



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Sensoriamento remoto como ferramenta para a determinação da estação chuvosa na Amazônia

Bergson Cavalcanti Moraes. Instituto Tecnológico Vale. Autor correspondente. E-mail: bergson.moraes@vale.com

Giordani Rafael Conceição Sodré. Instituto Tecnológico Vale. E-mail: rafaelsodre2009@hotmail.com

Everaldo Barreiros Souza. Instituto Tecnológico Vale. E-mail: everaldo@itv.org

Douglas Batista da Silva Ferreira. Instituto Tecnológico Vale. E-mail: douglas.silva.ferreira@vale.com

Juarez Ventura Oliveira. Instituto Tecnológico Vale. E-mail: juarez.vo@hotmail.com

Artigo submetido em 06/05/2015 e aceite em 28/12/2015.

RESUMO

A precipitação é considerada a principal variável meteorológica nos trópicos. Tal importância está associada aos impactos sociais e econômicos que são gerados em extremos de ocorrência dessa variável. Diversos estudos para caracterizar a estação chuvosa na Amazônia foram realizados, entretanto poucos consideraram os componentes de perdas hídricas, como a evapotranspiração e a respectiva disponibilidade hídrica. O presente trabalho tem como principal objetivo, avaliar a metodologia proposta por Kassam, para a determinação do início e fim da estação chuvosa, utilizando dados de 13 anos (2000 a 2012) de sensoriamento remoto de precipitação e evapotranspiração na Amazônia. Os resultados foram bastante consistentes com as análises existentes na literatura, sobre a dinâmica sazonal amazônica. Foi observado que o período chuvoso pode variar entre 4 a 7 meses entre as regiões sul e norte da Amazônia, respectivamente. No extremo oeste é notada uma estação chuvosa contínua.

Palavras Chave: Evapotranspiração, precipitação, Sazonalidade pluviométrica.

Remote sensing as a tool for determining the rainy season in the Amazon

ABSTRACT

The precipitation is considered the main meteorological variable in the tropics. This importance is associated with social and economic impacts that are generated due occurrence of extremes. Several studies to characterize the rainy season in the Amazon have been applied, but few considered the components of water loss, such as evapotranspiration and their water availability. This study aims to evaluate the methodology proposed by Kassam (1979), for determining the beginning and end of the rainy season, using data from 13 years (2000-2012) of remote sensing precipitation and evapotranspiration in the Amazon. The results were quite consistent with previous analyzes in the literature on the Amazon seasonal dynamics. It was observed that the rainy season can vary among 4-7 months between the southern and northern regions of the Amazon, respectively. In the far west portion is observed a permanent rainy season.

Keywords: evapotranspiration, precipitation, seasonal rainfall.

Introdução

A variabilidade pluviométrica anual, sazonal e mensal da região amazônica caracteriza-se como uma informação indispensável para o desenvolvimento de qualquer atividade, seja ela de grande ou médio porte, suscetível a alteração pela variação pluviométrica (Smit e Skinner 2002; Silva et al., 2010; Embrapa, 2011), esta condição tornou a precipitação alvo de vários estudos para melhor compreensão de sua variabilidade.

As primeiras pesquisas sobre a sazonalidade da precipitação amazônica, foram realizadas por Kousky (1988); Horel et al., (1989), baseando-se em medições de radiação de onda longa (ROL) obtidas por satélite. Contudo, a descrição era em larga escala com dados de baixa resolução, não conseguindo apresentar uma observação confiável da variabilidade local entre os estados que compõem a Amazônia.

Outros métodos como, a utilização de médias mensais dos acumulados pluviométricos, observados por estações meteorológicas (Fish et

al., 1998) e o método de Pêntadas (média de cinco dias) que também utiliza dados observados (Sugahara, 1991; Marengo, 2001) foram utilizados para determinar o início e o fim do período chuvoso da região amazônica. Estes estudos conseguiram mostrar que o período de chuvas ou forte atividade convectiva é compreendido entre os meses de novembro a março, sendo o período de seca ou de menor atividade convectiva entre os meses de maio a setembro, e abril e outubro são os meses de transição entre um regime e outro.

Contudo, a variabilidade mensal observada não é homogênea para toda a região amazônica, o déficit de informações meteorológicas nesta região é bastante significativo, devido principalmente a grande espacialidade dos pontos de coleta de dados e as frequentes falhas em suas séries históricas. Para tentar solucionar este problema Moraes et al., (2005) utilizou uma metodologia desenvolvida na agronomia, por Kassam (1979), para a determinação do período mais úmido de um local específico para fins agrícolas. O método consiste em uma relação empírica que determinar o período de maior umidade local a partir da relação entre evapotranspiração (ET) e a precipitação (PRP), quando $ET > PRP$ indica período seco e $ET < PRP$ indica período chuvoso.

Esta metodologia possibilitou uma boa estimativa do início e fim do período chuvoso, para o estado do Pará, principalmente, distinguindo espacialmente os lugares onde a precipitação estava aumentando e onde ela já não precipitava. Contudo, a mesma fonte de dados não pode ser usada para realizar a mesma observação em toda a região amazônica, pois novamente esbarrou-se na falta de uma rede mais densa de estações meteorológicas sem falhas em suas séries históricas, para um cálculo mais preciso da evapotranspiração local.

Segundo Giacomoni (2005), os métodos convencionais, ou seja, de cálculos manuais de parâmetros, dependem da quantidade, e da regularidade espacial e temporal dos dados. Quando o interesse é a determinação da ET em escala regional, onde é considerada uma grande área, a utilização dessas técnicas fica praticamente impossível de ser efetivada. Assim, o sensoriamento remoto é uma alternativa que permite estimar e especializar de maneira econômica e rápida, a ET para escalas regionais e globais.

Dentre as ferramentas disponibilizadas pelo sensoriamento remoto para a determinação e quantificação da evapotranspiração de uma região, está o sensor MODIS, especificamente o conjunto de dados MOD16 ET o qual possui uma resolução de 1 km ao longo de uma grade global de 109,03 milhões de km² cobrindo toda a parte vegetada existente. O algoritmo MOD16 é baseado na equação de Penman-Monteith, a qual utiliza dados de reanálise diária e média de 8 dias de dados meteorológicos de sensoriamento remoto dinâmico, sobre propriedades vegetais, do próprio MODIS como informação de entrada, mais detalhes sobre esses dados em Mu et al., (2013).

Neste contexto, os produtos do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) a bordo do satélite TERRA mostra-se uma ferramenta importante para suprir a necessidade de uma boa estimativa regional de evapotranspiração. Essa ferramenta tem sido utilizada em diversos lugares do mundo, em diferentes condições climáticas, com resultados promissores (Bastiaanssen et al., 1998; Ayenew, 2003; Silva e Bezerra, 2006; Mendonça, 2007; Lima, 2010). No Brasil, já existem estudos envolvendo a aplicação desses dados (Mendonça, 2007; Lima, 2010), que foram realizados para diferentes localidades.

Todos estes estudos mostram o progresso no desempenho do sensor MODIS em estimar o balanço hídrico e o balanço de energia em diferentes superfícies da terra, porém, levando em consideração somente uma pequena área ou localidade específica. Assim, no presente estudo, pretende-se utilizar os dados de evapotranspiração do sensor MODIS e dados de precipitação via sensoriamento remoto do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), dentro da metodologia criada por Kassam (1979) e proposta por Moraes et al., (2005) para determinar o início e o fim do período chuvoso para toda a região amazônica.

Metodologia

Área de estudo

A área de estudo compreendeu todos os estados que compõem a região da Amazônia Legal Brasileira: Pará, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Tocantins, Acre, Amapá, Rondônia e Roraima (Figura 1).

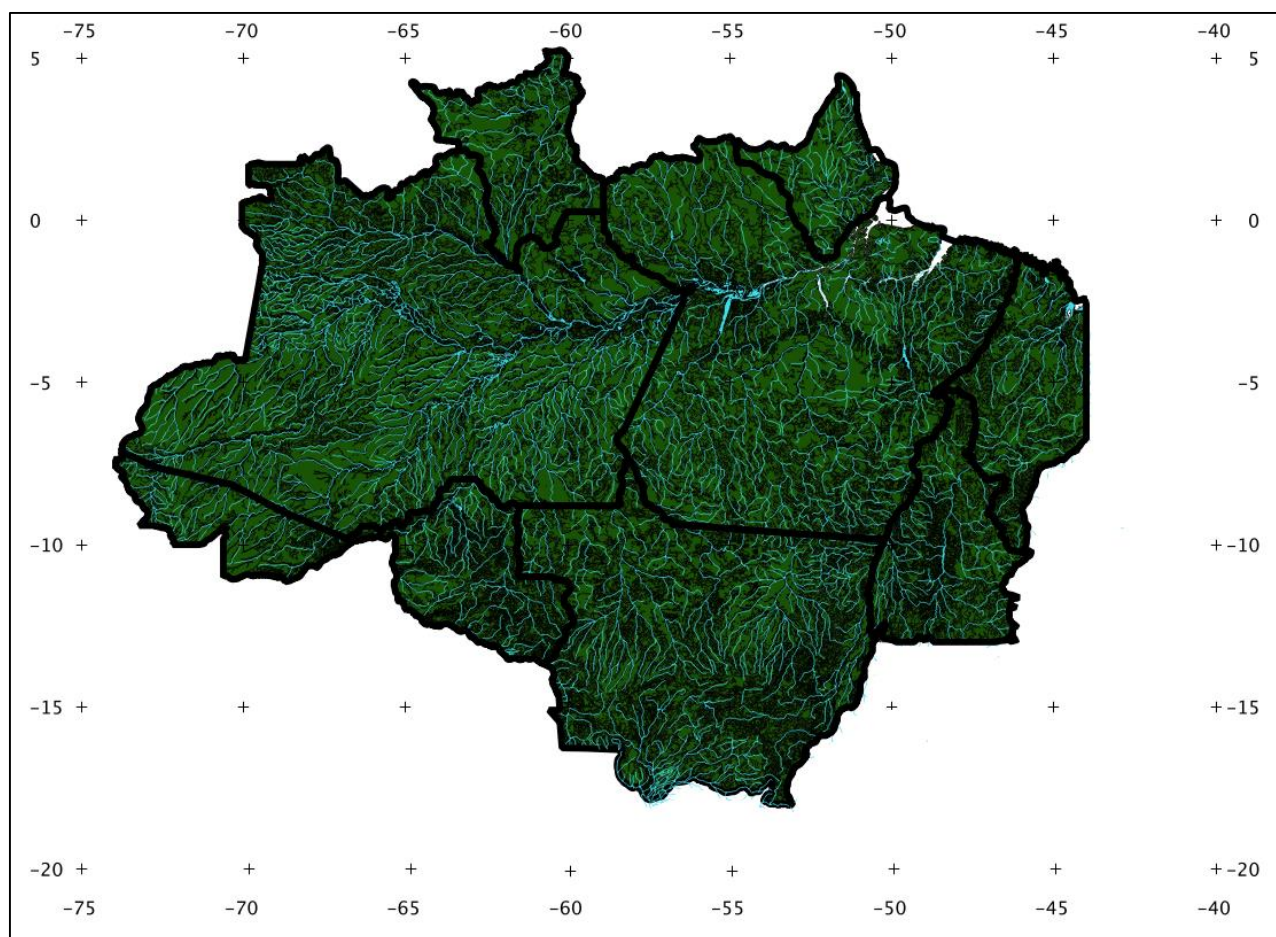


Figura 1. Região amazônica e respectivos estados. As linhas em azul representam a rede de drenagem da região.

Base de dados

Estimativa de precipitação via sensoriamento remoto

A missão TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) foi lançada em 1997, pela NASA em parceria com a JAXA (Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial), com o objetivo de monitorar e estudar a precipitação tropical e em regiões subtropicais, além de verificar como a mesma influencia o clima global. Os instrumentos a bordo do TRMM são: imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor para imageamento de relâmpagos (LIS) (Kummerow et al., 1998, 2000).

As varreduras do satélite se estendem desde 38°N a 38°S, com órbita oblíqua não-heliossíncrona baixa (cerca de 403 km) permitindo altas resoluções espacial e temporal,

0,25° x 0,25° e 3 horas respectivamente (Huffman et al., 2007), indicando a localização geográfica exata da ocorrência dos maiores volumes pluviométricos, ocorridos na região coberta pelo sensor (Liu et al., 2012).

O satélite TRMM fornece estimativas mais precisas do que as técnicas indiretas, baseadas em imagens de outros satélites (Barrera, 2005), sendo usado inclusive para validação destas técnicas, em função de ser mais bem equipado em termos de instrumentos para estimativa de precipitação.

Diversos estudos recentes avaliaram os dados do TRMM em comparação aos dados observados de precipitação, obtidos através das redes pluviométricas de superfície na América do Sul (Rozante et al., 2010), em bacias hidrográficas e sobre áreas desmatadas (Collischonn, et al., 2007; Nóbrega, et al., 2008).

Para o presente estudo, foram utilizadas séries mensais de dados compreendidos entre os anos de 2000 a 2012, estimados através do

algoritmo 3B43 V6 que combina múltiplos sensores orbitais (Huffman et al., 2007).

Evapotranspiração via sensoriamento remoto

Os conjuntos de dados MOD16 ET são estimados a partir da metodologia proposta por Mu et al. (2007; 2013), o qual desenvolveu um algoritmo para a estimativa da ET baseado na equação de Penman-Monteith (Monteith, 1965), que considera a resistência da superfície e a resistência efetiva à evaporação a partir da superfície do solo e transpiração do dossel da planta.

Esses dados são desenvolvidos na Universidade de Montana, nos EUA, em conjunto com a NASA (National Aeronautics and Space Administration). Foram criados principalmente para estimar a disponibilidade de água e o balanço energético regional. Assim, fornecem informações importantes para a gestão de recursos hídricos, em grande parte do mundo.

O cálculo da estimativa da evapotranspiração é realizado a partir de um complexo passo que englobam: determinação da refletância real nas regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal, estimativa do albedo planetário e da superfície, estimativa da temperatura da superfície e índice de vegetação – NDVI, radiação atmosférica, balanço de radiação à superfície entre outros.

Os produtos gerados pelo MODIS são: Evapotranspiração MOD16 global (ET), fluxo de calor latente (LE), potencial ET (PET) e potencial LE (PLE). Esse conjunto de dados possui resolução espacial de 1 km² sobre uma área de 109,03 milhões de km², abrangendo todo o globo, com exceção somente dos polos e regiões desérticas. Estes dados possuem três resoluções temporais: de 8 em 8 dias, mensal e anual.

O período considerado neste trabalho foi de 2000 a 2012, com resolução temporal mensal.

Determinação estação chuvosa

Para determinar o início e o fim do período chuvoso da região amazônica, foi utilizada a metodologia proposta por Kassan (1979), conforme descrito nas equações 1 e 2.

$$P_i > \frac{ETP}{2} = I \quad \text{Eq. 1}$$

$$P_i < \frac{ETP}{2} = F \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

P_i é a precipitação do mês i ;

ETP_i é a evapotranspiração potencial referente ao mês i ;

I é o início da estação chuvosa e de crescimento.

F é o fim da estação chuvosa

A grande vantagem na utilização desse método é a consideração, não somente do componente de ganho hídrico, mas também do componente de perda hídrica de uma região. Essa consideração é importante para quantificar a disponibilidade hídrica da região em questão, sendo tal informação de relevante interesse para as atividades agrícolas, de mineração e outras que dependem dos recursos hídricos para as práticas de manejo de irrigação e drenagem, calendários de plantio e colheita, planos de defesa fitossanitária e demais estratégias operacionais e de logística.

Resultados e discussão

Início da Estação Chuvosa

Segundo Marengo (1995), que documentou três regimes de chuvas na América do Sul: um no noroeste da América do Sul, onde a chuva é abundante durante todo o ano alcançando o máximo em Abril-Maio-Junho, com mais de 3000 mm/ano, um segundo período em uma banda zonalmente orientada estendendo-se até a parte central da Amazônia, onde a estação chuvosa ocorre em Março-Abril-Maio, e o terceiro na parte sul da região Amazônica onde o pico de chuvas ocorre em janeiro-fevereiro-março. A chuva no noroeste da Amazônia pode ser entendida como resposta à flutuação dinâmica do centro quase-permanente de convecção nesta região (Marengo e Hastenrath, 1993).

De acordo com o boletim Climanalise (1996), a estação chuvosa da Região Norte (Dez-Jan-Fev) muda progressivamente de Janeiro-Fevereiro-Março, no sul da Amazônia, para Abril-Maio-Junho, no noroeste da base Amazônica. Esta variação parece estar relacionada com a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), pois os núcleos de precipitações migram da parte central do país, no verão austral, para o setor noroeste da América do Sul no inverno austral, acompanhando a migração anual da convecção profunda.

Segundo Rao e Hada (1990), estações localizadas no Hemisfério Norte (HN), como Oiapoque (3°N 60°W), exibem o máximo de chuvas durante o inverno austral (junho-julho-agosto) e mínimo durante o verão austral (Dez-Jan-Fev).

Contudo, essas análises foram baseadas somente em dados de precipitação, ou seja, apenas

com a componente de ganho do balanço hídrico sem levar em consideração as perdas hídricas e métodos de determinação do início e fim da estação chuvosa. As Figuras 2 e 3 ilustram a variação espacial do início e fim da estação chuvosa na Amazônia, conforme a metodologia proposta por Kassam (1979), descrita anteriormente.

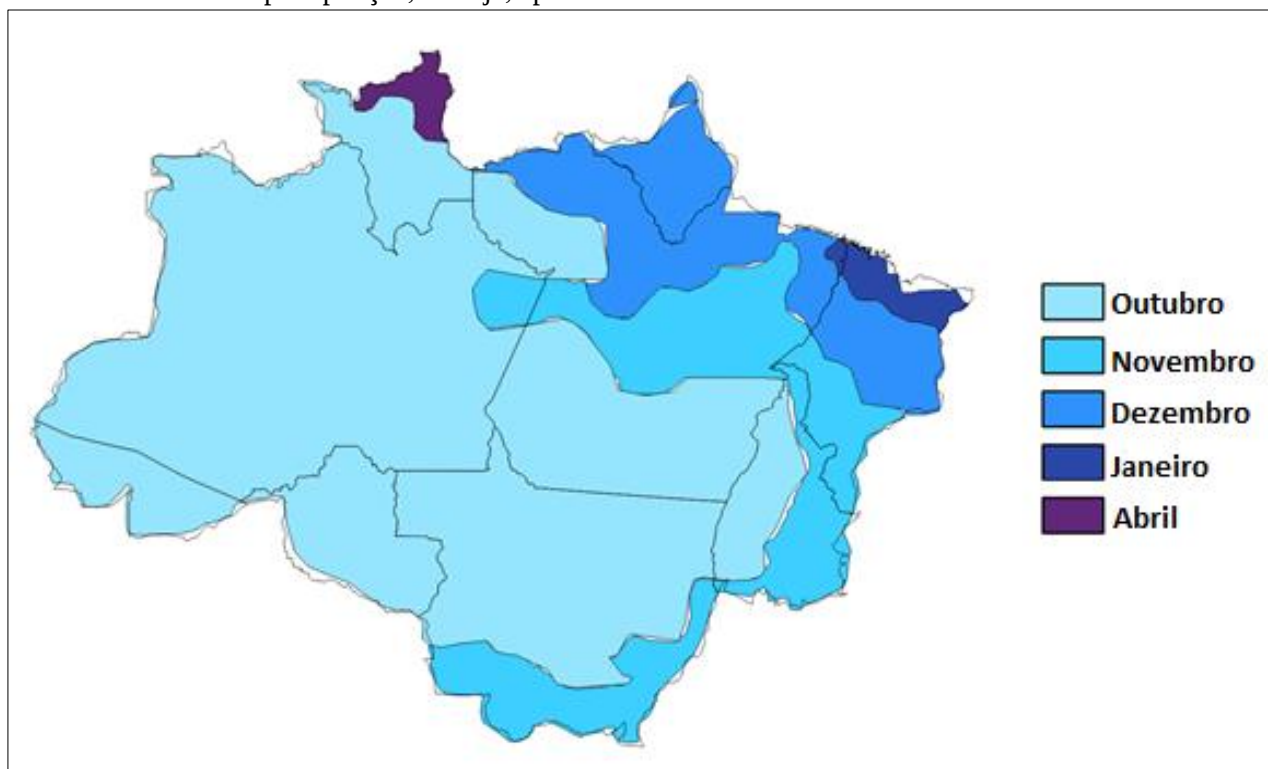


Figura 2. Variação espacial do início da estação chuvosa na região Amazônica através do método de Kassam (1979).

Foi observado que o período chuvoso da região Amazônica inicia-se no mês de Outubro, nas regiões noroeste e sudeste, o que engloba o estado do Acre, Rondônia, o centro e o norte de Mato Grosso, parte de Roraima e Sul do Pará (Figura 2).

Apesar de se tratar da mesma região, os fenômenos e sistemas atmosféricos que marcam o início do período chuvoso na região amazônica são totalmente distintos. Na região central e norte da Amazônia, o sistema precipitante de maior importância é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e na região sul, os principais sistemas são a Zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Sistemas Frontais (Satyamurti e Rao, 1988).

Esta modulação pluviométrica induzida pelos fenômenos atmosféricos leva a variabilidade espacial do início do período chuvoso, onde observa-se que o período de maior concentração de umidade se inicia no oeste, sul e sudeste da região amazônica durante o mês de outubro, no

nordeste, principalmente no centro do estado do Pará, oeste de Tocantins e sul do Maranhão a partir do mês de novembro.

No mês de dezembro inicia o período mais úmido do litoral do estado do Pará e do estado do Amapá, em janeiro inicia-se sobre o litoral Maranhense e por último, no mês de Abril, inicia a maior concentração de umidade sobre o extremo norte do estado de Roraima (Figura 2).

Na dinâmica climática tropical é conhecido que a variabilidade interanual e sazonal da estação chuvosa da Amazônia é modulada diretamente pelos padrões oceano-atmosfera de grande escala, associados aos ciclos do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Madden-Julian (OMJ) sobre o Oceano Pacífico e as fases do gradiente meridional interhemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o Oceano Atlântico intertropical (Kouky e Kaiano 1993, 1994; Nobre e Shukla, 1996; De Souza et al., 2000).

Através de mudanças significativas nos padrões da circulação troposférica associados às células de Walker e de Hadley (De Souza e Ambrizzi, 2002; De Souza et al., 2004), ambos os modos climáticos do Pacífico e Atlântico interferem na posição e intensidade das bandas de nebulosidade convectiva da ZCAS e ZCIT. Este padrão pluviométrico observado ocorre somente para anos considerados normais em que não foram influenciados por fenômenos como El Niño ou La Nina, período em que o início e o fim do período chuvoso podem ser alterados tanto espacial como temporalmente (Marengo e Hastenrath, 1993).

Fim da Estação Chuvosa

O fim da estação chuvosa e início do período de estiagem ou período menos chuvoso (sem grande atividade convectiva), segundo Figueroa e Nobre (1990) ocorre entre os meses de Maio e Setembro na região Amazônica.

Neste período, devido a dinâmica das circulações atmosféricas, uma massa de ar seco forma-se sobre a região centro-sul do Brasil, inibindo a convecção e diminuindo a precipitação nesta região. Assim, a partir do mês de maio, as primeiras localidades a “sentir” os efeitos do início da estiagem são as que estão mais próximas do centro-sul do país, como o sudeste do Acre, o sul de Rondônia, todo o estado do Mato Grosso e o sul do Tocantins (Figura 3).

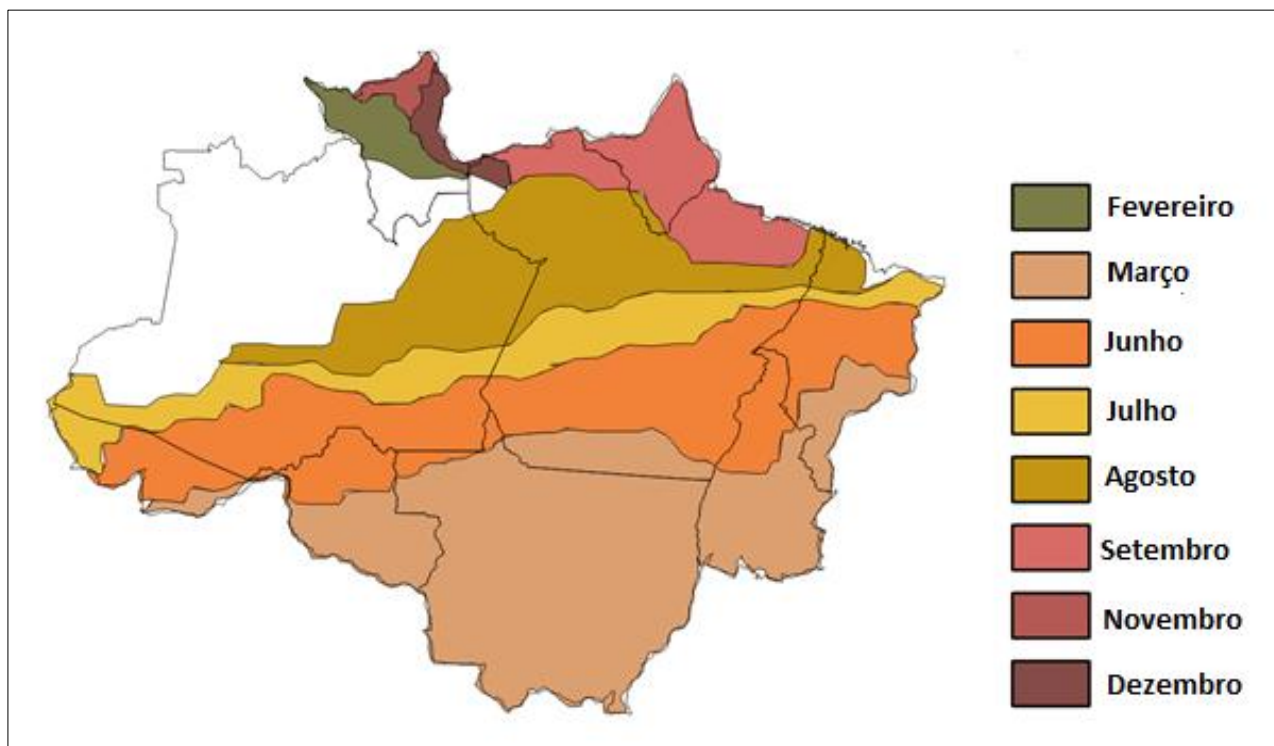


Figura 3. Variação espacial do fim da estação chuvosa na região Amazônica através do método de Kassan (1979). A região na cor branca indica a localidade onde não possível observar um período totalmente seco.

Nota-se na Figura 3, que a área de estiagem vai aumentando gradualmente no sentido Sul-Norte, coincidindo com a formação de massa de ar seco no centro sul do Brasil e o deslocamento latitudinal da ZCIT que a partir do mês de maio desloca-se para o hemisfério norte, devido a mesma estar intrinsecamente conectada as águas oceânicas mais aquecidas, fenômeno que só é possível devido o deslocamento aparente do Sol entre os hemisférios.

Esta condição faz com o que a ZCIT deixe de influenciar o regime pluviométrico da Amazônia, com exceção somente da região noroeste do estado do Amazonas (Cabeça do Cachorro), onde a influência da ZCIT ocorre

durante todo o ano e a precipitação nesta região persiste por igual período.

No mês de junho o período mais seco chega a região central do estado do Acre, ao norte de Rondônia, sul dos estados do Amazonas e Pará, norte de Tocantins e centro do Maranhão. Durante o mês de julho a variação da área de estiagem é relativamente pequena quando comparada aos outros meses, é neste período que a estiagem se inicia para o noroeste do acre e nordeste do Maranhão.

A partir do mês de agosto, a zona de estiagem aumenta rapidamente, principalmente no oeste do Amazonas e noroeste do Pará e Maranhão. E no mês de setembro, a estiagem

alcança a região litorânea do estado do Pará e Amapá.

A região litorânea que estende do noroeste do Maranhão até o Amapá é a região que possui o menor período de estiagem devido aos efeitos climáticos locais oriundos da região de transição entre continente e oceano, condição que gera um gradiente térmico fundamental para o surgimento de sistemas de mesoescala, como as Linhas de Instabilidade e Complexos convectivos de mesoescala, os quais causam precipitação principalmente nos meses mais chuvosos e de transição (Cohen, 1989; Salio et al., 2007).

Observou-se também que o estado de Roraima possui uma variabilidade climática diferente dos demais estados da região amazônica. Este estado possui quatro regiões distintas: o oeste é a primeira região a entrar no período de estiagem, a partir do mês de dezembro o norte do estado entra no seu período seco e no mês de fevereiro a estiagem passa a se estender até o noroeste de Roraima. E a parte sul do estado, diferente das demais, não apresenta um período de estiagem, mas sim um volume pluviométrico relativamente contínuo durante todo o ano. Estas observações confirmam as análises realizadas com Marengo (1995).

Conclusão

Os resultados obtidos no presente trabalho demonstraram que, apesar da curta série de dados disponível, o uso de informações derivadas do sensoriamento remoto foi capaz de descrever de maneira consistente os aspectos regionais da variabilidade espacial do início e fim do período chuvoso ao longo da Amazônia. Assim sendo, conclui-se que os dados fornecidos por sensoriamento remoto constituem-se como importante ferramenta para a avaliação das condições hídricas em regiões remotas e com ausência de dados meteorológicos de superfície, como a Amazônia. Além disso, tal abordagem pode ser considerada uma alternativa extremamente viável e de baixo custo para o suporte as diversas atividades econômicas que demandam dos recursos hídricos.

A caracterização da dinâmica espacial da estação chuvosa na Amazônia é bastante complexa, devido principalmente a grande quantidade de sistemas meteorológicos que atuam nesta região, interagindo com fenômenos oceânicos e atmosféricos.

Referências

- Ayenew, T. 2003. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highlands. *Journal of Hydrology* 279, 83-93.
- Bastiaanssen, W.G.M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y.; Moreno, J. F., Roerink, G.J., Van Der Wal, T., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 2. Validation. *Journal of Hydrology* 212-213, 213-229.
- Climanálise Especial-Edição Comemorativa de 10 anos, 1996. CPTEC/INPE [Online]. Disponível: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/>. Acesso: 01 ago.2015.
- Cohen, J. C. P. 1989. Aspectos Climáticos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. *Climanálise* 4, 34-40.
- Collischonn, B., Allasia, D., Collischonn, W., Tucci, C.E.M. 2007. Desempenho do satellite TRMM na estimativa de precipitação. Desempenho do satellite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. *Revista Brasileira de Cartografia* 59, 93-99.
- De Souza, E.B. et al. 2000. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. *Acta Amazonica* 30, 305-318.
- De Souza, E.B., Ambrizzi, T. 2002. ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulation. *Atmosfera* 15, 105-120.
- De Souza, E.B.; Kayano, M.T.; Ambrizzi, T. 2004. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. *Revista Brasileira de Meteorologia* 19, 113-122.
- Fish, G., Marengo, J. A., Nobre, C. A., 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica* 28, 101-126.
- Embrapa Meio Ambiente. Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil. 2011. Jaguariuna. São Paulo. [Online] Disponível:<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/45857/4/24343.PDF>. Acesso: 01 ago.2015.
- Giacomoni, M. H. 2005. Estimativa da evapotranspiração regional por meio de técnicas de sensoriamento remoto integradas a modelos de balanço de energia: aplicação no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado). Rio Grande do Sul, UFRGS.
- Huffman, G.J., Adler, R.F., Bolvin, D.T., Gu, G., Nelkin, E.J., Bowman, K.P. 2007. The trmm

- multi-satellite precipitation analysis (tmpa): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. *Journal of Hydrometeorology* 8, 38- 55.
- Horel, J.D., Hahmann, A.N., Geisler, J. E. 1989. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. *Journal of climate* 2, 1388-1403.
- Lima, E.P. 2010. Estimativa da evapotranspiração e do balanço hídrico a partir de imagens de satélite de duas sub-bacias do Paracatu. Tese (Doutorado). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa (UFV).
- Liu, Z., Ostrenga, D., Teng, W., Kempler, S. 2012. Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Data and Services for Research and Applications. NASA Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC) 6 NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt Maryland, USA 20771.
- Marengo, J., Hastenrath, S. 1993. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin. *Journal of Climate* 6, 617-627.
- Marengo, J. 1995. Interannual variability of deep convection over the tropical South American setor as deduced from ISCCP C2 data. *International Journal of Climatology* 15, 995-1010.
- Marengo, J. A., Liebmann, B., Kousky, V. E., Filizola, N. P., Wainer, I. C., 2001. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. *J. Climate* 14, 833 – 852.
- Mendonça, J.C., 2007. Estimativa da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense, RJ. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF).
- Monteith, J. L., 1965. Evaporation and environment. In: B.D. Fogg, (Ed.), *The State and Movement of Water in Living Organism*, Symposium of the society of experimental biology, 19, Cambridge University Press, Cambridge 205–234.
- Moraes, B.C., Costa, J.M.N., Costa, A.C.L., Costa, M.H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. *Acta Amaz.* 35, 207-214.
- Mu, Q., Heinsch, F.A., Zhao, M., Running, S.W., 2007. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing of Environment* 111, 519-536.
- Mu, Q., Zhao, M., Running, S. W., 2013. Algorithm Theoretical Basis Document: MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3) Collection 5. NASA Headquarters, Numerical Terradynamic Simulation Group College of Forestry and Conservation The University of Montana Missoula, MT 59812.
- Nobre, P., Shukla, J. 1996. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate* 9, 2464-2479.
- Nóbrega, R.S., Souza, E.P., Galvêncio, J.D. 2008. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental. *Revista de Geografia* 25, 6-20.
- Kassam, A.H., 1979. Multiple cropping rainfed productivity in Africa. Working Paper No. 5. FAO, Rome, Italy.
- Kousky, V.E., 1988. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Rev. Bras. Meteo.* 3, 217-231.
- Kousky, V.E., Kayano, M. T., 1993. Real-time monitoring of intraseasonal oscillations. Boulder-CO. Proc. Eighteenth Annual Climate Diagnostics Workshop, 1-5.
- Kousky, V.E., Kayano, M.T., 1994. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. *J. Climate* 7, 1131-1143.
- Kummerow C, William B, Toshiaki K, James S, Joanne S. 1998. The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 15, 809-817.
- Kummerow C, Simpson J, Thiele O, Barnes W, Chang ATC, Stocker E, et al. 2000. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. *Journal of Applied Meteorology* 39, 1965-1982.
- Rao, V.B.; Hada, K. 1990. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with southern oscillation. *Theoretical and Applied Climatology* 42, 81-91.
- Rozante, J.R., Moreira, D.S., Gonçalves, L.G.G., Vila, D. 2010. Combining TRMM and surfasse observation of precipitation: technique and validation over South America. *Weather and Forecasting*, 885-894.
- Salio, P., Nicolini, M., Zipser, E.J., 2007, Mesoscale convective systems over southeastern south America and their relationship with the south American low-level jet. *Mon. wea. Rev.* 135, 1290-1309.
- Satyamurti, P., Rao, V.B., 1988. Zona de Convergência do Atlântico Sul. *Climanálise* 3, 31-35.
- Silva, B.B., Bezerra, M.V.C., 2006. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na

- superfície utilizando imagens TM - Landsat 5. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 14, 174-186.
- Silva, D.X., Barcellos, C., Bacuri, R. 2010. Vulnerabilidade e efeitos das mudanças climáticas na saúde pública em Manaus. "Guidance for Conducting Assessments of Health Vulnerability and Public Health and Health Care Interventions to Address Climate Change". ICICT/FIOCRUZ. Manaus. Amazonas.
- Smit, B., Skinner, M. 2002. Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. In: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 7, p.85–114.
- Sugahara, S., 1991. Flutuações interanuais, sazonais e intrasazonais da precipitação no estado de São Paulo. Tese(Doutorado). São Paulo. IGA/USP.