

Características e tendências da precipitação estimada por satélite sobre uma região de intenso desmatamento na Amazônia Legal: Uma comparação entre áreas de Floresta e Desmatadas

Rômulo Augusto Jucá Oliveira¹

Carlos Frederico de Angelis²

^{1,2}Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 01 - 12630-000 – Cachoeira Paulista - SP, Brasil

¹romulo.augusto@cptec.inpe.br, ²carlos.angelis@cptec.inpe.br

Abstract. This study aimed to analyze qualitatively and quantitatively the spatial-temporal of rainfall and their trends over an area (grid of 2.5 ° lat. X 2.5 ° lon. between 5.5 ° to 8 ° S and 53 S ° W to 50.5 ° W) with a combination of forested and deforested areas is well over the past 10 years, according to estimates by PRODES Digital of the INPE. This area is located over the São Félix do Xingú city, the eastern Amazon (Pará state). In order to identify the distinct characteristics of these areas (forest and pasture) in view of the topography, based on data from SRTM, was selected two spots (pixels of 0.25 ° x 0.25 °) on a forest area and the other on a deforested area. With this, we used the estimates of accumulated daily precipitation (3B42_V6 algorithm) of the TRMM satellite during the period from January 1998 to December 2009 and, with respect to deforestation data, the annual estimates were used PRODES Digital Project during the period from 2000 until 2008. In general, it was noted that deforestation appears to exert a certain influence on the behavior of precipitation, such as number of days without rain (Forest > deforestation); the daily, frequencies, intensities (deforestation > Forest), monthly, annual accumulated and their trends.

Palavras-chave: Rainfall estimation, Deforestation, Amazon, Estimativa de Precipitação, Desmatamento, Amazônia.

1. Introdução

O clima amazônico, caracterizado por um complexo sistema de interações de diversos fenômenos meteorológicos, é determinado pela nebulosidade e o regime de precipitação (Fisch et al., 1998). A precipitação na Amazônia apresenta uma grande variabilidade tanto espacial, quanto temporal (Figueroa e Nobre, 1990). Entretanto, a topografia e os sistemas de grandes rios também exercem um papel importantíssimo nos padrões anômalos de precipitação.

Os pluviômetros espalhados pela superfície terrestre coletam informações precisas da precipitação, no entanto esta é válida somente para uma pequena área localizada no entorno do dispositivo. O monitoramento detalhado sobre extensas áreas exige a existência de uma densa rede de pluviômetros, o que em certos casos é inviabilizado em regiões de difícil acesso como a floresta Amazônica e regiões montanhosas (Angelis et al., 2004). Tendo em vista esta dificuldade, estimativas de precipitação por satélites vêm, alternativamente, para contribuir com um aprimoramento no conhecimento do regime da precipitação, através de uma análise mais detalhada, sobre a região.

E tendo em vista que os processos de mudança do uso e na cobertura da terra entraram nas discussões globais de meio ambiente há algumas décadas, a partir do conceito de que processos que ocorrem na superfície do planeta influenciam o clima (Valeriano et al., 2005). A partir disto e devido a importância de se estudar a interação entre floresta e clima, Durieux et al. (2003), Machado et al. (2004), Negri et al. (2004) e Wang et al. (2009), mostraram que em áreas desmatadas sobre a Amazônia, observaram-se alterações no padrão de nebulosidade e, conseqüentemente, na precipitação sobre as localidades em estudo, concordando com os estudos de Cutrim et al (1995) e com as simulações numéricas de Silva Dias et al. (2002).

O desmatamento, que vem apresentando-se bastante acentuado (com determinadas variações a cada ano) sobre diversas áreas da Amazônia Legal. Somente no ano de 2008, foi detectada uma taxa de 12.911 km²/ano, para toda a Amazônia, segundo as estimativas do

PRODES. Desta forma, tal trabalho tem como objetivo analisar a distribuição espaço-temporal da precipitação e suas tendências através de dados advindos de satélites (algoritmo 3B42 do *TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission*), sobre uma área com elevadas taxas de desmatamento na Amazônia Legal, detectada pelo Projeto *PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia) Digital* do *INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)*.

2. Metodologia de Trabalho

Neste trabalho, utilizaram-se as estimativas do satélite TRMM, que é equipado com um radar meteorológico, um sensor de microondas passivo e um sensor óptico no infravermelho (para mais detalhes acesse: <http://trmm.gsfc.nasa.gov>). Especificamente, foram usados os acumulados diários de janeiro de 1998 a dezembro de 2009 do algoritmo 3B42 Versão 6 (3B42_V6) (Huffman et al. 2007).

O 3B42_V6, é obtido a partir da combinação dos acumulados mensais (de 3 em 3 horas) de sua Versão Real Time (3B42_RT). Esta versão é produzida em tempo quase real e consiste na combinação dos sensores do TRMM (microondas passivo e infra-vermelho) para estimar a precipitação. O 3B42_V6 também combina dados de superfície observados e acumulados mensais de precipitação provenientes do *CAMS (Climate Assessment and Monitoring System)* e *GPCP (Global Precipitation Climatology Center)*. A saída dos dados 3B42_V6 mostra o valor da precipitação a cada 3 horas (em mm/hora), em cada ponto de grade cuja resolução espacial é de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, para regiões compreendidas entre 50° Norte-Sul. Mais detalhes sobre o algoritmo podem ser vistos em <http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b42.html>.

Com relação à área de estudo, foi considerada uma área (grade de $2,5^\circ$ de latitude por $2,5^\circ$ de longitude, entre 5.5° S a 8° S e 53° W a 50.5° W), sobreposta aos redores do município de São Félix do Xingú, à chamada “Terra do Meio”, localizado no Estado do Pará (Leste da Amazônia Legal) (Figura 1-a). Tal área apresenta diferentes tipos de topografia (Figura 1-b), conforme os dados do *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)*, com um histórico de elevadas taxas de desmatamento, principalmente nos últimos 10 anos, segundo as estimativas do Projeto PRODES e as estatísticas do *SAD (Sistema de Alerta de Desmatamento)* do *IMAZON (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia)* (Souza Júnior et al., 2009).

Para a análise do comportamento/evolução do desmatamento sobre a área em estudo, utilizaram-se os dados do Projeto PRODES Digital, que consiste num método de processamento computacional de imagens, relacionado ao mapeamento e à estimativa anual (a partir de 2000) de desflorestamento sobre a Amazônia Legal. Esta estimativa é feita através da interpretação de imagens do Sensor *TM (Thematic Mapper)* do satélite Americano Landsat (cerca de 230 cenas/ano) de áreas desflorestadas por corte raso e superiores a 6,25 ha, estimando a extensão do desmatamento bruto, referente a uma data base (CÂMARA et al., 2006). Mais sobre o PRODES Digital pode ser visto em: www.dpi.inpe.br/prodesdigital/. Neste trabalho foi utilizado o período de 2000 até 2008, tendo como base o ano de 1997. A resolução espacial dos dados é de 60 m por 60 m.

Primeiramente, com os dados do Projeto PRODES Digital, foi realizado um levantamento (espacial) do desmatamento durante o período selecionado, identificando as partes mais desmatadas dentro da Caixa. Sendo assim, foram selecionados dois pontos (pixels de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$), um sobre uma área de Desmatada e o outro sobre uma área de Floresta, levando em conta a topografia destas. E a partir das estimativas do algoritmo 3B42_V6, buscou-se observar o comportamento interanual, anual, mensal e diário da precipitação da precipitação sobre estas.

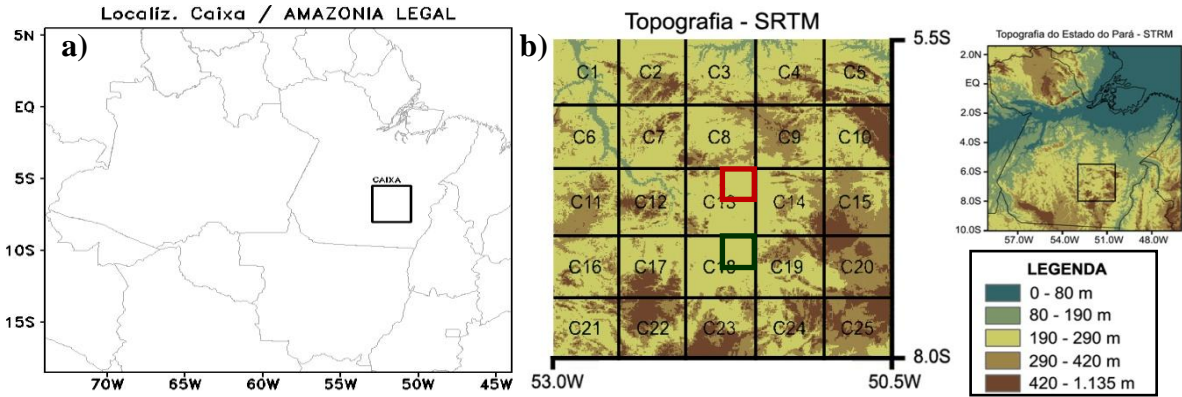


Figura 1 - a) Localização da Caixa em estudo sobre a Amazônia Legal e b) Topografia STRM das sub-grades e do Estado do Pará.

3. Resultados e Discussão

3.1 Desmatamento PRODES Digital

Tendo em vista as taxas/estimativas de desmatamento anual (desde 2000) para toda a Amazônia Legal, disponíveis através do Projeto PRODES Digital, conforme descritas na metodologia, a Figura 2 apresenta o levantamento espacial do desmatamento a partir do ano de 2000 até o ano de 2008, tendo como base o ano de 1997, ou seja, o desmatamento ocorrido até 1997, para a Caixa em estudo. Nota-se em geral, que o maior predomínio de áreas florestadas, em comparação com as demais classes, vem perdendo espaço para áreas e desmatadas, ou seja, o desmatamento evoluiu de forma intensa durante o período em estudo, com alguns polígonos até mesmo sobre áreas de proteção, neste caso Terras Indígenas (aos redores da caixa C10 e entre as caixas C16-19 e C21-24), vistos na Figura 2-b.

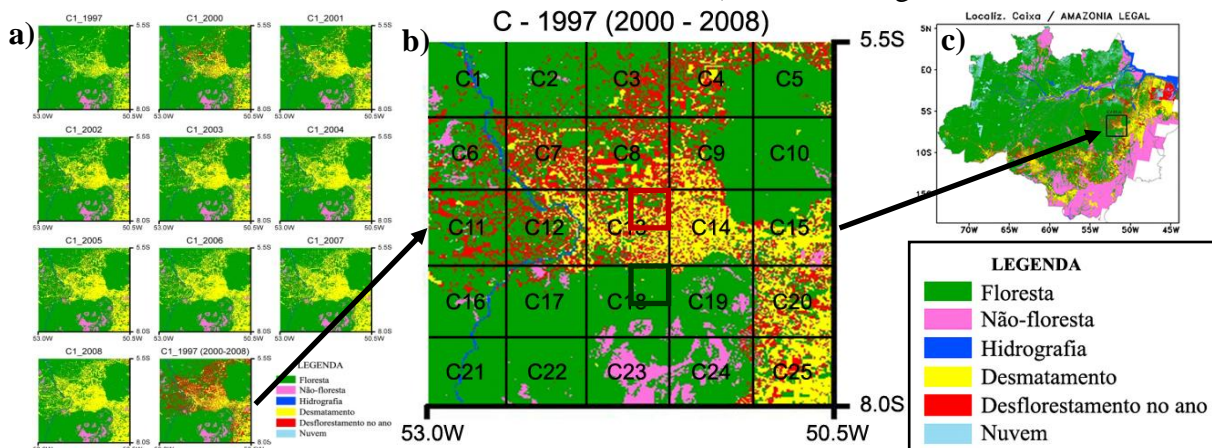


Figura 2 – Desmatamento PRODES Digital sobre a Caixa em estudo. a) Evolução anual do desmatamento de 1997 a 2008; b) Desmatamento acumulado entre 2000 e 2008 (vermelho) nas sub-caixas em estudo; e c) representação da Caixa em toda a Amazônia Legal.

3.2 Estimativas de precipitação

A Amazônia, em especial, o Estado do Pará recebe precipitação praticamente durante todo o ano, com os maiores valores na região costeira, desde o Amapá até o nordeste paraense, chegando a 3.600 mm/ano na parte central da Ilha do Marajó (Figura 3-a). Esses altos valores de pluviosidade distribuem-se diferentemente ao longo do ano e com características regionais distintas. Em geral, a época chuvosa começa em janeiro e tem duração de cinco a seis meses, sendo o mês de março mais chuvoso, fato que é justificado pela intensificação dos efeitos locais associados à presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que segundo (Souza e

Ambrizzi, 2003) a manifestação conjunta desses dois sistemas contribui diretamente para ocorrências dos anuais de chuva na maior parte do território brasileiro. A época menos chuvosa, onde predominam as chuvas de caráter convectivo, abrangem os demais meses do ano, sendo que o período de maior estiagem ocorre entre os meses de outubro e novembro (Figura 3-b).

Com relação à área em estudo (Figura 3), nota-se que os maiores valores médios anuais da precipitação estão em torno de 2.300 mm. Principalmente devido às estações verão (DJF) e outono (MAM), que contribuem com cerca de 350 mm em média. Os menores valores de precipitação chegam a 20 mm no inverno (JJA).

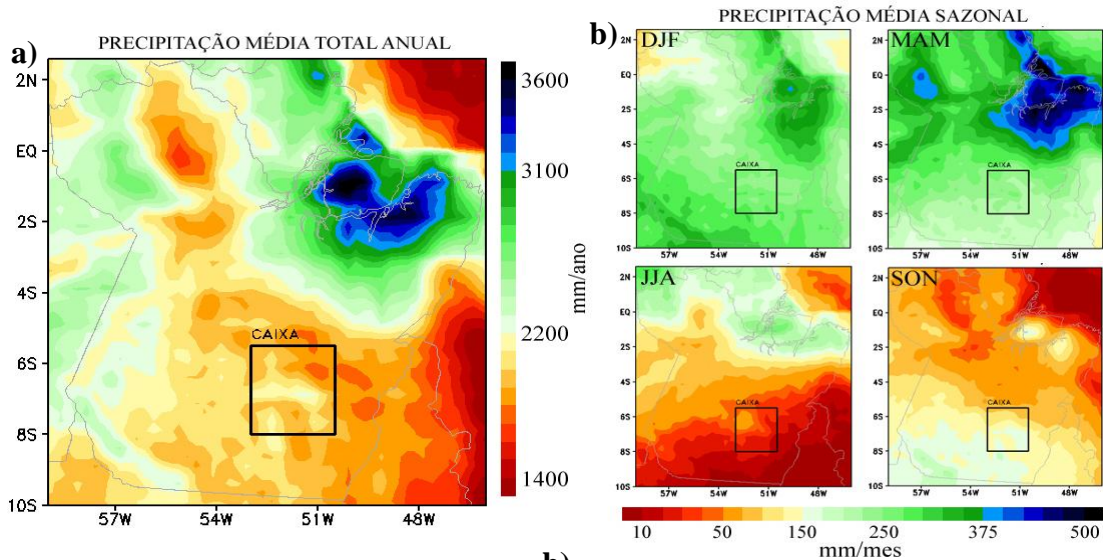


Figura 3 – a) Precipitação média total anual em mm/ano e b) Precipitação média sazonal em mm/mês, durante o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2009 pelo 3B42_V6, para o Estado do Pará com destaque a caixa em estudo.

Através da Figura 4, que representa a diferença e tendências da precipitação total anual em mm e porcentagem, para as áreas Desmatada e Floresta durante o período de 1998 à 2009, nota-se que tanto a área Desmatada, quanto a área de Floresta apresentam uma tendência de aumento da precipitação total anual, com cerca de 50 mm (5%), embora um pouco maior sobre a área de Floresta, que segundo a Figura 5 a área de Floresta apresentou uma tendência de 1,30 (Teste Z), enquanto que a área Desmatada apresentou 0,62, ambas com um nível de Significância > 0,1. Já as estimativas de inclinação Sen para a área Desmatada foi de 6,72E+00 (Q) e para a área de Floresta de 8,29E+00.

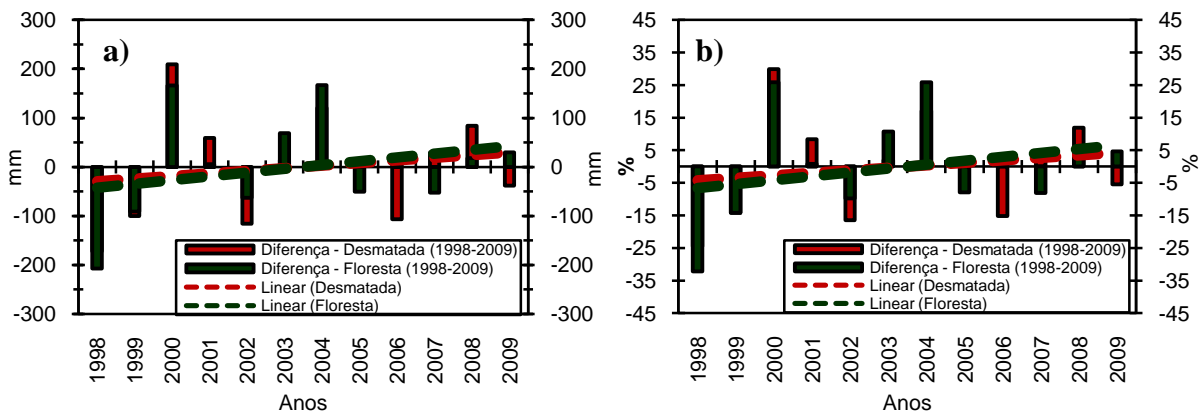


Figura 4 – Diferença e tendências da precipitação total anual em mm (a) e porcentagem (b), para as áreas Desmatada e Floresta durante o período de 1998 à 2009.

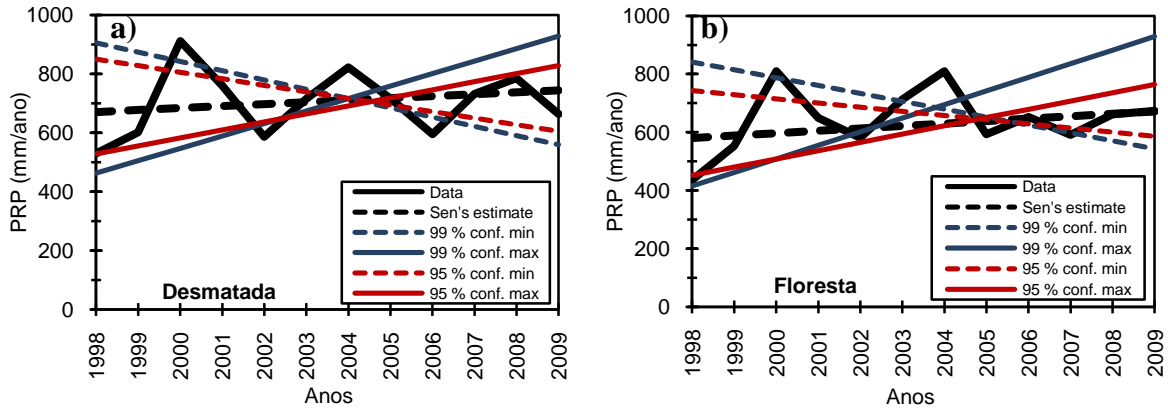


Figura 5 - Teste de significância Mann-Kendall para os níveis de confiança 99 e 95% e estimativa de inclinação Sen, com relação aos totais anuais de precipitação para as áreas Desmatada (a) e Floresta (b), durante 1998 a 2009.

Com relação aos seus ciclos médios anual da precipitação (Figura 6), notou-se um ciclo mais pronunciado, ou seja, com valores mais intensos sobre a área desmatada, principalmente durante os períodos mais chuvoso e de transição (menos chuvoso para o mais chuvoso), com cerca de 15 mm (30%) e 10 mm (20%), respectivamente.

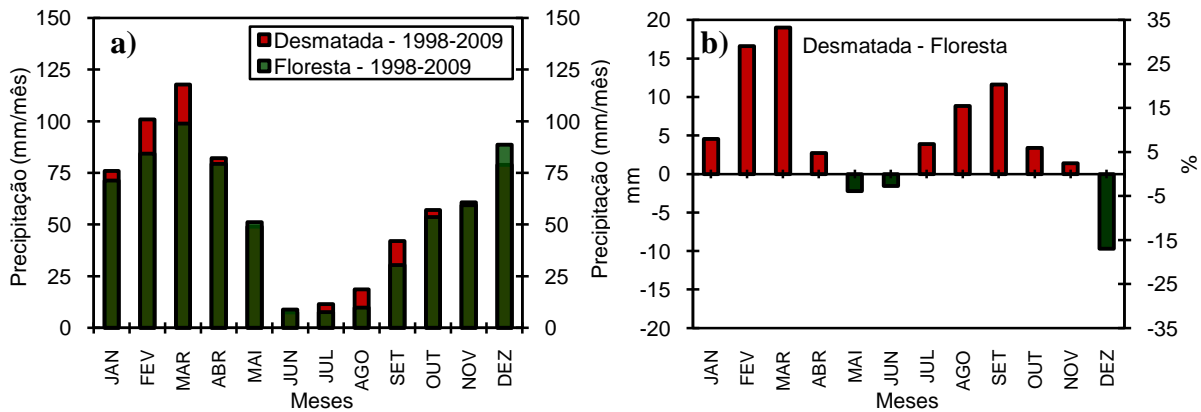


Figura 6 – (a) Ciclo médio anual da precipitação sobre as áreas Desmatada e Floresta e, (b) Diferença (mm e porcentagem) da precipitação média entre as áreas Desmatada e Floresta, durante o período de 1998 a 2009.

Quando analisado os valores totais mensais da precipitação a cada ano, observaram-se tendências de aumento mais pronunciadas durante o período mais chuvoso, principalmente entre os meses fevereiro (Figura 7-a), março (Figura 7-b) e abril (Figura 7-c), com cerca de 25 mm de aumento. Já para o período de transição, foram observadas tendências de diminuição da precipitação, principalmente no mês de setembro (Figura 7-d) e para a área Desmatada, chegando a quase 25 mm de redução.

Com relação à Figura 8, que corresponde à intensidade diária da precipitação, frequência e números de dias com chuva, divididas por classes, conforme a metodologia de Osborn et al. (2000), para cada área em estudo (Desmatada e Floresta), foram observadas que os maiores valores de precipitação acumulada diária encontraram-se sobre a área Desmatada, principalmente nas maiores classes. A classe 1, tanto para a área Desmatada, quanto para a Floresta, contribui com quase a metade da precipitação, comparado as demais classes (Tabela 1). Em geral o número de dias sem chuva, que para este tipo de metodologia foi descartado, é maior sobre a área de Floresta que sobre a Desmatada.

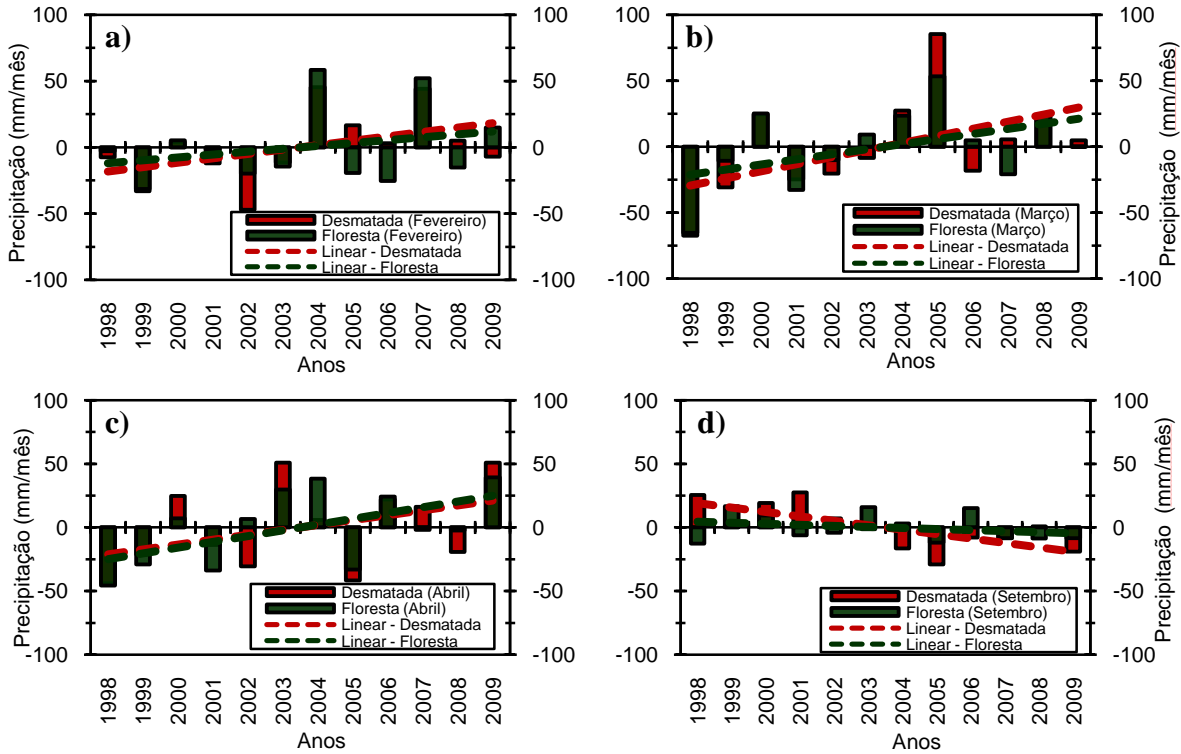


Figura 7 - Diferenças e tendências da precipitação média mensal entre as áreas Desmatada e Floresta, para os meses: (a) fevereiro, (b) março, (c) abril e (d) setembro, durante o período de 1998 a 2009.

Tabela 1 – Exemplo da precipitação acumulada diária em Classes para as áreas Desmatada e Floresta, durante o período de 1998 à 2009, segundo a Metodologia de Osborn et al. (2000).

Classes	Quantis Acumulados (%)	Desmatada			Floresta		
		Menor corte (mm)	Dias c/ chuva por classe		Menor corte (mm)	Dias c/ chuva por classe	
			Nº médio	% média		Nº médio	% média
1	0 - 10	0.1	83.1	45.0	0.1	80.6	45.2
2	10 - 20	1.9	29.5	16.0	1.8	27.6	15.5
·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·
10	90 - 100	21.4	2.6	1.4	20.4	2.3	1.3

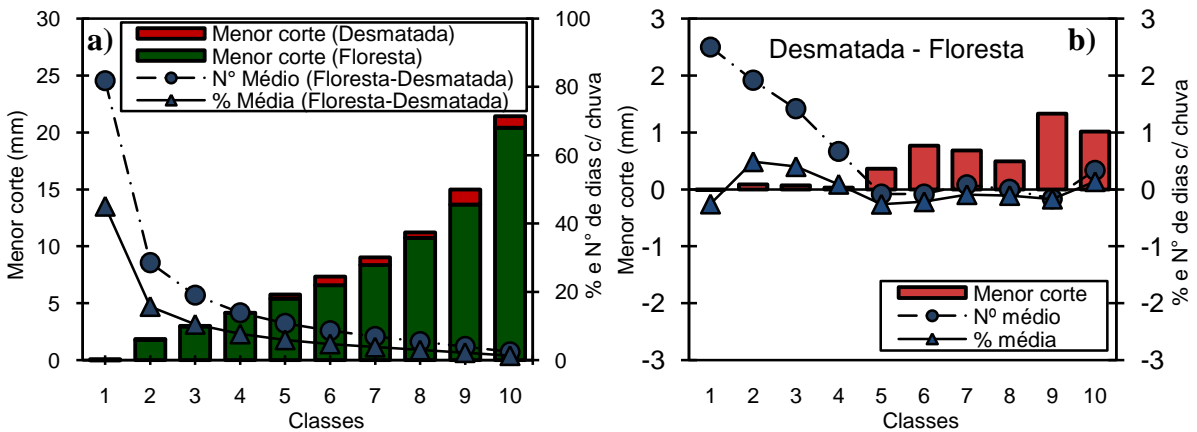


Figura 8 – (a) Média e (b) Diferença da Frequência, Número e Intensidade (menor corte) da precipitação total diária por classes (a cada 10%), sobre as áreas Desmatada e Floresta.

4. Conclusões

Através dos dados de estimativas de precipitação do satélite TRMM (3B42_V6), das estimativas anuais de desmatamento do Projeto PRODES Digital e tendo como base a topografia através dos dados do SRTM, notou-se, em geral, que o desmatamento, assim como a topografia, parece exercer uma determinada influência no comportamento da precipitação, tal como, em seus núcleos máximos e mínimos. Os núcleos máximos sobre a área desmatada apresentaram-se durante grande parte do ano e mais evidente durante o período menos chuvoso e de transição (seco-chuvoso), assim como durante a estação chuvosa, porém, não muito pronunciado, assim como em Silva Dias et al. (2002) e Durieux et al. (2003).

Embora tanto a área Desmatada, quanto a área de Floresta tenham apresentado tendências positivas da precipitação, para o período em estudo, na área Desmatada foram observadas tendências de aumento (redução) do período chuvoso (transição seco-chuvoso), já sobre a área de Floresta, foram observados somente tendências de aumento no período chuvoso, no período de transição as tendências de redução não se mostraram tão pronunciada quanto na área Desmatada. Tais núcleos mais intensos encontrados, principalmente, sobre as áreas desmatadas, durante grande parte do ano, podem estar associados, ao maior aquecimento gerado sobre estas localidades, ativando os sistemas convectivos, influenciados pelos sistemas de meso e grande escala, acarretando numa mudança no padrão de nebulosidade e conseqüentemente num aumento da precipitação.

Por fim, o monitoramento e detecção de áreas desmatadas, realizado pelo Projeto PRODES, apresentou-se como uma ferramenta de suma importância para estudos de impactos no ciclo hidrológico, neste caso na precipitação, devido ao desmatamento. Portanto, baseado nesta idéia, este trabalho espera ter contribuído para uma melhor compreensão do impacto causado pelo desmatamento na precipitação sobre determinadas área com desmatamento sobre a Amazônia Legal.

Referências Bibliográficas

- ANGELIS, C. F.; MCGREGOR, G. R.; KIDD, C. A three year climatology of rainfall characteristics over tropical and subtropical South America based on TRMM-PR data. *Int. Journal of Climatology*, England, v. 24, n. 3, 2004, p. 385-399.
- CÂMARA, G.; VALERIANO, D. M.; SOARES, J. V. Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal. São José dos Campos: INPE, 2006. 24 p. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>.
- CUTRIM, E.; MARTIN, D.W.; RABIN, R. 1995: Enhancement of cumulus clouds over deforested lands in Amazonia. *Bul. of Am. Met. Soc.*, 76(10), 1801-1805.
- DE SOUZA, E. B., AMBRIZZI, T. 2003: Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. *Climanálise (CPTEC/INPE)*.
- DURIEUX, L, MACHADO, L. A. T., LAURENT, H. 2003: The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation. *R. Sens. of Env.*, V. 86, pp. 132-140.
- FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over Central and Western tropical South America. *Climanálise*, v. 5, n.6 p. 36-44, Jun. 1990.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. 1998: Uma revisão geral do clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, 28(2): 101 126.
- HUFFMAN, G. J., ADLER, R. F., BOLVIN, D. T., GU, G. J., NELKIN, E. J., BOWMAN, K. P., HONG, Y., STOCKER, E. F., and WOLFF, D. B., The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8, 38-55. 2007.
- MACHADO, L.A.T.; LAURENT, H.; DESSAY, N.; MIRANDA, I. 2004: Seasonal and diurnal variability of convection over the Amazonia: a comparison of different vegetation types and large scale forcing. *Theo. and Ap. Clim.*, v. 78, n. 1-3, p. 61-77.
- NEGRI, A. J., ADLER, R. F., XU, L., SURRATT, J. 2004: The impact of Amazonian deforestation on dry season rainfall. *J. Clim.*, 17, 1306-1319.
- SILVA DIAS, M. A. F.; PETERSEN, W.; SILVA DIAS, P.; CIFELLI, R.; BETTS, A. K.; GOMES, A. M.; FISCHI, G. F.; LIMA, M. A.; LONGO (IC), M.; ANTONIO, M. A.; ALBRECHT, R. I. 2002: A case study of the organization of convection into precipitating convective lines in the Southwest Amazon. *J. Geophys. Res.* vol. 107, p. 46.1 - 43.23.

- OSBORN, T. J., HULME, M., JONES, P. D. AND BASNETT, T. A., 2000. Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation. *Int. J. Climatol.*, 20, 347±364.
- SOUZA JÚNIOR, C.; VERÍSSIMO, A.; HAYASHI, S. Transparência florestal da Amazônia Legal. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Agosto de 2009.
- VALERIANO, D. M. e colaboradores. 2005: Detecção do desflorestamento da Amazônia Legal em tempo real - Projeto DETER. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. p. 3403-3409.
- WANG, J.; CHAGNON, F. J. F.; WILLIAMS, E. R.; BETTS, A. K.; RENNO, N. O.; MACHADO, L. A. T.; BISHT, G.; KNOX, R.; BRAS, R. L. 2009: Impact of deforestation in the Amazon basin on cloud climatology. *PNAS*, 106, 3670-3674.