

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE TENDÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NO SUDESTE PARAENSE

* Raísa Rodrigues Neves¹
Rosa Maria da Luz Mendes¹
Luiza Carla Girard Mendes Teixeira¹

APPLICATION OF STATISTICAL TECHNIQUES FOR THE IDENTIFICATION OF PLUVIOMETRIC TREND IN SOUTHEAST PARAENSE

Recibido el 28 de febrero de 2020; Aceptado el 18 de septiembre de 2020

Abstract

The study of time series allowed analyzing possible externalities produced by the changes in the use of the soil or global climatic changes on the pluviometric regimes, emphasizing the detection of trends in series of hydrological observations, especially with respect to the precipitation. The objective of this study was to evaluate the occurrence of trends and/or variations in time series relative to annual rainfall indices and monthly indices, using the non-parametric Mann-Kendall and Sen estimators, considering the seasonality of the period Rainy and less rainy seasons recorded in Southeast Pará, using the historical series between 1986 and 2015 in 19 rainy seasons. The results showed that 73.69% of the rainfall stations did not present trends, while 26.31% of the stations showed a trend, 21.05% with negative tendencies and 5.26% with a positive trend. The analysis of the series in the rainy and less rainy season presented a reduction in the rainfall regime over the years. The month of March, considered the most rainy, presented a decrease in relation to the average value of the rainfall indices of 15.21% and the month of September, considered the least rainy, presented a reduction of 39.55%, however they were not Significant trends were detected in the monthly series, at the significance level of 5%, showing the low efficiency of this test in rainy seasons in the Amazon. The reduction of rainfall records can be directly related to the changes in the use and occupation of the soil and to the different intensities of atmospheric systems and climatic phenomena in the region.

Keywords: historical series, Mann-Kendall, precipitation.

¹ Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (LAESA), Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Belém, Brasil.

* Autor Correspondiente: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (LAESA), Universidad Federal de Pará. Calle Augusto Corrêa, 01, Guamá, Campus Belém. Belém, Pará, Brasil. CEP 66075-110. Email: raisanevesufpa@gmail.com

Resumo

O estudo de séries temporais permitiu analisar possíveis externalidades produzidas pelas mudanças no uso do solo ou alterações climáticas globais sobre os regimes pluviométricos, enfatizando-se a detecção de tendências em séries de observações hidrológicas, especialmente com relação à precipitação. O objetivo deste estudo foi, com o auxílio dos testes não paramétricos de Mann-Kendall e estimador de *Sen*, identificar a ocorrência de tendências e/ou variações em séries temporais relativas aos índices anuais de precipitação pluviométrica e aos índices mensais, considerando a sazonalidade do período chuvoso e menos chuvoso registrados no Sudeste Paraense, utilizando a série histórica compreendida entre 1986 a 2015 em 19 estações pluviométricas. Os resultados demonstraram que 73.69% das estações pluviométricas não apresentaram tendências significativas, enquanto 26.31% das estações apresentaram tendência, sendo 21.05% com tendências negativas e 5.26% com tendência positiva. A análise das séries no período chuvoso e menos chuvoso apresentou uma redução no regime pluviométrico ao longo dos anos. O mês de março, considerado o mais chuvoso, apresentou uma diminuição em relação ao valor médio dos índices pluviométricos de 15.21% e o mês de setembro, considerado o menos chuvoso, apresentou uma redução de 39.55%, no entanto não foram detectadas tendências nas séries mensais, ao nível de significância de 5%, apresentando a baixa eficiência deste teste em estações pluviométricas na Amazônia. A redução dos registros pluviométricos pode estar diretamente ligada às alterações no uso e ocupação do solo e às diferentes intensidades de atuação de sistemas atmosféricos e fenômenos climáticos na região.

Palavras chave: séries históricas, Mann-Kendall, precipitação.

Introdução

O desmatamento na Amazônia Legal é um assunto de preocupação global no sentido de perda da biodiversidade e impactos nas mudanças climáticas (Lapola *et al.*, 2014), por isso, diversos pesquisadores no mundo inteiro buscam quantificar o percentual de desmatamento na Amazônia e suas consequências nas vertentes sócio- econômicas e ambientais (Ferreira *et al.*, 2005; De Araújo *et al.*, 2009; Lemos e Silva, 2011; Okumura *et al.*, 2014; Martini *et al.*, 2015).

A redução das áreas florestais ocorre normalmente, devido incêndios, exploração de madeiras para fins comerciais, modificação do solo para implantação de atividades pecuárias e de agricultura ou pela ação de fenômenos naturais (Arraes *et al.*, 2012). O monitoramento das áreas desmatadas na Amazônia Legal é feita pelo projeto PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia) através de imagens de satélite desde 1988.

Segundo o PRODES, o percentual desmatado na região Amazônica é de 16% da área total, sendo a maior parte concentrada nos limites Sul e Leste da Amazônia, conhecido como “arco do desmatamento”, devido intensas atividades de agricultura, pecuária, mineradoras e madeireiras, as quais têm sobrecarregado o uso do solo e gerado consequências uma série de consequências danosas (Santos *et al.*, 2013; INPE, 2015). Alguns estudos (Coe *et al.*, 2009; Müller *et al.*, 2016; Solar *et al.*, 2016; Damien *et al.*, 2017) apontam que as alterações no uso e ocupação do solo podem provocar alterações climáticas, impactos à biodiversidade e modificações no regime

pluviométrico da Amazônia. Cohen *et al.*, (2007) e Amorim *et al.*, (2019) identificaram reduções nos índices pluviométricos a partir de simulações feitas através da substituição da floresta Amazônica por áreas desmatadas. Logo, essa pesquisa tem como justificativa comparar os resultados obtidos no Sudeste paraense com as informações encontradas em estudos já consolidados.

Em relação às modificações pluviométricas, o estudo do comportamento da precipitação em séries temporais se constitui em uma fundamental ferramenta para a gestão dos recursos hídricos (Alexandre *et al.*, 2010), por isso, alguns pesquisadores vêm explorando essa temática no intuito de criar mecanismos para realizar previsões e planejamentos, prevenindo possíveis danos causados pelo excessivo aumento ou redução do volume de chuva (Ishihara *et al.*, 2014; Loureiro *et al.*, 2015).

A análise de tendência em séries temporais permite aferir mudanças na distribuição dos dados com o tempo, em consequência de diversos fatores antrópicos ou não que devem ser levantados e analisados (Salviano *et al.*, 2016). Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com o uso dessa técnica (Martinez *et al.*, 2012; Nalley *et al.*, 2012; Pinheiro *et al.*, 2013; Loureiro *et al.*, 2015).

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo analisar a tendência de precipitação no Sudeste Paraense, área situada na região conhecida como “arco do desmatamento”, a fim de verificar possíveis mudanças no regime hidrológico devido às atividades instaladas no local para movimentação da economia.

Materiais e métodos

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), a Mesorregião do Sudeste paraense abrange 39 municípios, com área total de aproximadamente 297380 km² (Figura 1). Essa parcela do território paraense está inserida no “Arco do desmatamento”, representada por intensas atividades agrícolas e alterações significativas no uso e ocupação do solo. O clima da região é tropical, com temperatura média de 26°C e precipitação média mensal na faixa de 154 mm, sendo os meses de fevereiro a abril os mais chuvosos e os menos chuvosos os meses de agosto a outubro (MME, 2009).

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos pelo Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas – ANA, em que foram consideradas apenas estações com dados dentro da série temporal de 30 anos (1986-2015), sendo selecionadas 19 estações pluviométricas (Tabela 1) para aplicação das técnicas estatísticas.

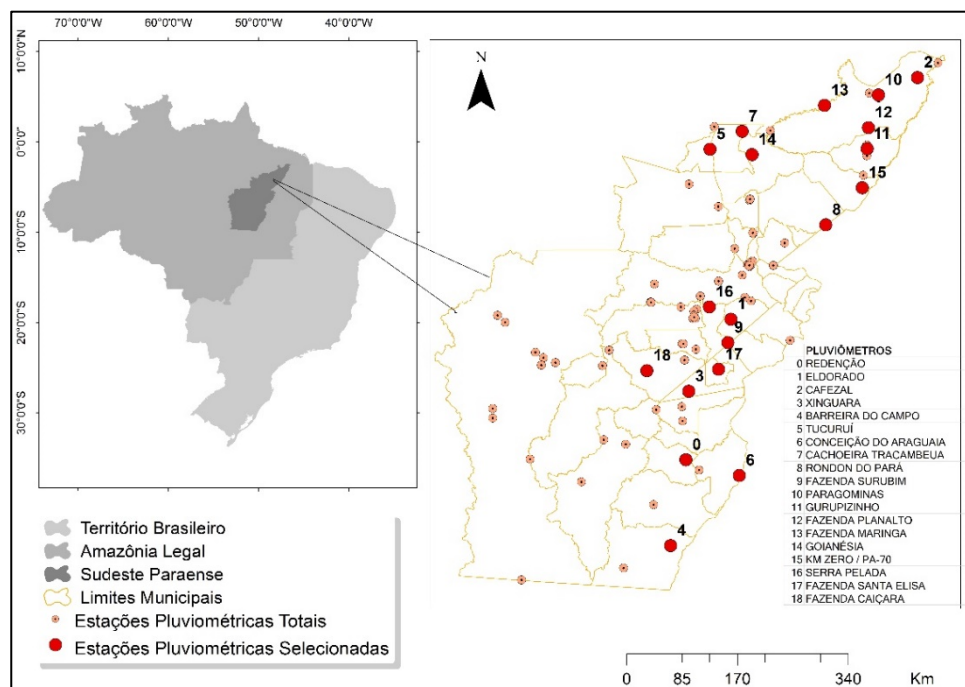


Figura 1. Localização da Mesorregião Sudeste Paraense e estações pluviométricas selecionadas.

Fonte: Autores (2018).

Tabela 1. Dados das Estações Pluviométricas Selecionadas.

Município	Nome	Código	Latitude (°)	Longitude (°)
Paragominas	Cafezal	247005	-2.77	-46.8
Paragominas	Paragominas	347000	-3.01	-47.34
Paragominas	Gurupizinho	347001	-3.75	-47.50
Paragominas	Fazenda Planalto	347002	-3.46	-47.48
São Domingos do Capim	Fazenda Maringa	348001	-3.15	-48.09
Tucuruí	Tucuruí	349000	-3.76	-49.67
Moju	Cachoeira Tracambeua	349001	-3.51	-49.22
Tucuruí	Goianésia	349002	-3.83	-49.09
Dom Eliseu	Km zero / Pa-70	447001	-4.29	-47.57
São Domingos do Capim	Rondon do Pará	448000	-4.80	-48.07
Marabá	Serra Pelada	549004	-5.93	-49.68
Marabá	Fazenda Surubim	649000	-6.43	-49.42
Sapucaia	Fazenda Santa Elisa	649001	-6.79	-49.55
Marabá	Eldorado	649002	-6.11	-49.38
Marabá	Fazenda Caiçara	650001	-6.82	-50.54
Xinguara	Xinguara	749002	-7.10	-49.96
Conceição do Araguaia	Conceição do Araguaia	849000	-8.26	-49.26
Redenção	Redenção	850000	-8.04	-50.00
Santana do Araguaia	Barreira do Campo	950001	-9.23	-50.21

Fonte: ANA (2015).

Após a organização do banco de dados com as precipitações anuais foram identificadas falhas de medição, as quais foram preenchidas pelo Método da Ponderação Regional, considerando os 3 postos vizinhos do posto a ser preenchido (Tucci, 2012). Posteriormente, os valores preenchidos foram consistidos pelo método da Dupla Massa, criado pelo Geological Survey (USA).

Para a análise de tendências nas séries temporais foi utilizado o teste não paramétrico de Mann Kendall, proposto por Mann e Kendall e recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO), sendo representada pela estatística (S) a qual é apresentada no trabalho de Xu *et al.*, (2010), (Equação 1):

$$S = \sum_{t'=1}^{n-1} \sum_{t=t'+1}^n Z_k$$

Equação (1)

Em que a série classificada Z_k é originada a partir do conjunto de dados das séries temporais y_t , $t=1, \dots, n$, comparando cada valor $y_{t'}$, $t'=1, \dots, n-1$ com os valores subsequentes y_t , $t=t'+1, t'+2, \dots, n$ e aplicando o critério apresentado pela Equação 2:

$$Z_k = \begin{cases} 1; & \text{if } y_t > y_{t'} \\ 0; & \text{if } y_t = y_{t'} \\ 1; & \text{if } y_t < y_{t'} \end{cases}$$

Equação (2)

A Equação 3: foi usada para o cálculo da variância da série histórica com valor da média ($\mu = 0$) e variância ($\sigma^2 = 1$).

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

Equação (3)

Em que p representa o número de grupos com valores repetidos, o sinal \sum indica a somatória de todos os grupos e t_i é o número de valores de dados de P^{th} grupos. Após isso, a padronização da estatística Z foi calculada de acordo com a Equação 4:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{if } S > 0 \\ 0; & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

Equação (4)

A indicação de tendência está diretamente ligada ao nível de significância pré-estabelecido (α), o qual tem objetivo de eliminar a subjetividade do teste. Valores de Z positivos indicam tendência de crescimento, valores negativos indicam tendência de decrescimento, enquanto o valor 0 representa ausência de tendência na série temporal (Gilbert, 1987).

A estimativa de magnitude das tendências foi feita através do cálculo do estimador de Sen, que consiste em um método estatístico não paramétrico através do cálculo da mediana para medir a força da tendência de uma série temporal. Segundo Ferrari *et al.*, (2012), a estimativa da inclinação indica a possibilidade de tendência e é calculada pelos pares de valores da série $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ a partir da Equação 5:

$$Se = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad \text{Equação (5)}$$

Em que X_j e X_i são os dados presentes na série nos tempos j e i , respectivamente; Se corresponde ao valor estimado da inclinação.

Em seguida, foram analisadas as tendências pluviométricas para os meses com maiores e menores registros de chuva, respectivamente. Para isso, foram elaborados gráficos de tendência em planilha eletrônica, sendo possível identificar variações ou ausência de tendência mensal na série histórica, bem como quantificar esses valores percentuais.

Resultados e discussão

As estações com tendência negativa estão localizadas nos municípios de Breu Branco, Paragominas, Rondon do Pará e Sapucaia, enquanto a estação com tendência positiva localiza-se no município de Eldorado dos Carajás.

Silva e Neto (2013) identificaram aumento nas taxas de desmatamento no município de Eldorado dos Carajás ao longo de 26 anos (1984 a 2010), no entanto, foi percebido um aumento significativo nos índices pluviométricos de $0.121 \text{ km}^3/\text{ano}$. Pôde-se verificar que o desmatamento não influenciou pontualmente na redução do volume de chuva precipitado, podendo fatores externos ter contribuído para a formação das chuvas, a exemplo, tem-se a atuação de sistemas atmosféricos, como apresentado no estudo de Albuquerque *et al.*, (2010).

A redução significativa da precipitação nas demais estações pluviométricas está diretamente relacionada com as características físicas do solo, em que a alteração na cobertura vegetal é capaz de modificar a dinâmica hidrológica da bacia (Costa *et al.*, 2003). Santos *et al.*, (2010) afirmam que a taxa de evapotranspiração está diretamente relacionada com as áreas cobertas por

florestas, provocando aumento na energia para realização desta etapa do ciclo hidrológico. Gonçalves *et al.*, (2016) realizaram uma pesquisa com 9 municípios do Sudeste paraense e comprovaram que, de modo geral, o desmatamento tem influenciado no regime de chuvas destas áreas nos últimos 5 anos, fator justificável pelo aumento no número de focos de calor.

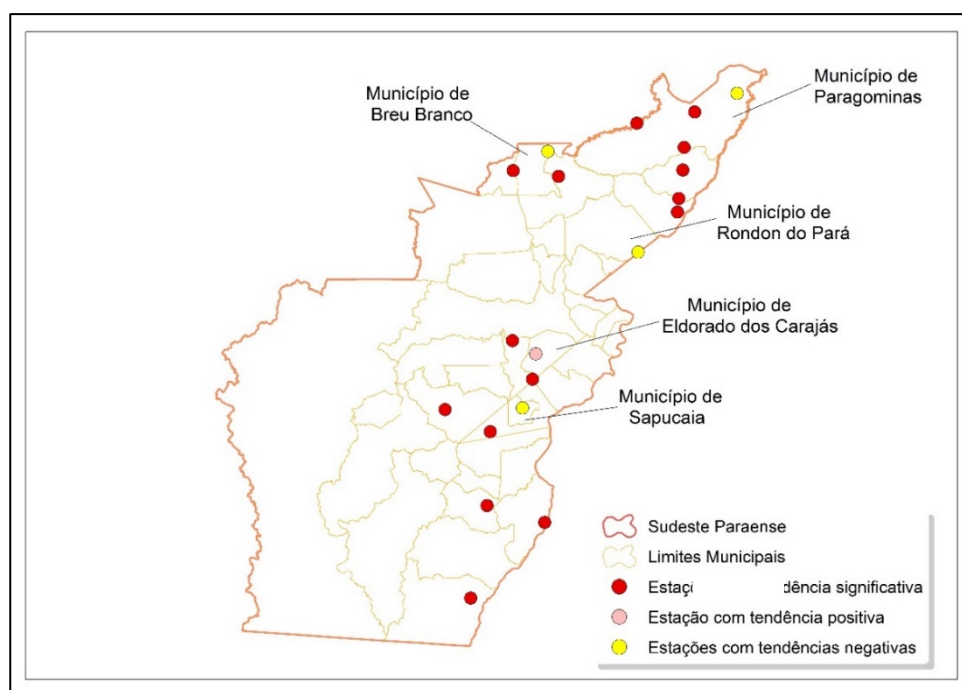


Figura 2. Espacialização das estações pluviométricas com tendências, considerando nível de significância de 5%.

Os gráficos plotados após a aplicação do teste de Mann- Kendall nas séries temporais, demonstrou que 5 estações apresentaram tendência estatisticamente significativa, considerando $\alpha = 0.05$, em apenas 26.31% das estações pluviométricas (Figura 3), sendo 21.05% com tendências negativas (estações: 247005, 349001, 448000, 649001) e 5.26% com tendência positiva (estação 649002).

Resultados semelhantes foram encontrados em estudos realizados em bacias hidrográficas da Amazônia. Na pesquisa realizada por Loureiro *et al.*, (2015) foi verificada a tendência pluviométrica em 17 estações na bacia hidrográfica do Tocantins Araguaia, comprovando ausência de tendência, considerando $\alpha = 1\%$, 5% e 10% ; Rosin *et al.*, (2015) analisaram séries pluviométricas diárias, mensais e anuais na sub-bacia do Rio das Mortes, com $\alpha = 5\%$, detectando tendência em apenas 11% das séries usadas na pesquisa.

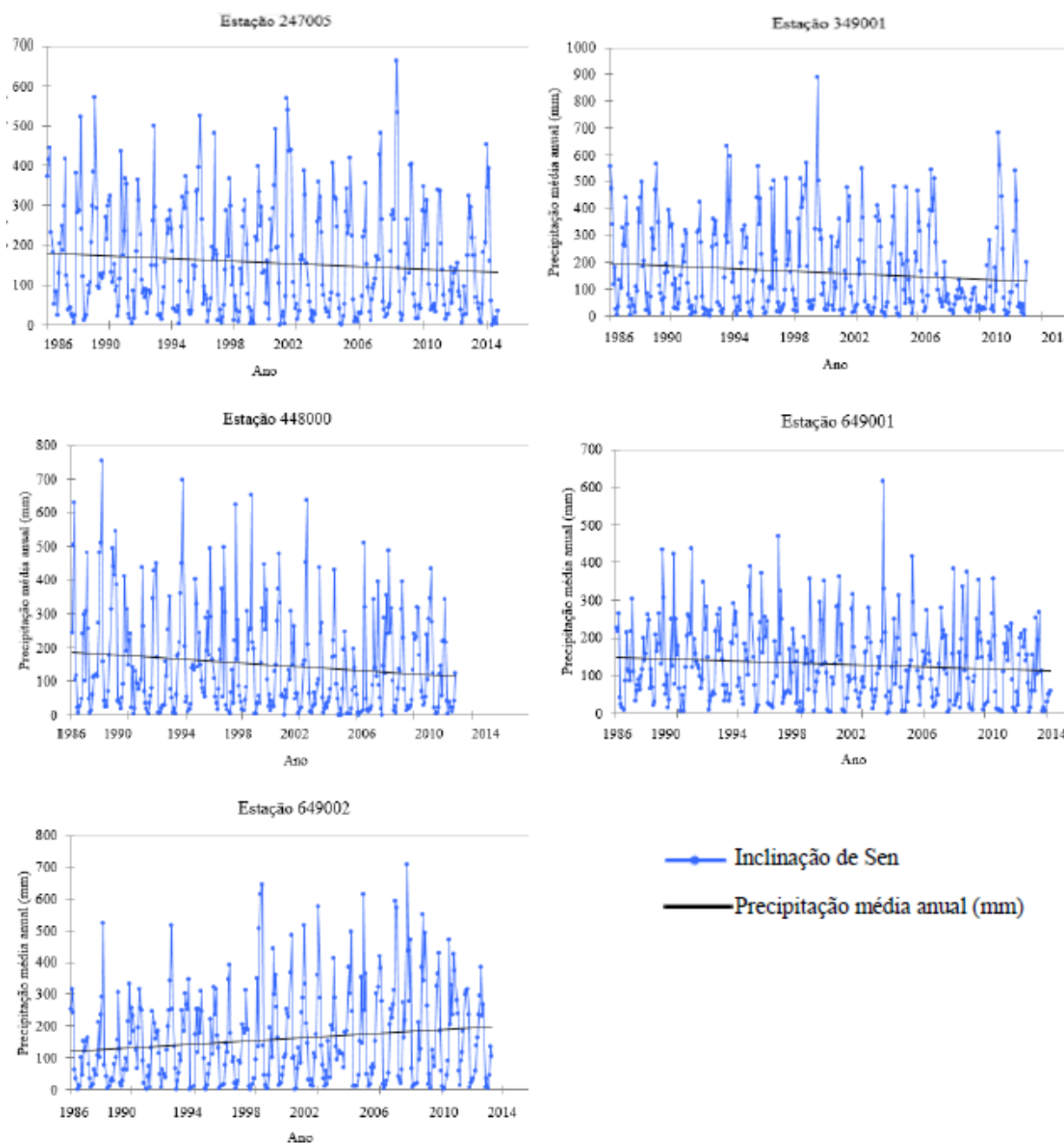


Figura 3. Análise estatística aplicada para determinação de tendências em série anuais de precipitação, com nível de significância de 5% para 5 estações pluviométricas.

Fonte: Autores (2018).

Com a aplicação do método de Sen foi possível determinar aumentos e reduções dos índices pluviométricos (Tabela 2), mesmo que estes não estejam fora do nível de confiança de 95% adotado na pesquisa. Os valores de inclinação da reta determinada pelo método de Sen apresentaram-se relativamente próximos para as 19 estações, variando de -0.108 a 0.121 km³/ano, o que comprova pouca variação no volume de precipitação registrado ao longo dos 30 anos selecionados no estudo; já os dados de Z foram calculados considerando teste bilateral para indicar a aceitação ou não da hipótese nula.

Tabela 2. Estatística Z de Mann Kendall e inclinação da reta gerada pelo método de Sen para as séries anuais de precipitação. Valores estatisticamente significativos, com $\alpha = 5\%$ encontram-se em negrito.

Código	Estatística Z	Inclinação de Sen (km ³ /ano)
247005	-1.43	-0.106
347000	0.25	-0.023
347001	0.97	-0.025
347002	1.30	0.023
348001	0.93	-0.026
349000	1.00	0.010
349001	-0.82	-0.108
349002	1.06	-0.059
447001	2.02	-0.052
448000	-1.91	-0.099
549004	1.02	-0.040
649000	0.95	-0.019
649001	-0.51	-0.095
649002	0.26	0.121
650001	0.37	-0.057
749002	1.26	0.100
849000	1.42	0.033
850000	1.37	-0.083
950001	1.18	0.058

Fonte: Autores (2018).

Um total de 73.69% das estações pluviométricas não apresentou tendência, no entanto, com a aplicação do método de Sen foi possível detectar uma queda no volume precipitado em 68.42% das estações. Algumas pesquisas consideram apenas a influência das atividades de sistemas atmosféricos, como apresentado por Albuquerque *et al.*, (2010), os quais realizaram um estudo sobre precipitações em 6 mesorregiões do Pará e detectaram as menores oscilações pluviométricas no Sudeste Paraense, em função da ação da Zona de Convergência Intertropical e Zona de Convergência do Atlântico Sul. No entanto, outras pesquisas tratam como prioridade a

questão do desmatamento como causa para alterações no ciclo hidrológico e no equilíbrio dos ecossistemas, dentre elas, encontram-se as de Lemos e Silva (2011), os quais afirmaram que o Estado do Pará apresenta 32.73% do seu território desmatado, contribuindo com aproximadamente 70% de retirada do Bioma Amazônico, juntamente com o Estado de Mato Grosso; Riveiro *et al.*, (2009) identificaram o Sudeste paraense como uma das áreas com maiores taxas de desmatamento na Amazônia Legal, devido ao processo de ocupação que ocorre desde a década de 1970.

A Figura 4 representa o comportamento da precipitação no Sudeste paraense, destacando os meses de maiores e menores oscilações pluviométricas.

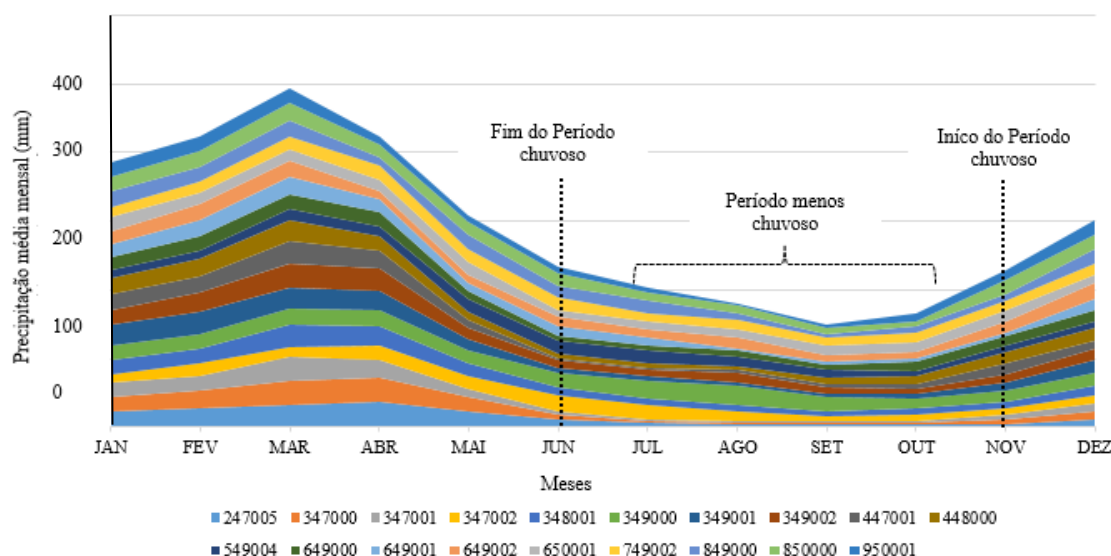


Figura 4. Variações pluviométricas do período chuvoso e menos chuvoso para o Sudeste Paraense.

O comportamento das precipitações ao longo do ano é sustentado pelas pesquisas de Martha Júnior *et al.*, (2011); Souza e Castellón (2012), os quais identificaram que a Amazônia possui dois períodos do ano bem definidos: o período chuvoso, que inicia em novembro a dezembro e prolonga-se até os meses de maio a junho, e o menos chuvoso representado pelos baixos índices pluviométricos, compreendendo geralmente o período de julho a outubro, considerados meses de transição.

Após o tratamento dos dados, verificou-se que o mês com maiores registros pluviométrico do período chuvoso é março, enquanto o mês com menores registros pluviométricos do período menos chuvoso é setembro. Dessa forma, a análise de tendência foi feita para os dois meses, considerando nível de significância de 5% (Figuras 5 e 6), apresentando a linha de tendência do mês mais chuvoso e do menos chuvoso no formato de gráficos.

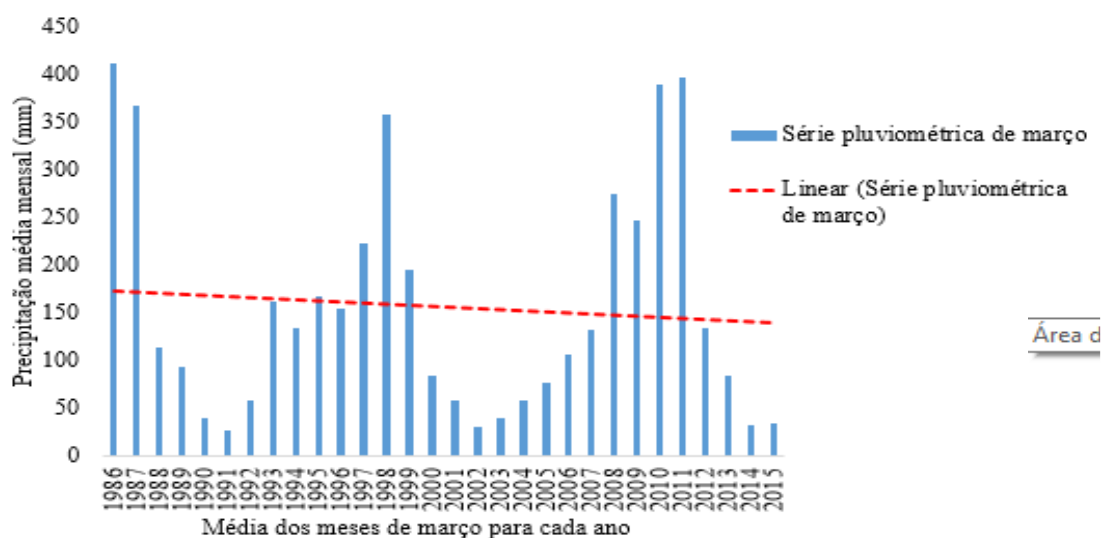


Figura 5. Comportamento pluviométrico do mês de março ao longo dos 30 anos da série temporal.

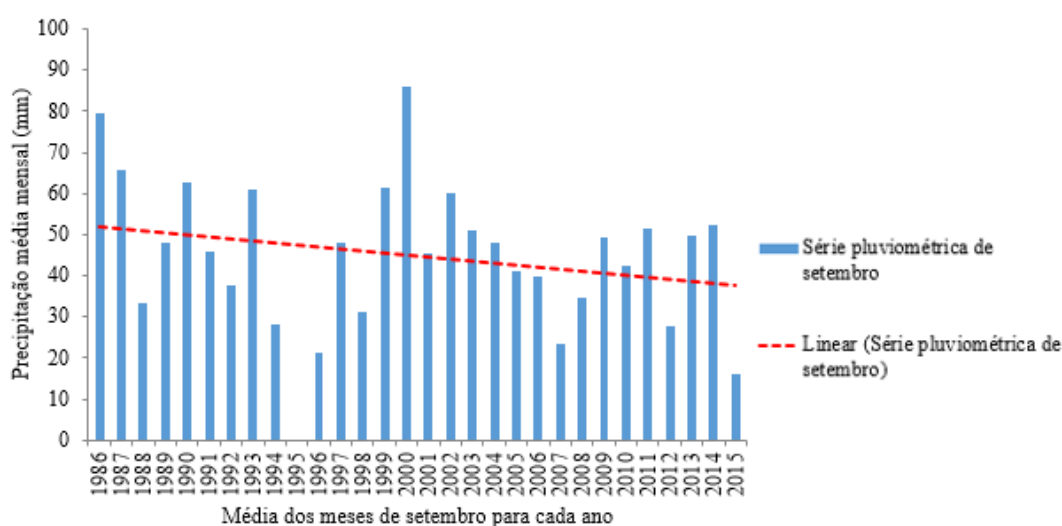


Figura 6. Comportamento pluviométrico do mês de setembro ao longo dos 30 anos da série temporal.

Após a elaboração dos gráficos, verificou-se que as precipitações tendem a reduzir tanto no período chuvoso, quanto no menos chuvoso. Considerando apenas o mês de março, houve uma diminuição em relação ao valor médio dos índices pluviométricos de 15.21%; já no mês de setembro, essa redução foi de 39.55%. A pesquisa realizada por Ishihara *et al.*, (2014) confirmou a redução dos índices pluviométricos na região que compreende o Sudeste paraense, tendo como pressuposto a influência das taxas de desmatamento na dinâmica do ciclo hidrológico, bem como a interferência de fatores meteorológicos. Apesar de terem sido identificadas reduções na precipitação, devido à linha de tendência, a aplicação do teste de mann-kendall em condições pré-definidas também não detectou tendências nas séries mensais, comprovando a baixa eficiência deste teste em estações pluviométricas localizadas na Amazônia, como também observado nos estudos de Loureiro *et al.*, (2015), Rosin *et al.*, (2015) e Neves *et al.*, (2018).

Conclusões

A análise de tendência nas séries temporais do sudeste Paraense demonstrou que houve pouca variação no volume precipitado ao longo dos 30 anos selecionados no estudo. Considerando as precipitações médias anuais, a representatividade do teste estatístico de mann-kendall mostrou-se baixa, abrangendo apenas 5 estações pluviométricas com tendência significativa, para nível de confiança de 95%. Apesar disso, o estimador de *Sen* detectou reduções nas oscilações pluviométricas, o que pode estar relacionado com o aumento das áreas desmatadas para implantação de atividades, como: agropecuária e agricultura na região, bem como pela influência de sistemas atmosféricos responsáveis pela formação das chuvas.

O estudo da sazonalidade na região mostrou que as precipitações reduziram tanto no período chuvoso, quanto no período menos chuvoso. Apesar de terem sido identificadas reduções na precipitação, a aplicação do teste de mann-kendall em condições pré-definidas também não detectou tendências nas séries mensais, comprovando a baixa eficiência deste teste de forma isolada em estações pluviométricas localizadas na Amazônia.

Referências

- Albuquerque, M. F., Souza, E. B., Oliveira, M. C. F., Júnior, J. A. S. (2010) Precipitação nas mesorregiões do Estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008) *Revista Brasileira de Meteorologia*, **6**, 151-168.
- Alexandre, G. R., Baptista, M. B., Naghettini, M. (2010) Estudo para Identificação de Tendências do Regime Pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a Partir de Métodos Estatísticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **15**(2), 115-126.
- Amorim, T. X., Senna, M. C. A., Cataldi, M. (2019) Impactos do desmatamento progressivo da Amazônia na precipitação do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, **24**, 151-174.
- Arraes, R. A., Mariano, F. Z., Simonassi, A. G. (2012) Causas do Desmatamento no Brasil e seu Ordenamento no Contexto Mundial. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, **(50)**1, 119-140.

- Araújo, M. S. M., Silva, C., Campos, C. P. (2009) Land use change sector contribution to the carbon historical emissions and the sustainability- Case study of the Brazilian Legal Amazon. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**, 696-702.
- Coe, M. T., Costa, M. H., Soares-Filho, B. S. (2009) The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology*, **369**, 165-174.
- Cohen, J. C. P., Beltrão, J. C., Gandu, A. W., Da Silva, R. R. (2007) Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico da Amazônia. *Ciência e Cultura*, **59**(3), 36-39.
- Costa, M. H., Botta, A., Cardille, J. A. (2003) Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology*, **283**, 206-217.
- Damien, A., Isabelle, T., Christovam, B., Nicolas, J., Vincent, D. (2017) Land use sustainability on the South-Eastern Amazon agricultural frontier: Recent progress and the challenges ahead. *Applied Geography*, **80**, 86-97.
- Ferrari, A. L., Vecchia, F. A. S., Colabone, R. O. (2012) Tendência e Variabilidade Anuais da Temperatura e da Pluviosidade em Pirassununga-SP. *Revista Brasileira de Climatologia*, **10**, 30- 46.
- Ferreira, L. V., Venticinqu, E., Almeida, S. (2005) O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estudos avançados*, **19**(53), 157-166.
- Gilbert, R. O. (1987) *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. New York: Van Nostrand Reinhold, 320 pp.
- Gonçalves, E. D., Neves, R. R., Sousa, L. P. A., Araújo, E. C. (2016) Interferência do Regime Pluviométrico na Incidência de Focos de Calor no Sudeste Paraense considerando o fenômeno El Niño Oscilação- Sul. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, **10**(1), 35-42.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016) *Malhas digitais. Município 2010*. Acesso: mar. de 2016, disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/malhas_digitais/municipio_2010/pa
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2015) *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite*. Acesso: jan. de 2016, disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>
- Ishihara, J.H., Fernandes, L.L., Loureiro, G.E. (2014) Quantitative and Spatial Assessment of Precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) - (1978 to 2007) *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **19**(1), 29-39.
- Lapola, D. M., Martinelli, L. A., Peres, C. A., Ometto, J., Ferreira, M. E., Nobre, C. A., Aguiar, A. P. D., Bustamante, M. M. C., Cardoso, M. F., Costa, M. H., et al. (2014) Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *National Climate Change*, **4**, 27-35.
- Lemos, A. L. F., Silva, J. A. (2011) Desmatamento na Amazônia Legal: Evolução, Causas, Monitoramento e Possibilidades de Mitigação Através do Fundo Amazônia. *Floresta e Ambiente*, **18**(1), 98-108.
- Loureiro, G. E. Fernandes, L. L., Ishihara, J. H. (2015) Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region. *Acta Scientiarum*, **37**(1), 89-98.
- Martha Júnior, G. B., Contini, E., Navarro, Z. (2011) *Caracterização da Amazônia Legal e macrotendências do ambiente externo*. Brasília- DF: Embrapa Estudos e Capacitação.
- Martinez, C. J., Maleski, J. J., Miller, M. F. (2012) Trends in precipitation and temperature in Florida, USA. *Journal of Hydrology*, **452-453**, 259-281.
- Martini, D. Z., Moreira, M.A., Aragão, L. E. O. e C., Formaggio, A. R., Dalla-Nora, E. L. (2015) Potential land availability for agricultural expansion in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.07.005>
- Ministério de Minas e Energia (2009) *Nota Técnica DEA 01/09: Análise Socioambiental de Alternativas para o Atendimento ao Sudeste do Pará, Nordeste de Mato Grosso e Centro Oeste de Tocantins (Relatório 1)* Acesso: mar. de 2016, disponível em: <http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Documents/Estudos%20socioambientais%20de%20expans%C3%A3o%20da%20transmiss%C3%A3o/Sudeste%20do%20Par%C3%A1,%20Nordeste%20de%20Mato%20Grosso%20e%20Centro-Oeste%20do%20Tocantins%20-%20Relat%C3%B3rio-R1.pdf>

- Müller, H., Griffith, P., Hostert, P. (2016) Long-term deforestation dynamics in the Brazilian Amazon—Uncovering historic frontier development along the Cuiabá-Santarém highway, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **44**, 61-69.
- Nalley, D., Khalil, A. B. (2012) Using discrete wavelet transforms to analyze trends in streamflow and precipitation in Quebec and Ontario (1954–2008) *Journal of Hydrology*, **475**, 204-228.
- Neves, R. R., Gonçalves, E. D., Correa, J. P., Pessoa, F. C. L., Fernandes, L. L. (2019) Caracterização pluviométrica da bacia hidrográfica do Rio Negro em território brasileiro. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, **12**(2), 280-293.
- Okumura, M. H., Passos, A., Nader, B., Tomi, G. (2015) Improving the monitoring, control and analysis of the carbono accumulation capacity in Legal Reserves of the Amazon forest. *Journal of Cleaner Production*, **104**, 109-120.
- Pinheiro, A., Graciano, R. L. G., Severo, D. L. (2013) Tendência das Séries Temporais de Precipitação da Região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **28**(3), 281-290.
- Riveiro, S., Almeida, O., Ávila, S., Oliveira, W. (2009) Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Revista Nova Economia*, **19**(1), 41-66.
- Rosin, C., Amorim, R. S. S., Morais, T. S. T. (2015) Análise de tendências hidrológicas na bacia do rio das Mortes. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **20**(4), 991-998.
- Salviano, M. F., Groppo, J. D., Pellegrino, G. Q. (2015) Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **31**(1), 64-73.
- Santos, E. H. M., Griebeler, N. P., Oliveira, L. F. C. (2010) Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **14**(8), 826-834.
- Santos, D., Pereira, D., Veríssimo, A. (2013) O Estado da Amazônia: Uso da Terra. Belém, PA. IMAZON, 70p. Acesso: mar. de 2017, disponível em: http://amazon.org.br/PDFamazon/Portugues/livros/OEA_USOTERRA.pdf
- Silva, M. R., Neto, J. F. C. (2013) Análise multitemporal da cobertura florestal do município de Eldorado dos Carajás, PA. *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Foz do Iguaçu, Brasil.
- Solar, R. R. C., Barlow, J., Andersen, A. N., Schoederer, J. H., Berenguer, E., Ferreira, J. N., Gardner, T. A. (2016) Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communities. *Biological Conservation*, **197**, 98-107.
- Souza, L. A. G., Castellón, E. G. Desvendando as fronteiras do conhecimento na região amazônica do Alto Rio Negro, 2012. Acesso: jan. de 2016, disponível em: [http:// www.inpa.gov.br/arquivos/livro_fronteras/02-Livro_Fronteras.pdf](http://www.inpa.gov.br/arquivos/livro_fronteras/02-Livro_Fronteras.pdf)
- Tucci, C. E. M. (org) (2012) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 4ª Edição, Editora da UFRGS e EDUSP ABRH, Porto Alegre, Brasil, 944 pp.
- Xu, K., Milliman, J.D., Xu, H. (2010) Temporal trend of precipitation and runoff in major Chinese Rivers since 1951. *Global and Planetary Change*, **73**, 219-232.