

Considerando o atual cenário de pavimentação da BR-319, entre as cidades de Manaus-AM e Porto Velho-RO e da expansão da produção de grãos no sul do estado do Amazonas (Lima; May, 2005; Macedo; Teixeira, 2009), tem-se como hipótese que a transformação do uso da terra deverá afetar os mecanismos de retroalimentação entre a atmosfera e a superfície, alterando, entre outros elementos, a circulação atmosférica local e concorrendo para a alteração dos padrões de precipitação, o que acarreta problemas ambientais e socioeconômicos.

O objetivo deste estudo foi analisar e compreender as relações existentes entre a alteração do uso da terra e os padrões de precipitação e nuvem em uma área localizada entre o sul do estado do Amazonas e o norte de Rondônia.

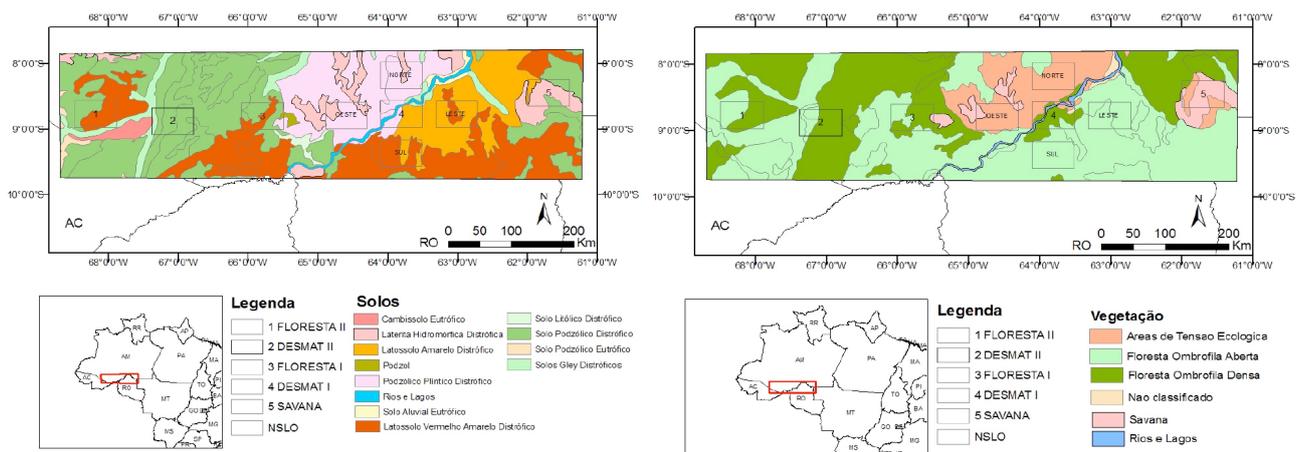
Material e métodos

A área de estudo compreende um polígono entre as coordenadas 7° 47' 6" a 9° 46' sul e 61° 12' 29" a 68° 41' 30" oeste, abrangendo o sul do estado do Amazonas e a porção norte do estado de Rondônia (Figura 1). A área abrange parte dos municípios de Boca do Acre, Lábrea, Canutama, Humaitá, Manicoré e Novo Aripuanã, situados no estado do Amazonas e os municípios de Porto Velho, Candeias do Jamari, Itapuã do Oeste, Cujubim e Alto Paraíso, localizados no estado de Rondônia.

De acordo com classificação de Ab'Saber (2006), o relevo predominante na região onde está inserida a área de estudo, é o domínio morfoclimático amazônico de terras baixas florestadas equatoriais.

Figura 1

Mapa de solos e vegetação da área de estudo



fonte: Compilado de MMA.

Os solos predominantes na área de estudo são do tipo latossolo e o podzólico (Figura 1). Segundo Campos (2009), os latossolos amarelos ou vermelho-amarelos ocupam uma área de 52,5% da região.

Segundo o MMA, a vegetação original (Figura 1) preponderante na área é heterogeneia e composta por floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta de terras baixas e áreas de tensão ecológica entre savana (cerrado) e floresta, campinaranas, além de formações pioneiras.

O clima na região amazônica como um todo é caracterizado como um todo é caracterizado como quente e úmido, apresentando ainda altos índices pluviométricos, sendo que o fator preponderante para a determinação do clima na região é a disponibilidade de energia no topo da atmosfera (Molion, 1987). A amplitude térmica sazonal varia de 1- 2°C e a temperatura média é de 26°C (Fisch; Marengo; Nobre, 1998).

Para as análises da dinâmica espaço-temporal (1997 a 2010) do processo de desmatamento foram utilizados os dados disponibilizados pelo Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal (Prodes Digital) (Inpe, 2011), do TM Landsat 5 com resolução espacial de 60 metros. Foi elaborado um mosaico com os dados de desmatamento referentes a cada uma das 52 órbitas/pontos que cobrem a área de estudo.

As estimativas da precipitação por sensoriamento remoto na área de estudo foram realizadas a partir dos dados Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) do produto 3B43, com 0,25° de resolução espacial e resolução temporal mensal, no período de 1998 a 2010 (Nasa, 2011).

Para a integração dos dados foram utilizados os nove áreas teste, compreendendo polígonos com área de 2.985,86 km², sendo um deles com desmatamento intenso, um de savana, um de desmatamento menos intenso e o restante de floresta (Tabela 1).

Para analisar as tendências de precipitação dentro dos nove polígonos de interesse foi aplicado o teste Mann-Kendall assim como em Fachine e Galvêncio (2010). As análises anuais e sazonais foram feitas com um universo amostral de 13 anos, com um nível de significância de 5%.

A temperatura de brilho do topo de nuvens para a área de estudo foi analisada com dados provenientes do satélite Geostationary Operational Environmental Satellite (Goes), do ano de 2008, com resolução temporal de 15 minutos e resolução espacial de 4 km². Esse procedimen-

to consistiu na verificação da temperatura de brilho de topo de nuvem, baseado no conceito de convecção profunda na troposfera superior (Vila et al., 2008). Embora fixar uma temperatura específica para identificar uma nuvem de convecção profunda oriunda de atividade convectiva seja arbitrária, diferentes estudos (Vila et al., 2008; Wang et al., 2009b) sustentam que a temperatura de brilho inferior a 245 K identifica satisfatoriamente um sistema convecção profunda produtor de precipitação e de 280 K para nuvens rasas (Wang et al., 2009b).

Para reduzir o efeito de borda foi verificado o valor de temperatura do pixel central de cada polígono, sendo contabilizado o número ocorrências de convecção profunda ($TBTN \leq 245$ K), convecção média ($245 < TBTN \leq 280$ K) e convecção rasa ($TBTN > 280$ K) (Wang et al., 2009b). A cada série de dados analisada foi realizado o estudo da estatística de primeira ordem (moda) numa escala mensal, com intuito de encontrar o valor de TBTN predominante em cada um dos nove polígonos estudados e comparados entre si.

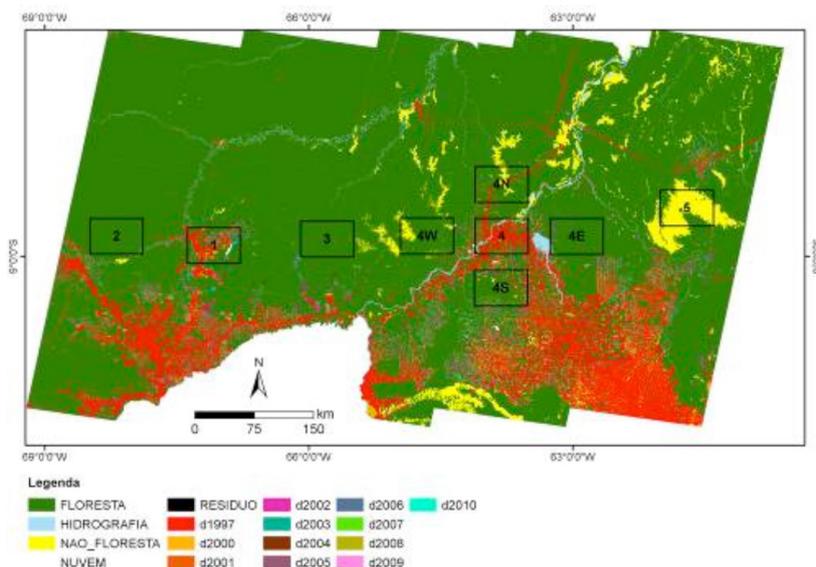
Resultados e discussão

○ desmatamento na área de estudo

De acordo com os resultados do Prodes (Inpe, 2011) a cobertura florestal da área de estudo vem sendo convertida para outro tipo de uso (Tabela 1). As manchas com desmatamento avançam sobre as áreas de floresta, o que demonstra a intensidade da mudança de uso da terra (Figura 2).

Figura 2

Desmatamento acumulado (1997 a 2010) para a área de estudo



fonte: Compilado de Inpe (2011).

No sul do Amazonas, nos municípios estudados (Tabela 1) mesmo que a área de desmatamento não corresponda em termos percentuais, grandes extensões de terra, é importante destacar que o processo de desmatamento sofreu um acréscimo nos últimos anos em especial na região do Arco do Desmatamento. Já os municípios localizados no norte

de Rondônia já contam com percentuais de desmatamento maiores segundo dados do Inpe (2011). A Tabela 1 apresenta a situação de desmatamento em cada um dos nove polígonos selecionados em estudo.

Tabela 1
Desmatamento por municípios e polígonos

nome	UF	área (km ²)	desmatamento até 2009 (km ²) e (%)	incremento (2008/09) (%)	polígono área = 2.985,86 km ²	desmatamento polígono (km ²)	(%)
Boca do Acre	AM	23.013	1.903,8 (8%)	20,8	(4) Desmat I	1.637,502	54,84
Porto Velho	RO	34.636	7.651,1 (22%)	97,7	(2) Desmat II	1.317,328	44,12
Canutama	AM	30.283	6,7 (3%)	13,8	(4S) Desmat I_sul	623,464	20,88
Lábrea	AM	69.669	3.151,0 (5%)	36,4	(4N) Desmat I_norte	268,626	8,99
Humaitá	AM	33.431	668,0 (2%)	5,2	(4E) Desmat I_leste	161,799	5,42
Manicoré	AM	48.687	1.499,4 (3%)	30	(4W) Desmat I_oeste	80,123	2,68
Novo Aripuanã	AM	41.459	874,6 (2%)	15,9	(3) Floresta I	3,739	0,13
Itapuã do Oeste	RO	4.131	863,1 (21%)	3,9	(1) Floresta II	7,057	0,24
Paraíso	RO	2.681	1.659,8 (62%)	11,4	(5) Savana	3,368	0,11

fonte: Compilado de Inpe (2011).

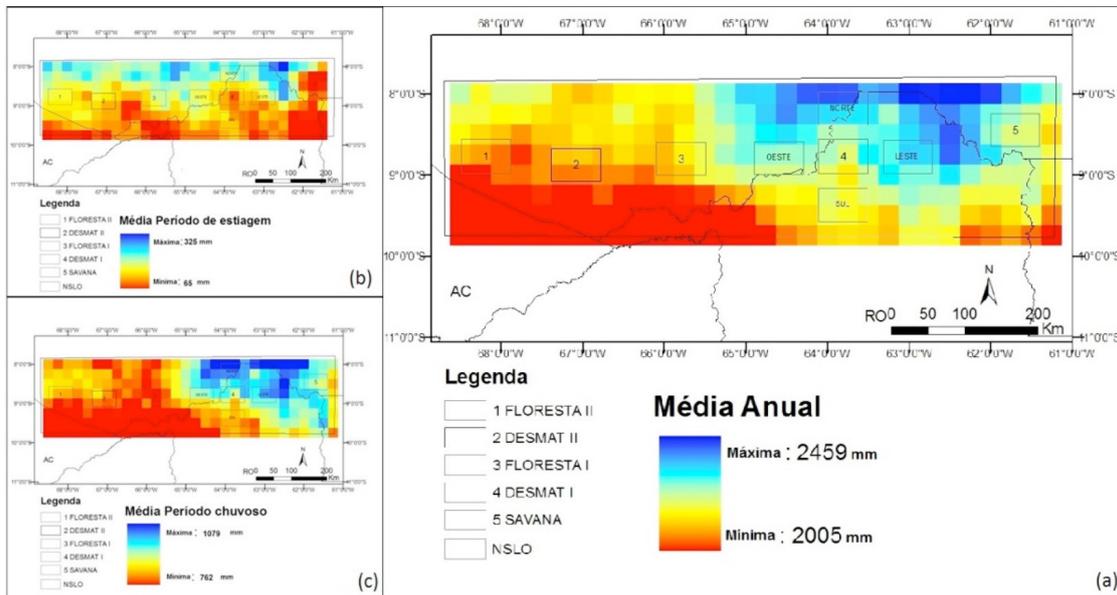
Os dados de desmatamento são acompanhados pelos incentivos dados aos assentamentos rurais (Fearnside, 2006) e avanço das atividades extrativistas e pecuária (Laurance, 2000; Sawyer, 2001; Lima; May, 2005; Fearnside, 2006). Segundo dados de IBGE (2010), o estado de Rondônia extraiu 35.591 m³ de madeira em forma de lenha e 1.511,456 m³ de madeira em toras. Em 2010, Rondônia contava ainda com um rebanho bovino que registrava um total de 11.842,073 cabeças de gado. Já no Amazonas, o extrativismo vegetal atingiu valores registrados de retirada de madeira (carvão vegetal) de 2.212 toneladas, 1.385,893 m³ de madeira em forma de lenha e 665.362 m³ de madeira em toras e a pecuária contava com um rebanho de 1.360,800 cabeças de gado (IBGE, 2010).

Análise da precipitação para as escalas temporais anual e sazonal (chuvoso (JFM) e estiagem (JFM))

Na área de estudo, os 13 anos de dados de precipitação estimada pelo satélite TRMM do produto 3B43 indicam que os valores médios de precipitação anual registram 2.232 mm.ano⁻¹, 155 mm.mês⁻¹ para o período de estiagem e 933 mm.mês⁻¹ para o período chuvoso (Figuras 2a, b e c).

Figura 3

Precipitação média anual (a), sazonal (período (b) estiagem e (c) chuvoso), analisada para a série de 13 anos para área de estudo

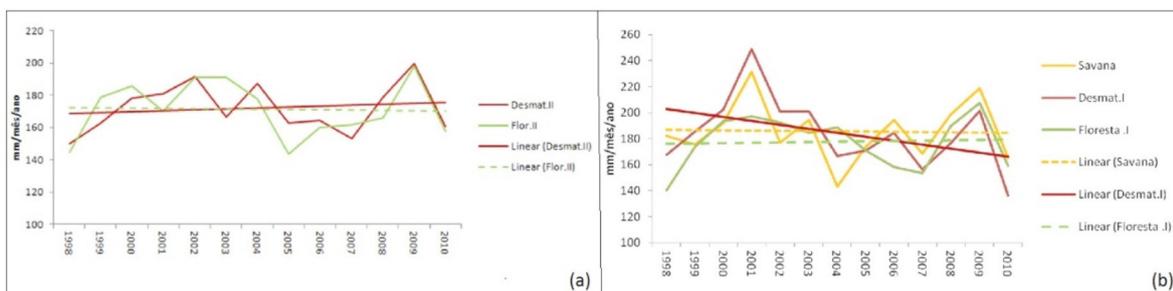


fonte: Processamento dos dados TRMM 3B43.

Na porção leste (polígonos 3, 4 e 5) da área de estudo, os valores médios de precipitação para o polígono com desmatamento a 54% da área (Desmat I), demonstraram tendência negativa, já a precipitação para os polígonos com floresta (Floresta I) e savana apresentaram um comportamento praticamente inalterado (Figura 3b).

Figura 4

Comportamento da precipitação ao longo da série temporal (mês-ano). a) polígonos Desmat II e Floresta II. b) Savana, Desmat I e Floresta I.



Os resultados encontrados através das análises dos dados TRMM 3B43, (Figuras 3, 4 e 5) indicaram tendências negativas de precipitação para a área com intenso desmatamento (Desmat I), nas escalas temporais anual e sazonal (chuvoso e estiagem). Já as áreas (Floresta I, II e Savana) com níveis inferiores de desmatamento se comparado com o polígono (Desmat I), apresentaram comportamento praticamente inalterado.

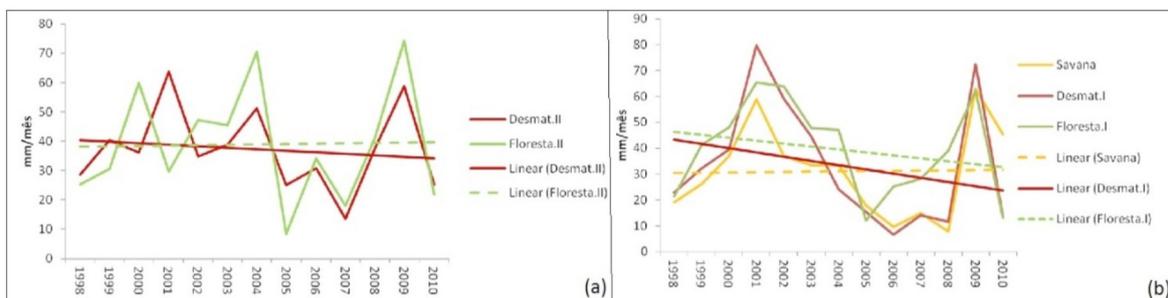
O teste de estatístico de Mann-Kendall, com nível de significância de 5%, apresentou para a área com intenso desmatamento (Desmat I) tendência negativa de precipitação em escala temporal anual (p -valor = 0,043). O polígono Desmat II com 44% de área desmatada apresentou tendência de aumento de precipitação para as escalas anual e sazonal chuvoso (Figuras 3 e 5) e decréscimo para o período de estiagem (Figura 4).

Em escala anual, comparativamente, os registros de precipitação estimada por satélite apresentou comportamento diferente sobre as áreas Desmat I e Floresta I (Figura 3b), que registraram tendências distintas de precipitação anual, sendo que o polígono Desmat I apresentou tendência decrescente de precipitação de -39,5 mm (-19,2%) ao longo da série observada se comparado com o polígono Floresta I que apresentou tendência positiva de 3,8 mm (2,1%). Ao compararmos o polígono Desmat I com o polígono Savana V, observamos que na área de savana a tendência de precipitação ao longo da série temporal não apresentou alteração (Figura 3b).

Ainda na escala anual, as áreas Desmat II e Floresta II (Figura 3a) apresentaram registros e tendências diferenciadas de precipitação anual, sendo que o polígono Desmat II apresentou variação positiva maior de precipitação se comparado com o polígono Floresta II. A variação da precipitação para o polígono (Desmat II) foi de 7,9 mm, enquanto no polígono Floresta II a variação foi de 2,6 mm, o que implica aumentos de precipitação da ordem de 4,7% e 1,5%, respectivamente.

Figura 5

Comportamento da precipitação ao longo da série temporal (estiagem-JJA).
a) polígonos Desmat II e Floresta II. b) Savana, Desmat I e Floresta I.



As análises das médias de precipitação para o período de estiagem (JJA) (Figura 4b) demonstraram que o polígono Desmat I apresentou tendência negativa, já o polígono Floresta I apesar de não ter apresentado significância estatística, apresentou tendência de diminuição da precipitação. A variação da precipitação para o polígono Desmat I foi de -21,4 mm.mês⁻¹ para o trimestre, enquanto no polígono Floresta I a variação foi de -14,8 mm.mês⁻¹, o que implica reduções de precipitação da ordem de -47,5% e 31,1%, respectivamente.

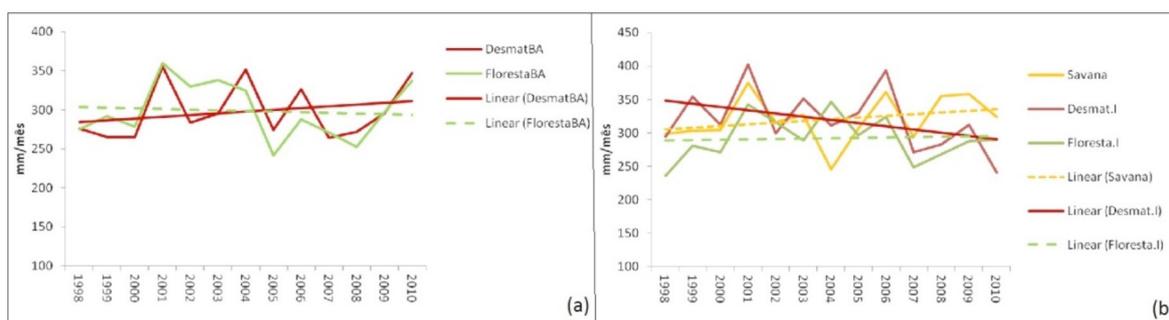
Ao comparar o polígono Desmat I com o polígono Savana V (Figura 4b), observa-se que na área de savana, a precipitação ao longo da série apresentou tendência positiva, sendo a variação de 1,5 mm.mês⁻¹ o que implica em aumento da ordem de 4,9%.

Na porção oeste da área de estudo, os valores médios de precipitação para o polígono com desmatamento a 44% da área Desmat II demonstraram variação positiva, já a variação da precipitação para o polígono Floresta II não teve a mesma proporção (Figura 4a).

As áreas Desmat II e Floresta II apresentaram registros e tendências diferenciadas de precipitação para o trimestre (JJA), sendo que o polígono Desmat II apresentou variação maior de precipitação se comparado com o polígono Floresta II. A variação da precipitação para o polígono Desmat II foi de $-6,8 \text{ mm.mês}^{-1}$, enquanto no polígono Floresta II a variação foi de $1,8 \text{ mm.mês}^{-1}$, o que implica uma redução de precipitação no polígono Desmat II e um aumento no polígono Floresta II da ordem de $-16,5\%$ e $4,8\%$, respectivamente.

Figura 6

Comportamento da precipitação ao longo da série temporal (chuvoso-JFM). a) polígonos Desmat II e Floresta II. b) Savana, Desmat I e Floresta I.



As análises das médias de precipitação para o período de estiagem (JJA) (Figura 5b) demonstraram que o polígono Desmat I apresentou tendência negativa, já o polígono Floresta I não apresentou tendência. A variação da precipitação para o polígono Desmat I foi de $-63,8 \text{ mm.mês}^{-1}$ para o trimestre, enquanto no polígono Floresta I a variação foi de $6,6 \text{ mm.mês}^{-1}$, o que implica reduções de precipitação da ordem de $17,3\%$ e $2,3\%$, respectivamente.

Ao comparar o polígono Desmat I com o polígono Savana V (Figura 5b), observa-se que na área de savana, a precipitação ao longo da série apresentou tendência positiva variando (Savana V) a variação foi de $32,5 \text{ mm.mês}^{-1}$ ($10,7\%$).

As áreas Desmat II e Floresta II (Figura 5a) apresentaram registros e tendências diferenciadas de precipitação para o trimestre (JJA), sendo que o polígono Desmat II apresentou variação maior de precipitação se comparado com o polígono Floresta II. A variação da precipitação para o polígono Desmat II foi de $28,5 \text{ mm.mês}^{-1}$, enquanto no polígono Floresta II a variação foi de $-11,4 \text{ mm.mês}^{-1}$, o que implica um aumento de precipitação no polígono Desmat II e um diminuição no polígono Floresta II da ordem de $10,1\%$ e $-3,7\%$, respectivamente.

As tendências negativas de precipitação (feedback positivo) encontradas até o momento podem estar associadas a mecanismos de atuação local sugeridos por Sellers et al. (1997) e Pitman e Narisma (2005), tais como: o mecanismo de Albedo, mecanismo de evapotranspiração e mecanismo de raízes. Nesse sentido, os resultados encontrados indicam que a conversão da floresta em pastagem pode alterar o balanço de energia local, refletindo-se em reduções do vapor d'água e energia disponível para o processo de convecção local.

Num estudo de modelagem climática, Salati e Nobre (1991) avaliaram as possíveis alterações locais no clima como impacto do desmatamento. Seus resultados sugerem que o desmatamento implica mudanças no albedo e nos balanços de energia e água. Assim, a infiltração de água no solo

tende a diminuir, aumenta o escoamento superficial no período de chuva e se reduz o escoamento superficial no período de estiagem. O trabalho citado sugere ainda uma redução de 10 a 20% da evapotranspiração, induzida pelo aumento do albedo, o que reduz a precipitação em 10%.

No presente trabalho, os resultados apresentados assemelham-se aos obtidos por Debor-toli, Rodrigues Filho e Dubreuil (2011), que encontraram tendências negativas de precipitação para as áreas desmatadas em região ao norte do Mato Grosso e regiões próximas a Rondônia.

Butt, Oliveira e Costa (2011) fizeram um estudo observacional aplicando análises esta-tísticas na precipitação com dados de 25 anos oriundos de estações meteorológicas, também encontraram alterações nos padrões de precipitação no estado de Rondônia, associado ao prolongamento da estação de estiagem e atraso do início da estação chuvosa.

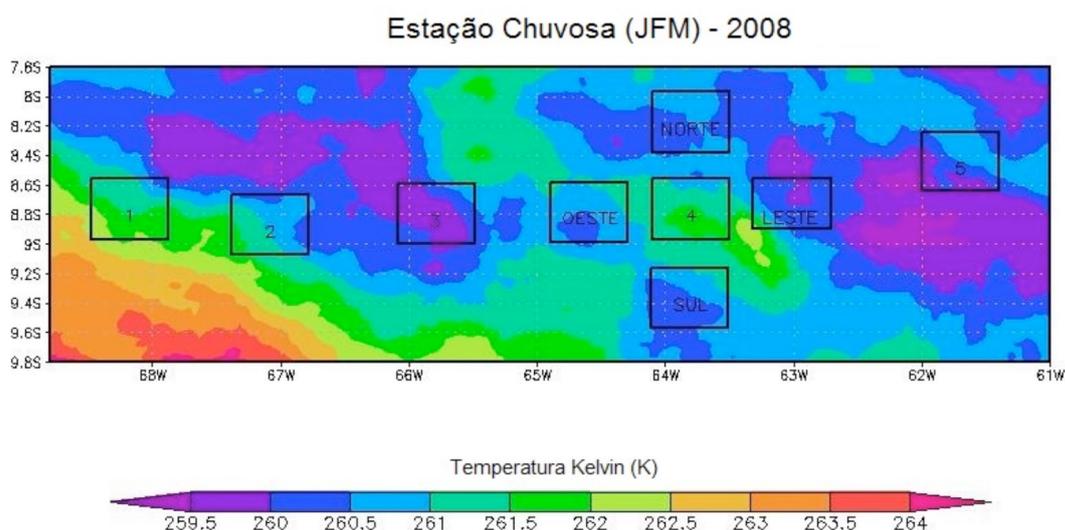
Temperatura do brilho do topo das nuvens (Goes)

Média sazonal da TBTN – estação chuvosa

Os resultados para a média trimestral (JFM) (Figura 6), período da estação chuvosa na área de estudo, a temperatura do brilho do topo de nuvem apresentou valores entre 259 e 264 K. Neste trimestre, a TBTN do polígono de Desmat I (4) foi de aproximadamente 262 K, respondendo de maneira diferente quando comparadas com a área de floresta e savana (polígonos 3 e 5, respectivamente) cujas TBTNs registraram ~259 K. Ainda é possível verificar neste estudo que as regiões do entorno do polígono de desmatamento (norte, sul, leste e oeste), apresentaram condições de nuvens mais frias, demonstrando, portanto que a região de desmatamento se configura como uma região com nuvens mais quentes em relação as suas adjacências.

Figura 7

Média trimestral (JFM) da temperatura do topo de nuvem



fonte: Processamento de dados Goes.

Comparando o polígono 1 (Floresta II) com o polígono 2 (Desmat II) observa-se que o polígono Desmat II apresentou valores de TBTN menores que o polígono Floresta II. É possível destacar também que diante de diferentes porcentuais de desmatamento os padrões de

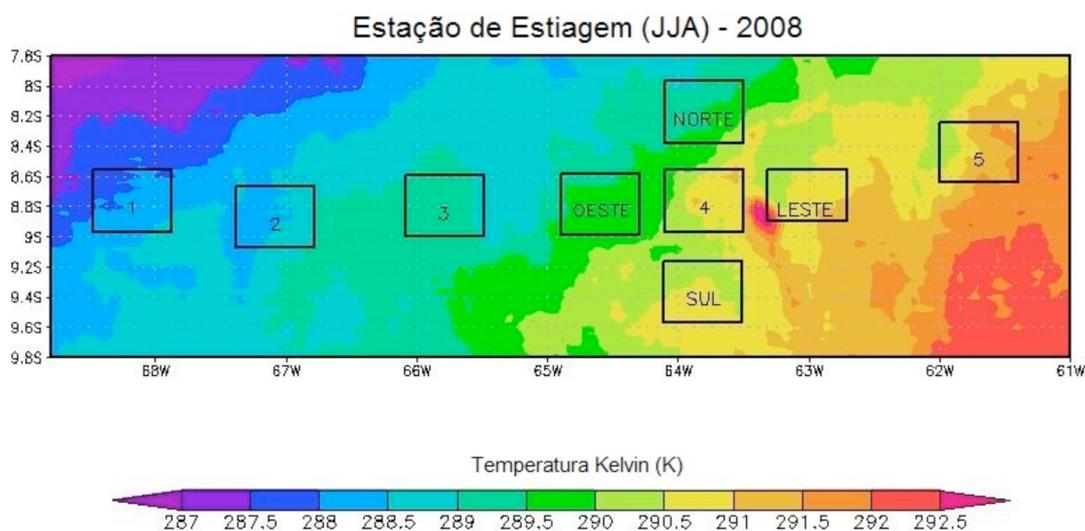
TBTN apresentam variações. De modo que foram encontrados no polígono Desmat II valores de TBTN menores que os do polígono Desmat I. Esses resultados sugerem que, dependendo do percentual de área desmatada, pode-se desencadear mecanismos de mesoescala que ocorrem para a atividade convectiva local.

Média sazonal da TBTN – estação seca

Os resultados para a média trimestral (JJA), período da estação seca na área de estudo, a temperatura do brilho do topo de nuvem apresentou valores entre 287 e 293 K. Nesse trimestre, a TBTN do polígono 5 apresentou os maiores valores, aproximadamente 292 K, enquanto o menor valor, ~287 K, foi encontrado no polígono 1 (Figura 8).

Figura 8

Média trimestral (JJA) da temperatura do topo de nuvem



fonte: Processamento de dados Goes.

É possível verificar que sobre a região de estudo nesse trimestre do ano, a TBTN se apresenta em forma de gradiente no sentido oeste-leste, acompanhando a disponibilidade de vegetação e energia disponível para convecção que decresce nesse mesmo sentido (floresta fechada-transição-savanas), consistentemente com os estudos de (Wang et al., 2009a).

Média mensal da TBTN para o ponto central

A TBTN apresentou variação temporal de forma que os valores mínimos médios de 255 K apareceram no período da estação chuvosa (JFM) e os valores máximos, no período de estação seca (JJA). Comparando as médias de TBTN, foi possível verificar que as linhas de TBTN não variam de um polígono para outro nessa escala temporal, evidenciando que, para encontrar sinais de processo de convecção profunda, seria necessário refinar essa escala.

Esses resultados não revelam os fenômenos de convecção profunda, haja vista que há um predomínio de nuvens rasas atuantes nesta escala temporal, neste sentido, apresentamos os resultados da moda mensal ao longo do ano, a fim de encontrar o valor de TBTN predominante em cada polígono.

O resultado da moda mensal ao longo do ano apresentou maior (menor) variabilidade TBTN no período da estação chuvosa (seca) para todos os polígonos, acompanhando os períodos de maior (menor) instabilidade atmosférica na região de estudo como um todo.

Durante o período chuvoso a TBTN variou entre 215 a 280 K e no período de estiagem, a TBTN predominante registrou 290 K para todos os nove polígonos. Esse resultado sugere que, devido à predominância da TBTN de 290 K no período de maio a outubro, predomina a convecção rasa no período seco, vindo a se refletir no resultado da média anual.

Os resultados apresentados estão consistentes com os de Durieux, Machado e Laurent (2003), que realizaram um estudo observacional para um período de dez anos analisando o comportamento da cobertura de nuvens sobre uma área de pastagem (10% e 20% de área desmatada) e sobre área de floresta na região do Arco do Desmatamento. Naquele estudo, os autores concluíram que uma média anual de cobertura de nuvens para diferentes áreas (floresta X pastagem) não permite fazer conclusões sobre o impacto do desmatamento sobre as nuvens oriundas de convecção profunda. As mudanças mais significativas no comportamento da cobertura de nuvens são percebidas na escala sazonal e nos ciclos diurnos.

Número ocorrências de convecção profunda

No intuito de encontrar um sinal da variação da atividade convectiva profunda na área de estudo, foi contabilizado o número de ocorrências de convecção profunda ($TBTN \leq 245K$), de convecção média ($245 \leq TBTN \leq 280$) e de convecção rasa ($TBTN \geq 280$) (Wang et al., 2009b), nesse sentido, pode ser confirmada a hipótese que a variação desse número de registros em cada polígono pode refletir na variabilidade de chuva local, conforme sugerido nos mecanismos de *feedback* atuantes na mudança do uso da terra, conforme (Shukla; Nobre; Sellers, 1990; Sellers et al., 1997; Pitman; Narisma, 2005). A Tabela 2 apresenta os números de ocorrências de temperatura de topo de nuvens para um ponto central em cada polígono ao longo do ano.

Tabela 2

Polígonos pesquisados, intervalos de temperatura e total de registros dentro de cada intervalo

polígono/TBTN	< 245 K	K < TBTN < 280 K	> 280 K
Floresta II	3.360	8.595	11.384
Desmat II	3.637	8.428	11.261
Floresta I	3.736	8.333	11.244
Desmat I	3.596	8.247	11.253
Savana	3.830	8.525	10.822
norte	3.902	8.417	10.948
sul	3.593	8.220	11.496
leste	3.707	8.522	11.107
oeste	3.770	8.283	11.063

fonte: Goes.

Para a porção oeste da área de estudo, o polígono Desmat II apresentou maior número de ocorrências (277 registros a mais) de convecção profunda quando comparado ao polígono Floresta II, é importante salientar que para os outros tipos de convecção (média e rasa) foram notados pequenas variações do número de ocorrências para os dois polígonos comparados.

Para a porção leste da área de estudo, o polígono Desmat I apresentou menor número de ocorrências de convecção profunda (-140 registros) quando comparado aos polígonos Floresta I e menos 234 registros quando comparado com o polígono Savana, é importante salientar que para os outros tipos de convecção (média e rasa) foram notados pequenas variações do número de ocorrências de uma região para outra.

Fazendo uma breve comparação entre o polígono Desmat I, com a sua região de entorno, verificou-se que o polígono Desmat I apresentou menor número de ocorrências de convecção profunda quando comparado aos polígonos norte, leste e oeste e acompanhando o padrão apresentado na porção sul, para os outros padrões de convecção foram notados pequenas variações do número de ocorrências de uma região para outra.

Esses resultados são indicativos de que a cobertura de nuvens responde de maneira diferenciada para os diferentes tipos de coberturas de solo. Os resultados podem indicar que a cobertura de nuvens já está respondendo as alterações no uso do solo, no caso conversão da floresta em pastagem.

Conclusão

Na análise dos possíveis impactos do desmatamento na precipitação, verificou-se que, na porção leste da área de estudo (polígonos 3, 4 e 5), os dados do TRMM 3B43 indicaram uma tendência de redução da precipitação no polígono Desmat I (54% de área desmatada) nas escalas sazonais chuvosa e estiagem. Os polígonos Savana e Floresta I não apresentaram variações na tendência de precipitação no período sazonal, mas o Floresta I apresentou tendência negativa de precipitação no período de estiagem.

Em todos os polígonos da porção leste da área de estudo, as médias estatísticas de TBTN não se mostraram uma boa metodologia para representar a atividade de convecção profunda, e não foi possível tirar conclusões sobre o impacto do desmatamento na área de estudo. A redução de convecção profunda foi mais bem visualizada no número de registros de temperatura abaixo de 245 K. O polígono Desmat I apresentou menos ocorrências de TBTN < 245 K, o que dá indícios de que esteja havendo menor atividade convectiva ou uma redução do tempo de permanência de nuvens profundas sobre o polígono. Esses resultados sugerem que esteja em curso o processo de *feedback positivo* na área de desmatamento intenso, com redução da atividade convectiva profunda acompanhada da redução da precipitação.

Para os resultados de TBTN na porção oeste da área de estudo, as médias de temperatura apresentaram a mesma perda de sinal de atividade de convecção profunda verificada na porção leste. O sinal de convecção foi mais bem visualizado no registro de ocorrências de TBTN < 245 K, que apresentou mais ocorrências que o polígono Floresta II.

Na porção oeste da área de estudo, os dados indicaram aumento de precipitação no polígono Desmat II (44% de área desmatada) nas escalas de tempo anual e sazonal (período chuvoso), na medida em que a precipitação no polígono Floresta II sofreu poucas alterações

nas mesmas escalas temporais. No período de estiagem, ambos os polígonos (Desmat II e Floresta II) apresentaram tendência negativa de precipitação. Esses resultados sugerem que esteja em curso um *feedback* negativo nas escalas de tempo anual e sazonal (período chuvoso) e *feedback* positivo no período de estiagem.

Os resultados encontrados não nos permitem dar respostas conclusivas a respeito de possíveis alterações nos padrões de precipitação causados pelo desmatamento. Os dados de sensoriamento remoto da atmosfera disponíveis pelo monitoramento da precipitação (13 anos para o TRMM-3B43) não nos permitem traçar uma normal climatológica. Para traçar um padrão climatológico de uma dada região, seriam necessários ao menos 30 anos (série de tempo que permite traçar uma representação do comportamento estatístico da atmosfera) de dados de satélite. Mas o monitoramento permite acompanhar (mesmo de maneira não conclusiva) as possíveis alterações nos padrões de precipitação e nuvens motivadas pelo processo de desmatamento.

Referências

- AB'SABER, A. *Domínio morfoestruturais e morfoclimáticos*. Série Mapas, IBGE, 2006.
- ALVES, D. S. Space time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, p. 2903-2908, 2002.
- BUTT, N.; OLIVEIRA, P. A. D.; COSTA, M. H. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondônia, Brazil. *Distribution*, n. 116, p. 2-9, 2011.
- CAMPOS, M. C. C. *Pedogeomorfologia aplicada à ambientes amazônicos do médio rio madeira pedogeomorfologia aplicada à ambientes*. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- CORREIA, F. W. S.; MANZI A. Impacto das modificações da cobertura vegetal no balanço de água na Amazônia: um estudo com modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3, p. 1-15, 2006.
- DEBORTOLI, N.; RODRIGUES FILHO, S.; DUBREUIL, V. Deforestation vs. changes in the Amazonian forest of northern Mato Grosso state. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15., 2001, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, 2011. p. 2944-2951.
- DURIEUX, L.; MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H. The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation. *Remote Sensing of Environment*, v. 86, n. 1), p. 132-140, 2003.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.
- FECHINE, J. A. L.; GALVINÍCIO, J. D. Aplicação do teste de Mann-Kendall na análise de tendências climáticas em anos de El Niño, 2010. Não publicado.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 2, p. 101-126, 1998.

- GARCIA-CARRERAS, L.; PARKER, D. J. How does local tropical deforestation affect rainfall? *Geophysical Research Letters*, v. 38, n. 19, oct. 2011. p. 1-6.
- IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br/shapes/>>. Acesso em: 27 nov. 2014.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estatísticas dos estados, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: dez. 2010.
- INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Projeto Prodes. Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite, 2011. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em: mar. 2011.
- KAMPEL, S. A.; CÂMARA, G. Análise exploratória das relações espaciais do desmatamento na Amazônia legal brasileira. In: GIS Brasil 2002, 2002, Curitiba. Anais... Curitiba, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/silvana_gisbrasil2000.pdf>. Acesso em: jun. 2008.
- LAURANCE, W. F. Mega-development trends in the Amazon: implications for global changes. *Environmental Monitoring and Assessment*, n. 61, p. 113-122, 2000.
- LIMA, M. S. B.; MAY, P. H. A expansão da fronteira agrícola no sul do Amazonas e sua relação com o incremento do desmatamento nas áreas de cerrados e campos naturais. In: ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO, 6., 2005, Brasília, DF. *Anais...* Brasília, DF, 2005.
- MACEDO, M. A.; TEIXEIRA, W. Sul do Amazonas. Nova fronteira agropecuária? O caso do município de Humaitá. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 25-30 abr. 2009, Natal. *Anais...* Natal: Inpe, 2009. p. 5933-5940.
- MELO, M. L.; MARENGO, J. A.; SOARES, W. Clima futuro da Amazônia a partir dos cenários do modelo regional ETA-CCS. In: CONFERÊNCIA CIENTÍFICA INTERNACIONAL: Amazônia em Perspectiva Ciência, Integrada para um Futuro Sustentável, 2008, Manaus. *Anais...* Manaus: LBA/Geoma/PPBio, 2008.
- MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Download de dados geográficos. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: maio 2011.
- MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2 n. 1, p. 107-117, 1987.
- NASA. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Goddard Space Flight Center. *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*, 2011. Disponível em: <<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 27 nov. 2014.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. *Geophysical Research Letters*, v. 30, n. 23, p. 2199-2203, 2003.

- PITMAN, A.; NARISMA, G. The role of land surface processes in regional climate change: a case study of future land cover change over south western Australia. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 89, n. 1-4, p. 235-249, 2005.
- ROSS, J. L. S. *Geografia do Brasil*. São Paulo: Edusp. 2003.
- SALATI, E.; NOBRE, C. A. Possible climatic impacts of tropical deforestation. *Climatic Change*, v. 19, n. 1-2, p. 177-196, 1991.
- SAWYER, D. Evolução demográfica, qualidade de vida e desmatamento na Amazônia. *Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2001.
- SELLERS, P. et al. Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere. *Science*, v. 275, n. 5299, p. 502-509, jan. 1997.
- SHUKLA, J.; NOBRE, C. A.; SELLERS, P. Amazon deforestation and climate change. *Science*, v. 247, p. 1322-1325, mar. 1990.
- VILA, D. A. et al. Forecast and tracking the evolution of cloud clusters (ForTraCC) using satellite infrared imagery: methodology and validation. *American Meteorological Society*, v. 23, p. 233-245, 2008.
- WANG, J. et al. Impact of deforestation in the Amazon basin on cloud climatology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, n. 10, p. 1-5, 2009a.
- WANG, J. et al. Why clouds follow deforestation over the Amazon? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, n. 10, p. 3670-3674, 2009b.