

IV-166 – ANÁLISE DE TENDÊNCIA DE PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS ENOS NA REGIÃO DE ABUNÃ, LOCALIZADA EM PORTO VELHO - RONDÔNIA

Rafaela Nazareth Pinheiro de Oliveira Silveira ⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Faculdade Ideal. Mestre em Geotecnia pela Universidade de Brasília (UnB). Professora Assistente A do Instituto de Geociências e Engenharias da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA).

Lindemberg Lima Fernandes ⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA), Mestre em Geofísica (UFPA) e Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido (UFPA). Docente do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará - Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental – FAESA. Tutor do Programa de Educação Tutorial - Secretaria de Educação Superior- MEC, PET Engenharia Sanitária e Ambiental.

Maria de Nazaré Alves da Silva ⁽²⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA), especialista em Gestão Ambiental (NUMA/UFA), mestre em Engenharia Civil, doutoranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, área Engenharia Hídrica. Professora da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

Daniel Alvino Mesquita ⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Pará (UFPA), especialista em Segurança do Trabalho (UFPA), mestrando em Engenharia Civil no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, área Engenharia hídrica. Professor Substituto do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará.

Gabrielle Souto da Rocha ⁽²⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Pará (UFPA), especialista em Segurança do Trabalho (Faci), mestranda em Engenharia Civil no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, área Engenharia hídrica.

Endereço⁽¹⁾: Folha 17, Quadra 4, Lote especial - Nova Marabá – Marabá-PA - CEP: 68050-080 - Brasil - Tel: (94) 2101-5910 e e-mail: rafaelasilveira@unifesspa.edu.br

RESUMO

O estudo foi aplicado no distrito de Abunã, por meio da análise de 31 anos de dados da estação pluviométrica Abunã (Código ANA - 965001), localizado em Porto Velho - Rondônia, com o objetivo de avaliar a tendência da série histórica de precipitação pluviométrica e as influências dos eventos climáticos El Niño e La Niña. No desenvolvimento do estudo foram aplicados os testes não paramétricos de Mann-Kendall, Spearman e o Estimador Sen Slope, por meio dos softwares BioEstat 5.3 e XLSTS 2016, e os resultados apresentados em tabelas e gráficos. De acordo com os resultados obtidos, detectou-se que o comportamento hidrológico da região sofreu influência dos eventos La Niña (88/90) e de El Niño (90/93). A tendência da série histórica foi de crescimento da precipitação, confirmados pelos testes não paramétricos, para os níveis de significância de $\alpha=0,05$ e $\alpha= 0,1$.

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação, Tendência, Estatística, ENOS.

INTRODUÇÃO

A precipitação é um importante componente do ciclo hidrológico, ela consiste de uma variável de entrada, essencial para dinâmica do meio físico e ambiental. Seu comportamento governa desde o setor agro econômico até integridade ambiental.

Segundo Dahria et al. (2016), a precipitação é que governa os recursos hídricos renováveis, que afetam diretamente a geração de energia hidrelétrica e a segurança ambiental. Ressaltam a importância de refinar os dados de precipitação, pois erros nas estimativas de precipitação podem se traduzir em grandes mudanças nas estimativas de escoamento superficial e na distribuição de água.

Diversos estudos têm sido realizados a fim de analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação na Amazônia. A realização de vários experimentos nos últimos anos tem conduzido a um melhor entendimento da interação biosfera-atmosfera e de sua influência na formação de nuvens e chuvas no decorrer do ano e em diferentes regiões na bacia amazônica (CORREIA et al., 2007).

As precipitações anuais na Amazônia Oriental (Pará) tendem a decrescer do setor costeiro para o interior, decorrente da forma como se originam os sistemas de circulação ao penetrarem a região (FIGUEROA E NOBRE, 1990; MENEZES ET AL., 2015). Em estudo de Menezes et al. (2015), para avaliação de fatores que influenciam as precipitações e identificação das regiões que possuem comportamentos semelhantes em termos hídricos pluviais, foram utilizadas as médias mensais de precipitação de 66 estações meteorológicas, no período entre 1982 e 2011, obtidas na rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). Utilizou como delimitação das regiões pluviometricamente homogêneas a aplicação da análise de agrupamento hierárquica, cujo objetivo é evidenciar a existência de grupos homogêneos e heterogêneos dentro de uma população de dados. Como resultado da análise de agrupamento das precipitações mensais, foram identificadas 3 regiões pluviometricamente homogêneas.

Neste trabalho, a investigação foi motivada por dados pluviométricos para compreensão das dinâmicas espaciais e temporais de longo prazo para a região da Estação Abunã, localizada na Sub-bacia dos rios Amazonas, Madeira e Guaporé, Bacia do Amazonas, na capital de Porto Velho do estado de Rondônia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Abunã é um distrito da capital Porto Velho do Estado de Rondônia, localizada na porção ocidental da Amazônia. A série histórica de precipitação, objeto deste trabalho, é a Estação Abunã (Código ANA - 965001), que se encontra localizada nas seguintes coordenadas geográficas: 09° 42' 11" de Latitude Sul e 65° 21' 53" de Longitude Oeste, com altitude média de 64 metros. As séries de dados de chuva utilizados neste estudo foram obtidas junto ANA, a partir do sistema de informações hidrológicas, o Hidroweb (HIDROWEB, 2016).

As duas etapas de trabalho serão descritas a seguir:

PRIMEIRA ETAPA: PREENCHIMENTO DE FALHAS

A técnica utilizada para o preenchimento de falhas foi o método de regressão linear simples. Portanto, a série histórica de precipitações com falhas foi a Estação Abunã e para o preenchimento baseou-se em dados de precipitação de série histórica completa de uma estação vizinha chamada Juma (Código ANA - 662001). Ambas, pertencem a bacia hidrográfica do Amazonas e sub-bacia do Rio Amazonas, Madeira e Guaporé. As duas estações possuem série temporal com 31 anos, entre os anos de 1985 a 2015.

A regressão simples consiste na previsão de valores de uma variável de resposta ou dependente (valores estimados de precipitação da estação Abunã) através de uma variável explicativa ou independente (valores de precipitação da estação Juma), por meio da equação de regressão simples linear (Eq.01):

$$\hat{y} = a + bx \quad \text{Equação (1)}$$

Em que: \hat{y} = valor estimado da variável dependente (precipitação da estação Abunã); a = Coeficiente linear; b = Coeficiente angular da correção; x = Valor da variável independente (precipitação da estação Juma).

Para a determinação dos coeficientes da regressão pelo método dos mínimos quadrados, sendo eles o coeficiente da qualidade do ajuste ou de determinação (r^2) e o coeficiente de Pearson ou de explicação (r), baseou-se a partir de um conjunto de n valores da variável y (precipitações da estação Abunã), associados às n observações correspondentes das x (precipitação da estação Juma). Em que a qualidade da equação estimada pode ser realizada por meio do r^2 da regressão simples que pode variar de ($0 \leq r^2 \leq 1$), equação 02:

$$r^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - y)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que: \hat{y}_i - Valor estimado da variável dependente; \bar{y} - média da variável dependente observada; y_i - Valor calculado da variável dependente.

Enquanto, o coeficiente r de Pearson pode ser determinado a partir da equação (03) e pode variar de -1 (correlação perfeita negativa), +1 (correlação perfeita positiva), passando pelo valor 0 (ausência de correlação):

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n\sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad \text{Equação (3)}$$

Em que: n - Número de termos; x - Valor da variável independente observada; y - Valor da variável dependente observada.

Para avaliação da associação entre os fenômenos da Oscilação Sul (El Niño e La Niña) e a variabilidade no regime precipitações diárias máximas por ano hidrológico, elaborou-se gráficos de média móvel com uma periodicidade de três anos, já que os fenômenos possuem uma tendência de variar de três a sete anos. Além disso, foi feita a análise da influência dos eventos ENOS sobre os totais anuais da série histórica de precipitação.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

A correlação feita por meio de regressão simples dos dados de precipitação das duas estações, sendo elas a estação observada Abunã (que apresentava falhas mensais e anuais) e a Estação Juma (estação completa) que serviu para preenchimento de falhas está presente na Figura 1.

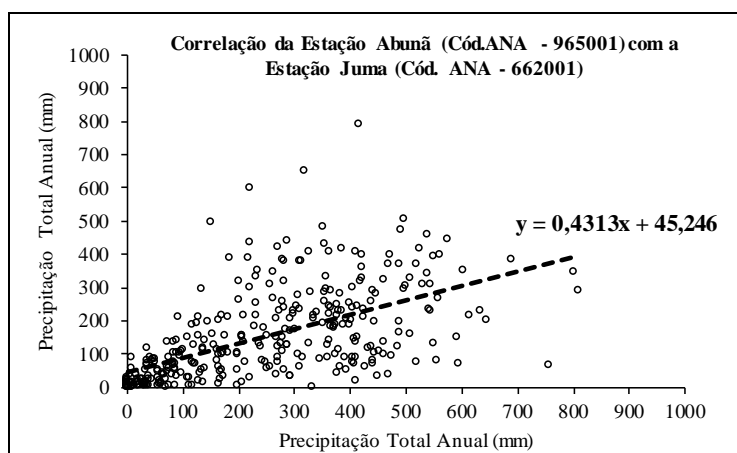


Figura 1: Correlação da estação observada com a estação auxiliar.

De acordo com a Figura 1, pode-se observar que a equação regressão utilizada para o preenchimento de falhas da estação Abunã foi:

$$\hat{y} = 0,4313x + 45,246$$

Em que: x = precipitação concordante da estação Juma. \hat{y} = precipitação estimada da estação Abunã.

Em relação a qualidade de ajuste da regressão simples, destacam-se que o coeficiente de Pearson encontrado foi de 0,57 resultando numa correlação moderada entre as séries históricas de precipitação. E o valor de r^2 foi de 0,32.

Do total de 31 anos analisados, apenas 11 anos (35,50%) apresentaram valores de precipitação anual abaixo da média da série histórica que é de 1849,84mm. Sendo que, os valores abaixo da média se concentram entre os anos de 1990 a 1999, conforme pode ser observado na Figura 3.

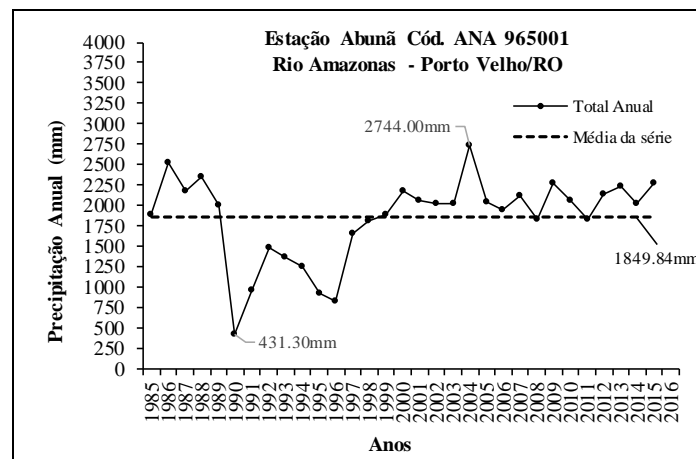


Figura 3: Total anual da Estação Abunã.

Ao destacar os valores máximos e mínimos da série de precipitação, percebe-se que a mínima precipitação ocorreu no ano de 1990, coincidindo com o período do fenômeno El Niño com intensidade forte. Em 2004, ocorreu a máxima precipitação, porém não ocorreram fenômenos de oscilação de orientação sul com intensidade forte.

Cabe comentar que, as análises de variabilidade de precipitações com eventos climatológicos são mais viáveis quando se trata de média móvel, uma vez que a periodicidade que pode ser amarrada de 3 em 3 anos, coincide com o período de ocorrência dos eventos climáticos.

A média móvel é uma das técnicas utilizadas na análise de séries temporais. O gráfico de média móvel de 31 anos foi elaborado considerando o ano hidrológico (janeiro a dezembro). Neste contexto, este trabalho investigou a variabilidade espaço – temporal da precipitação associada aos dois eventos de El Niño fortes (90/93 e 97/98) e dois eventos de La Niña fortes (88/90 e 2007/2008). A Figura 4 exemplifica os resultados obtidos de média móvel com periodicidade de 3 anos, da Estação Abunã.

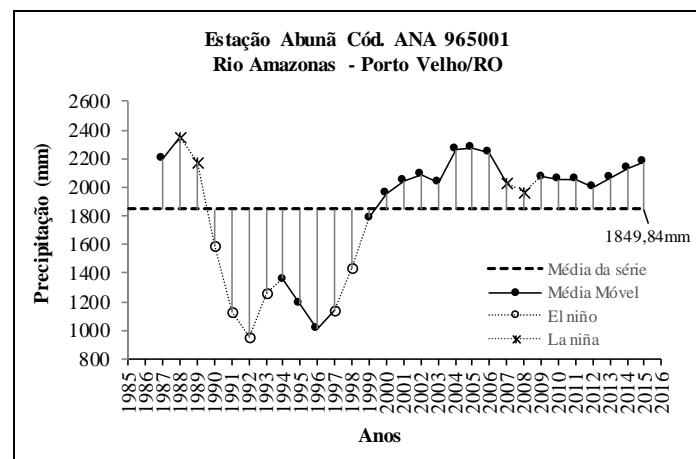


Figura 4: Média móvel da Estação Abunã - Rondônia.

Por meio da análise da Figura 4 foi possível perceber que o evento de El Niño com intensidade forte implicou em valores de precipitação bem inferiores à média da série, entre os anos 1990 a 1993. Porém, no período do segundo evento do El Niño, também considerado de intensidade forte, as precipitações ficaram em torno da média da estação. Não foi possível afirmar, nesse caso, que está ocorrendo alguma mudança significativa devido ao evento climático.

Para o primeiro evento de La Niña com intensidade forte, durante 1988 a 1990, ocorreu brusca oscilação de precipitação. Pois, primeiramente, apresentou precipitações elevadas, bem acima da média da série e a partir do ano de 1990 ocorreu alteração dos valores de precipitação abaixo da média da série até atingir o mínimo da

média móvel. Porém, o comportamento descrito no primeiro evento de La Niña não foi observado no evento ocorrido entre os anos de 2007 a 2008, onde as precipitações se mantêm dentro de uma linearidade, entretanto ainda acima da média da série de precipitação.

SEGUNDA ETAPA: ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIE TEMPORAL DE PRECIPITAÇÃO.

Para avaliação da tendência da série histórica de precipitação foi utilizado dois testes não paramétricos que são Mann-Kendall, Spearman e Sen's Slope, conforme metodologia adotada por (ALENCAR et al., 2014).

O método de Mann-Kendall, amplamente utilizado por pesquisadores, consiste num teste não-paramétrico para avaliação se há tendência de crescimento ou diminuição, neste trabalho, em termos de precipitação.

O teste de Mann-kendall foi calculado a partir das Equações 04 e 05:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad \text{Equação (4)}$$

$$z = \begin{cases} \frac{(S-1)}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{(S+1)}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad \text{Equação (5)}$$

Em que: S = Soma.

Em função da análise da estatística z é feita a decisão final de aceitar ou rejeitar H_0 , portanto pode-se confirmar a hipótese de estabilidade dos dados ou rejeitá-la, a favor da hipótese alternativa que indica haver tendência nos dados. Valores positivos de z indicam tendências crescentes e valores negativos de z mostram tendências decrescentes.

Callegaria-Jacques (2003) define que o coeficiente Rho (r_s) de Spearman mede a intensidade da relação entre as variáveis ordinais (postos) e sua interpretação é semelhante ao coeficiente de Pearson (r). Porém, o coeficiente r_s indica correlação entre postos e não entre os valores efetivamente medidos, podendo variar de -1 a 1.

Neste trabalho, os postos são dois em sua totalidade, sendo um referente aos anos das séries de precipitação e o segundo posto os valores de precipitação total anual.

O Coeficiente r_s de Spearman é calculado pela equação 06:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad \text{Equação (6)}$$

Em que: d_i - $y_i - x_i$ (diferença de ranque); n - Tamanho da amostra.

Para a avaliação de tendência é necessário determinar os parâmetros conforme as equações 07 a 09.

$$\text{Var}_{[r_s]} = \frac{1}{n-2} \quad \text{Equação (7)}$$

Em que: $\text{Var}_{[r_s]}$ - Variância da amostra; n - Tamanho da amostra.

$$t_{\text{crít.}} = \frac{r_s}{\sqrt{\text{Var}_{[r_s]}}} \quad \text{Equação (8)}$$

Em que: $\text{Var}_{[r_s]}$ - Variabilidade da amostra; $t_{\text{crít.}}$ = t de student ou $t_{\text{crítico}}$.

$$t_{\text{calc.}} = \frac{r_s}{\sqrt{\frac{1-r_s^2}{n-2}}} \quad \text{Equação (9)}$$

Callegaria-Jacques (2003) comenta que neste caso, o valor de $t_{\text{calc.}}$ obtido é comparado com o t de student crítico, e a regra de decisão é a tradicional: se $|t_{\text{calc.}}|$ for igual ou maior do que o $t_{\text{crít.}}$, a correlação é estatisticamente significativa.

Caso uma tendência linear seja apontada em uma série temporal, então a inclinação verdadeira (variação por unidade de tempo) pode ser estimada utilizando-se um teste não paramétrico, denominado Sen. Esse teste permite determinar a altura de lamina d'água proveniente de precipitação pluvial, a unidade resulta do teste é mm, podendo ser positiva ou negativa. Para resultados positivos explica-se um aumento da lamina d'água por ano, enquanto que para valores negativos de Sen pode ser entendido como decrescimento de lamina d'água ao longo do tempo.

A estimativa da inclinação de N pares de dados é computada pela Eq. 10.

$$Q_i = \frac{X_j + X_k}{j - k} \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, N \quad \text{Equação (10)}$$

Em que: X_j e X_k - são os valores dos dados no tempo j e k ($j > k$), respectivamente. A mediana dos N valores de Q_i é o estimador da inclinação de Sen; se N é ímpar, então o estimador de Sen é calculado pela Eq. 11.

$$Q_{\text{méd}} = Q_{[N+1/2]} \quad \text{Equação (11)}$$

Se N for par, o estimador da inclinação de Sen é calculado pela equação 12.

$$Q_{\text{méd}} = \frac{1}{2} (Q_{[N/2]} + Q_{[N+2/2]}) \quad \text{Equação (12)}$$

Assim, $Q_{\text{méd}}$ é testada com um teste bilateral a nível de $100(1 - \alpha)\%$ de intervalo de confiança, dado pela Equação 13.

$$IC_{\alpha} = Z_{[1-\alpha/2]} \sqrt{\text{Var}(Q)} \quad \text{Equação (13)}$$

Em que: $\text{Var}(Q)$ foi definido na Eq. 10, e $Z_{[1-\alpha/2]}$ é obtido a partir da tabela da distribuição normal padronizada, é importante comentar que, os limites inferior e superior do intervalo de confiança deverão ser calculados. O estimador Sen foi calculado no software Xlstat.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Os estudos de tendências em séries temporais são importantes por causa da necessidade de se compreender o impacto que o homem pode ter sobre o meio ambiente.

Neste trabalho, foram utilizados três testes não paramétricos para avaliação da tendência da série histórica da Estação Abunã, que são: Mann-Kendall, Spearman e Sen.

Após a montagem da série temporal por ano hidrológico, verificou-se a tendência estimadas pelos testes não paramétricos, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados dos testes não-paramétricos da série temporal da Estação Abunã.

Testes Não - Paramétricos	Resultados	$\alpha=0,1$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$	Índices de tendência
Mann-Kendall (1985-2015) - 31 anos	$Z_{MK} = 2,04$	1,645	1,96	2,576	S^+ (0,05 e 0,01)
Spearman (1985 - 2015) - 31 anos	$t_{crit.} = 1,72$ $t_{calc.} = 1,81$	1,645	1,96	2,576	S^+ (0,01)
Sen (1985-2015) - 31 anos	Sen = 18,48				S^+

Legenda: S^+ representa tendência positiva significativa, S^- tendência negativa significativa e S^0 mostra que a tendência é nula. α representa o nível de significância.

Sobre o teste Mann-Kendall, foi possível observar tendência de crescimento da precipitação ao analisar a série completa com 31 anos, verificou-se que a hipótese é classificada como alternativa, para $\alpha = 0,05$ e $\alpha = 0,1$.

Para o teste não paramétrico de Spearman, o resultado de tendência positiva convergiu também para hipótese alternativa, com tendência positiva, para o período de estudo.

Como último teste não paramétrico utilizado neste trabalho, tem-se o estimador Sen's que imprimiu resultado semelhante aos dois anteriores, como tendência de aumento nas precipitações ao longo do tempo. Em termos de altura de lamina d'água, por meio do teste Sen, para a região da estação Abunã encontrou-se o valor de 18,48mm para os 31 anos analisados.

Os resultados do teste de Mann-Kendall, de um modo geral, coincidiram com os resultados do teste de Spearman e Sen.

CONCLUSÕES

Os resultados da análise espacial mostram que no primeiro evento de El Niño com intensidade forte, ocorrido entre os anos de 1990 e 1993, implicou em valores de precipitações inferiores à média da série histórica de precipitação. E que o primeiro evento ENOS teve maior influência na variabilidade de precipitação, quando comparado com o segundo evento ocorrido entre os anos de 1997 a 1998, pois os valores de precipitação ficaram em torno da média da série da estação.

Em relação ao primeiro evento de La Niña com intensidade forte, durante 1988 a 1990, ocorreu brusca oscilação de precipitação, de chuvas acima da média da série para valores mínimos da série da estação Abunã. Porém, esse comportamento não foi observado no segundo evento, ocorrido entre os anos de 2007 a 2008, uma vez que as precipitações se mantêm margeando média da série de precipitação.

Os testes de tendência de Mann-Kendall, de Spearman e de Sen's indicaram que a estação Abunã apresenta tendência positiva de precipitação, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ e $\alpha = 0,1$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALENCAR, L.P.; MANTOVANIA, E.C.; BUFON, V.B.; SEDIYAMA, G.C.; SILVA, T.G.F.. Variação temporal dos elementos climáticos e da ETo em Catalão, Goiás, no período de 1961-2011. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.18, n.8, p.826 - 832, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n08p826-832>>. Acesso em 06 dez 2016.
2. CALLEGARIA-JACQUES, S. Bioestatística: princípios e aplicações. Editora Artmed S.A., Porto alegre, Brasil, 2003.

3. CORREIA, F. W.S.; MANZI, A.O.; CÂNDIDO, L. A.; SANTOS, R.M.N.; PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. *Cienc. Cult.* [online], vol.59, n.3, pp. 39-43, 2007.
4. DAHRIA, Z. H.; LUDWIG, F.; MOORS, C. E.; AHMADA, B.; KHANE, A.; KABATB, P. *An appraisal of precipitation distribution in the high-altitude catchments of the Indus basin.* *Science of The Total Environment*, V. 548-549, p. 289-306, 2016. Disponível em: <Elsevier <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.001>>. Acesso em: 18 nov. 2016.
5. FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. *Precipitation distribution over central and western tropical South America.* *Climanálise*, v. 5, p. 36-45. 1990.
6. HIDROWEB. Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 14 set 2016.
7. LUCAS, E.W.; SOUSA, F.A.S., MENEZES, R.H.N., COSTA, R.F., OLIVEIRA, L.L. Regionalização da precipitação na Bacia Hidrográfica do Xingu Pará. IN: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14. 2006. Florianópolis. Anais...Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbmfiles/147160f8fc0063550cbla80d88c59ace37.pdf>>. Acesso em 10 nov 2016.
8. MENEZES, F.P; FERNANDES, L.L.; ROCHA, E.J.P. O uso da estatística para regionalização da precipitação no Estado do Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*. Ano 11, v.16, p.64-71, 2015.
9. SOUSA, A.M.L.; ROCHA, J. P.; VITORINO, M. I.; SOUZA, P. J. O. P.; BOTELHO. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante Eventos Enos. *Revista Brasileira de Geografia Física*. V.08, n.01, p. 13-24, 2015.