

#### ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de

### Geografia Física

Homepage: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe



# Entendendo as Características Associadas à Precipitação para uma Região do Nordeste do Pará: Uma Análise do Comportamento, Tendência, Eventos Extremos e Tempo de Retorno para o período de 1973-2010

Gabriel Ítalo Novaes da Silva<sup>1</sup>, Pedro José Hermínio<sup>2</sup>, Antonio Gebson Pinheiro<sup>3</sup>, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim<sup>3</sup>, Renan Matheus Cordeiro Leite<sup>2</sup>, Thieres George Freire da Silva<sup>4</sup>, Luciana Sandra Bastos de Souza<sup>5</sup>

#### Artigo recebido em 15/10/2020 e aceito em 25/08/2021

#### RESUMO

Este trabalho utilizou uma série de dados de precipitação referente ao período de 1973 à 2010 para o município de Castanhal-PA com a finalidade de investigar: 1) os padrões de precipitação; 2) as mudanças de tendência; 3) a ocorrência dos eventos de déficit e excesso de água pelo uso do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) e suas relações com fenômenos atmosféricos como El Niño e La Niña; 4) a associação entre a probabilidade de ocorrência das chuvas e o tempo de retorno (TR). Para tanto, utilizaram-se dados de chuva obtidos em uma estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Os dados foram analisados por períodos, tendo sido considerados os intervalos: mensais, trimestrais, anuais ou decadais realizando estatística descritiva, para entendimento da variação sazonal, valores médios, análise da tendência por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall e da ocorrência de valores extremos associados à probabilidade de ocorrência e tempo de retorno. Nossos resultados demonstraram que: a média anual de precipitação para o período estudado foi de 2573,15mm; o intervalo de 2003-2010 foi aquele de menor variação nos valores de precipitação anual. Não foram observadas tendências nos valores de precipitação durante o período analisado. O SPI-1 mostrou boa adequabilidade a ocorrência dos valores extremos de precipitação no local em alguns casos associado aos fenômenos El Niño e La Niña. O maior (4.709,4 mm) e menor (1.379,6 mm) volume de chuva foram observados nos anos de 1994 e 1981, respectivamente, com probabilidade de ocorrência de 3% e TR = 39 anos. Palavras-chave: Chuva; Secas; Enchentes; Fenômenos atmosféricos.

#### Understanding the Characteristics Associated with Precipitation for a Northeastern Region of Pará: An Analysis of Behavior, Tendency, Extreme Events and Return Time for the 1973-2010 period

#### ABSTRACT

This work used a series of precipitation data for the period 1973 to 2010 for the municipality of Castanhal-PA in order to investigate: 1) precipitation patterns; 2) changes in trend; 3) the occurrence of deficit and excess water events using the Standardized Precipitation Index (SPI) and its relationship with atmospheric phenomena such as El Niño and La Niña; 4) the association between the probability of rain occurrence and the return time (TR). For this purpose, rainfall data obtained from a rainfall station of the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA) were used. Data were analyzed by

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, Pernambuco. gabrielitalo.novaes@gmail.com (autor correspondente), https://orcid.org/0000-0002-5551-1620.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Mestrandos em Produção Vegetal, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fazenda Saco, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, Pernambuco. pedro9281@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2408-6278; renammatheuscl@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-8454-8660.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Doutorandos em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, Pernambuco. gebson10@hotmail.com, https://orcid.org/0000-0002-5912-6906; alexandremrfj@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7094-3635.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Professor Dr. Adjunto IV, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fazenda Saco, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, Pernambuco. (87) 3929-3208. thieres\_freire@yahoo.com.br, <a href="https://orcid.org/0000-0002-8355-4935">https://orcid.org/0000-0002-8355-4935</a> \* E-mail para correspondência:gabrielitalo.novaes@gmail.com (Silva, G. I. N. da).

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Professora Dr. Adjunta I, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fazenda Saco, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, Pernambuco. (87) 3929-3209. sanddrabastos@yahoo.com.br, https://orcid.org/0000-0001-8870-0295

periods, considering the intervals: monthly, quarterly, annual or decadal performing descriptive statistics, to understand seasonal variation, mean values, trend analysis using the nonparametric Mann-Kendall test and the occurrence of extreme values associated with the probability of occurrence and turnaround time. Our results showed that: the mean annual rainfall for the period studied was 2573.15mm; the 2003-2010 interval was the one with the smallest variation in annual precipitation values. There were no trends in precipitation values during the analyzed period. SPI-1 showed good suitability for the occurrence of extreme precipitation values at the site in some cases associated with the El Niño and La Niña phenomena. The highest (4,709.4 mm) and lowest (1,379.6 mm) volume of rainfall were observed in 1994 and 1981, respectively, with a probability of occurrence of 3% and TR = 39 years.

Keywords: Rainfall; Droughts; Floods; Atmospheric phenomena.

#### Introdução

A precipitação pluvial é um fator chave no ciclo hidrológico, logo que, representa o fluxo de água que ocorre da atmosfera para a superfície terrestre (Jardim et al., 2019; Sena; Moraes Neto e Lucena, 2019; Silva et al., 2020). Naturalmente, este elemento apresenta grande variabilidade espaço-temporal (Ferreira et al., 2018; Dias e Penner, 2021; Jardim et al., 2021), podendo ser um dos mais afetados em decorrência das mudanças climáticas, com reflexos diretos na agricultura, na biodiversidade e nos recursos hídricos, além de possíveis de implicações futuras para a humanidade (Guedes; Priebe e Manke, 2019; Carvalho et al., 2020; Silva et al., 2021).

O entendimento da variabilidade da precipitação, sua tendência e eventos extremos de secas e enchentes têm sido estudados por pesquisadores de diversas regiões (Soares Neto; Bezerra e Moscon, 2013; Wang et al., 2015; Moreira e Naghettini, 2016; Souza et al., 2017; Alcântara et al., 2019; Costa et al., 2021). Tal conhecimento é importante logo que, permite a compreensão da variação da precipitação no passado e presente que podem fornecer embasamento para simulações futuras. Para analisar o monitoramento das condições hidrológicas, relativas à ocorrência de secas (Tirivarombo; Osupile e Eliasson, 2018; Song et al., 2020) ou inundações, o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) tem apresentado boa aceitação (Alcântara et al., 2019; Wang et al., 2019; Kalisa et al., 2020; Costa et al., 2021). Este compreende um indicador simples de ser obtido, logo que, seu cálculo requer apenas dados de precipitação e pode ajustar a condições temporais distintas (Tirivarombo; Osupile e Eliasson, 2018). De acordo com Santos et al. (2017) valores de SPI ajustados em intervalos de tempo 1, 3, 6 e 12 meses, por exemplo, que podem auxiliar no entendimento dos fenômenos extremos e sua duração.

A variabilidade da chuva é um dos fatores de grande importância para estudos de riscos climáticos, assim como para um melhor planejamento (Terassi et al., 2018). Para a região Norte do Brasil, Reboita et al. (2010) em sua pesquisa apontam que existe uma ampla

variabilidade espaço-temporal da precipitação, de modo que, as características relacionadas à este parâmetro permitem subdividir esta região em núcleos específicos: Noroeste, Centro e Sul da segundo Amazônia. Ainda, estes fenômenos atmosféricos distintos associam-se à estas variações espaciais das chuvas, na região Noroeste e Central da Amazônia, a precipitação apresenta conexão com a condensação úmida devido as características orográficas, e na região Sul da Amazônia se dá devido a flutuação sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Neste caso, Coutinho et al. (2018) e Reboita et al. (2010) destacam ainda a associação entre a ocorrência do período chuvoso no primeiro semestre do ano e o deslocamento da ZCIT em direção ao hemisfério Sul.

De maneira concordante, Souza et al. (2017) em sua pesquisa também destacam a variabilidade pronunciada padrões climáticos nos precipitação nos períodos seco e chuvoso. Para estes autores, no período chuvoso a influência na precipitação se dá devido a ZCIT e ZCAS, já no período seco a formação de chuvas ocorre em Linhas de mesoescala (i.e. instabilidade. aglomerados convectivos e bandas frontais sob o NE brasileiro). No caso de eventos extremos relativos às secas ou excesso de água, outros trabalhos têm mostrado relações entre estes e alterações na temperatura dos Oceanos Atlântico e Pacífico (i.e. ocorrência de El Niño e La Niña) (Souza et al., 2015; Espinoza et al., 2011; Costa e Blanco, 2018).

O El Niño Oscilação Sul – ENOS, tem sido relacionado aos extremos de precipitação no Brasil, onde a relação entre o SPI e as fases do El Niño são observados (Terassi et al., 2018). Sousa et al. (2015) observaram que o ENOS modula a precipitação anual em variadas escalas de tempo, apresentando na maioria dos locais reduções dos volumes de precipitação, entretanto, as respostas foram diferenciadas com à intensidade e tempo do evento. Estes autores observaram ainda que as variações espaciais da chuva estão associadas não apenas aos mecanismos climáticos, mas também, à sistemas meteorológicos regionais e locais. De

modo similar, Santos et al. (2014) em estudo realizado para Belém-PA indicaram que a maioria dos eventos de chuva e seca estavam associados ao fenômeno ENOS e que o SPI se mostrou um bom indicador destas oscilações.

Para o município de Castanhal-PA, estudos voltados para caracterização da precipitação pluviométrica especialmente no que concerne aos eventos extremos são importantes, pois podem afetar as atividades econômicas, desencadeando problemas sociais e ambientais para a população (Dias et al., 2019; Silva et al., 2020). Adicionalmente, a combinação destas informações com a análise das propriedades estocásticas da chuva como é o caso da probabilidade e do tempo de retorno, podem ser úteis no planejamento agrícola, reduzindo riscos de perdas (Evangelista; Reis e Loureiro, 2018; Rossato et al., 2017), bem como em projetos relativos a obras civis e na conservação ambiental (Soares Neto; Bezerra; Moscon, 2013; Jardim et al., 2017).

Este trabalho teve como objetivo investigar os padrões de precipitação, analisar as mudanças de tendência por meio da aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall, compreender a ocorrência dos eventos de déficit e excesso de água

pelo uso do SPI e suas relações com fenômenos atmosféricos como El Niño e La Niña, e analisar a associação entre a probabilidade de ocorrência das chuvas e o tempo de retorno para o município de Castanhal-PA. A partir disso, verificar se há alterações no comportamento pluviométrico do município durante o período analisado mediantes fatores climáticos naturais e/ou antropogênicos.

#### Material e métodos

#### Caracterização da área do estudo

Este estudo foi realizado no município de Castanhal, estado do Pará, na Bacia do Atlântico (Figura 1). Segundo o IBGE (2020) a mesma possui uma população de 203.251 habitantes, sendo a quinta cidade mais populosa do estado. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Am, com temperatura média anual do ar de 27 °C, sendo o período chuvoso compreendido entre os meses de dezembro a maio, com estação seca moderada e precipitação média anual de 2.500 mm (Alvares et al., 2013; Souza et al., 2019).

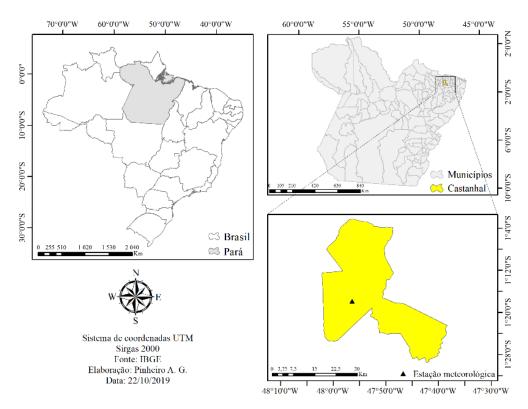


Figura 1. Localização geográfica da estação pluviométrica da ANA do município de Castanhal-PA.

Para análise da precipitação pluvial, a metodologia adotada neste trabalho foi desenvolvida em 3 etapas (Figura 2). 1) Consistiu na preparação dos dados; 2) Análises que envolveram: estatística descritivas (cálculos das médias das chuvas, mediana, coeficiente de variação, determinação de valores máximos e mínimos), uso do teste de Mann-Kendall para identificação de tendência e comportamento dos eventos extremos por meio do cálculo do índice de precipitação padronizado (IPP ou SPI do inglês *Standardized Precipitation Index*) e da análise probabilística da precipitação associada ao tempo

de retorno, e 3) esteve relacionado à interpretação dos resultados e sumarização destes em gráficos e tabelas.

Utilizaram-se dados de precipitação pluvial obtidos por meio de um posto pluviométrico, situado a uma latitude 1º 17' 51" S e 47º 56' 21 84" W e, pertencente à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Consideraram-se para este estudo apenas aquelas séries de dados que não apresentaram falhas de dados, a qual correspondeu ao período de 1973-2010 (totalizando 38 anos).

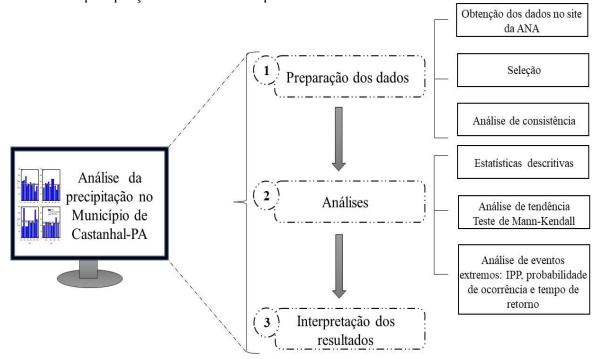


Figura 2. Fluxograma dos procedimentos adotados para realização da análise da precipitação pluviométrica no município de Castanhal-PA.

Na análise dos totais anuais de precipitação pluvial a série de dados foi dividida em décadas com exceção do último período com oito anos: 1973 a 1982, 1983 a 1992, 1993 a 2002 e 2003 a 2010 para analisar as oscilações dos eventos em relação à normal climatológica do município. Estes

foram delimitados como: normais, anômalos ou com variabilidade climática, para isto, adotou-se a metodologia proposta por Queiroz et al. (2018) que se baseia nas variações médias da precipitação em relação ao desvio padrão, conforme a Figura 3.

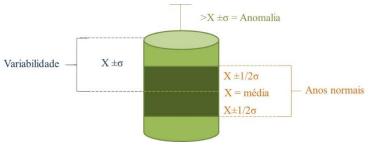


Figura 3. Classificação da precipitação anual: normal, anômalos ou com variabilidade climática de acordo com a metodologia proposta por Queiroz et al. (2018). Fonte: Adaptado de Queiroz et al. (2018)

Os dados mensais foram analisados por meio de estatística descritiva: valores médios, mediana, desvio padrão, valores máximos, mínimos e sumarizados em um gráfico do tipo boxplot, para entendimento das variações sazonais médias da precipitação durante o período analisado.

#### Detecção das tendências na precipitação pluvial

A análise de tendência foi efetuada apenas para a série de dados referentes aos totais anuais de precipitação. Para isto, utilizamos o teste não paramétrico de Mann-Kendall. Este por sua vez, tem se mostrado bastante eficiente na identificação de tendências (Moreira e Naghettini, 2016; Alcântara et al., 2019), quer sejam estas positivas ou negativas e está baseado na estatística S (Equação 1).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \text{snl}(x_j - x_k)$$
 (1)

em que:  $x_j$  e  $x_k$  neste caso, referem-se aos valores da precipitação pluvial total para os anos j, k e j>k. O snl é dado pela Equação 2.

$$snl(x_{j} - x_{k}) = \begin{cases} 1 & x_{j} - x_{k} > 0 \\ 0 & x_{j} - x_{k} = 0 \\ -1 & x_{j} - x_{k} < 0 \end{cases}$$
 (2)

A variância (S) (Equação 3) foi obtida por Mann (1945) e Kendall (1975) citados por Moreira e Naghettini (2016):

$$S = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \tag{3}$$

Já o teste estatístico Z foi dado pela Equação 4.

$$Z = \begin{cases} \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & S > 0\\ 0 & S = 0\\ \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & S < 0 \end{cases}$$
 (4)

O valor de Z obtidas são comparadas ao valor de Z da tabela de distribuição normal, a um determinado nível de significância ( $\alpha$ ). Neste estudo o valor de  $\alpha$  adotado foi de 0,05. Conforme adotado por Blain et al. (2010), ainda de acordo com estes autores, para este  $\alpha$  o valor de Z=1,96. Logo, as tendências serão observadas sempre que

Z exceder este limite, sendo positivas ou negativas a depender de seu sinal.

#### Determinação do SPI

O Índice de Precipitação Padronizado (SPI) utiliza apenas dados de precipitação (Teodoro et al., 2015) e foi calculado a partir do ajuste de uma função da densidade de distribuição de frequência da precipitação (McKee et al., 1993). Neste estudo, utilizou-se o SPI em escala mensal, para o qual adotou-se a distribuição de probabilidade Gama (Equação 5), como segue:

$$F(x) = \int_0^x f(x) \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^{\alpha}} \int_0^x x^{a-1} e^{\frac{-x}{\beta}} dx$$
 (5)

em que:  $\alpha$  é o parâmetro de forma ( $\alpha > 0$ );  $\beta$  é o parâmetro de escala ( $\beta > 0$ ); e o x é a quantidade de precipitação (x > 0) e  $\Gamma(\alpha)$  a função gama completa.

Os valores de  $\alpha$  e  $\beta$  (Equação 6 e 7) foram determinados por:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \tag{6}$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{a} \tag{7}$$

O  $\overline{X}$  representa a média da precipitação e  $A = ln(\overline{X}) - \frac{\Sigma \ln(x)}{n}$ , em que: ln é o logaritmo neperiano e n o número de observações. A partir de então a distribuição cumulativa foi convertida em distribuição normal, com média e desvio padrão iguais a zero e um, nesta ordem. Posteriormente, calculou-se a probabilidade acumulada de ocorrência de cada valor. A estes foi aplicada a função normal inversa, com a qual se obtiveram os valores de SPI. Para realização dos procedimentos de cálculo utilizou-se o software R versão 3.4.21, com o pacote Índice de Clima Padronizado (SCI). Maiores detalhes de probabilidades cumulativas consultar Terassi et al. (2018); Teodoro et al. (2015) e Oliveira-Junior et al. (2012).

Posteriormente, com base nos dados de SPI (Tabela 1), foi realizada as classificações dos períodos em secos, e chuvosos quando estes foram positivos, seguindo a proposição de McKee et al. (1993).

**Tabela 1:** Classificações dos valores do índice padronizado de precipitação (SPI).

3	1 1 3 \ /				
Valor do SPI	Classificação				
SPI ≥ 2,0	Extremamente úmido				
1,5 < SPI ≤ 1,99	Severamente chuvoso				
$1,0 < \text{SPI} \le 1,5$	Moderadamente chuvoso				
$1,0 \ge \text{SPI} > -1,0$	Normal				
-1,0 ≥ SPI > -1,5	Moderadamente seco				
-1,5 ≥ SPI > -2,0	Severamente seco				
-SPI ≤ -2,0	Extremamente seco				

Fonte: McKee et al. (1993).

#### Eventos de El Niño

A identificação da ocorrência de eventos de El Niño foi realizada por meio do uso do Índice Oceânico Niño – (ION) (NOAA, 2020). Neste caso, valores do índice por cinco meses sucessivos superiores a  $0.5^{\circ}$ C representam ocorrência de El Niño, e, menores que  $-0.5^{\circ}$ C a La Niña, com intensidades classificadas como El Niño: 0.5 a 0.9 (Fraco), 1.0 a 1.4 (Moderado),  $\geq 1.5$  (Forte); e La Niña: -0.5 a -0.9 (Fraca), -1.0 à -1.4 (Moderada),  $\leq -1.5$  (Forte) (Marcuzzo e Romero, 2013; Jardim et al., 2021).

#### Cálculo da probabilidade e do tempo de retorno

Para análise da probabilidade ocorrência (P) de eventos extremos foram consideradas neste estudo séries de precipitação trimestrais janeiro a março (JFM), abril a junho (AMJ), julho a setembro (JAS), outubro a dezembro (OND), bem como a série total anual para todo o período deste estudo. O método utilizado foi o de Kimball, que associa a quantidade de vezes que determinado evento ocorre ao conjunto de informações utilizado, conforme utilizado por Mesquita, Griebeler e Oliveira (2009), no nosso estudo específico, a organização dos dados ocorreu de modo decrescente. Além da frequência (F), foi calculado o tempo de recorrência ou retorno (TR), o qual permite estimar o tempo, em anos, em que um evento de magnitude x pode ocorrer ou ser superado, sendo calculado pela Equação 8:

$$TR = \frac{1}{F}$$
 (8)

#### Resultados e discussão

#### Caracterização da precipitação

No município de Castanhal-PA observouse uma precipitação pluvial média anual de 2.573,15 ± 706,28 mm, sendo os anos de 1994 e 1981 aqueles de maior e menor volume acumulado, com valores de precipitação iguais a 4.709,4 mm e 1.379,6 mm, respectivamente. Os volumes médios de precipitação anuais para os períodos de 1973 a 1982, 1983 a 1992, 1993 a 2002 e 2003 a 2010 foram próximos, sendo iguais a 2.626,6; 2.529; 2.728,6 e 2365,5 mm, respectivamente (Figura 4A, 4B, 4C e 4D). Tais eventos, não mostraram tendências significativas para aumento ou diminuição deste parâmetro em todo o período analisado.

Para a primeira década (1973 a 1982), observa-se maior predominância de anos com precipitação dentro da "normalidade" (6 anos) (Figura 4A) em relação aos demais conjuntos de dados analisados. Neste primeiro período ocorreram "anomalias" apenas nos anos de 1975 (precipitação = 3772,9 mm) e 1981 o qual apresentou uma redução da pluviosidade em torno de 63% (1379,6 mm). Comportamento este similar ao observado para a segunda década (Figura 4B).

A terceira década (1993 a 2002) por outro lado, foi aquela de maior variação na precipitação pluvial, neste período ocorreram "anomalias" acima de 4.000 mm nos anos de 1994 e 2001 (Figura 4C), correspondendo a 42 e 39% acima da média anual da década estudada. Ao mesmo tempo, valores inferiores a 1700 mm foram observados para os anos de 1993, 1995 e 2001, representando a década de maiores ocorrências de "anomalias" (50% dos anos analisados). Por outro lado, no período de 2003 a 2010 (Figura 4D), embora tenha sido constatada maior estabilidade da precipitação pluvial, pode-se observar uma pequena tendência para redução da precipitação pluvial (menores médias) no munícipio de Castanhal-PA. Estas informações podem contribuir para o planejamento agrícola (Coutinho et al., 2015) e para a gestão e preservação dos recursos hídricos, principalmente em bacias hidrográficas (Gomes et al., 2019; Nascimento et al., 2019).

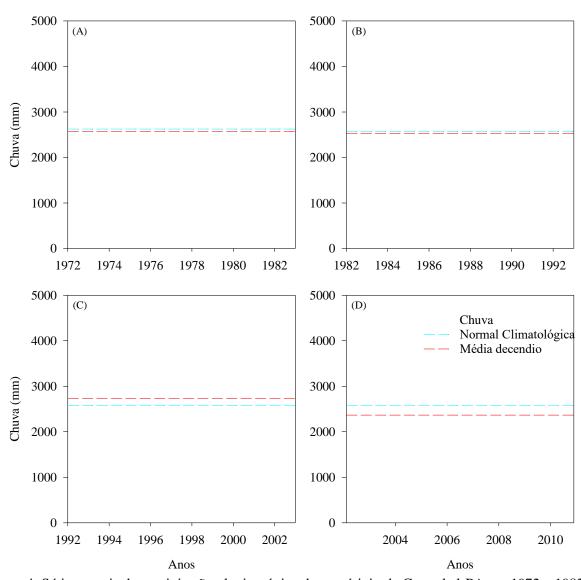


Figura 4. Séries anuais da precipitação pluviométrica do munícipio de Castanhal-PA em 1972 a 1982 (A), de 1983 a 1992 (B), 1993 a 2002 (C) e 2003 a 2010 (D).

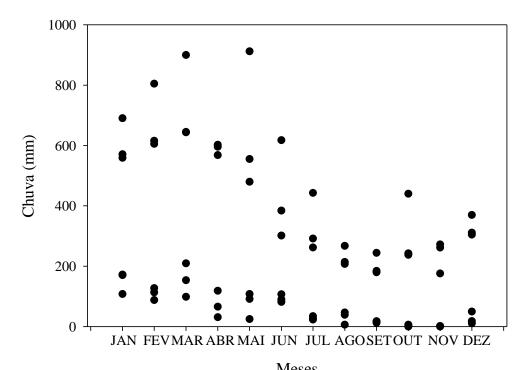
O período chuvoso local está compreendido entre os meses de dezembro à maio, os quais concentraram cerca de 72% do total anual da precipitação (Figura 5). Por outro lado, os meses mais secos foram de julho à novembro. Os meses de janeiro à maio foram aqueles de maior amplitude no conjunto de dados (50% dos valores) de precipitação, em torno de 200 mm. Por outro lado, de junho à novembro, foi quando se contataram menores diferenças entre os valores máximos e mínimos das chuvas ( $\Delta \approx 40 \text{ mm}$ ).

A simetria dos dados mensais, observadas pela posição da mediana (linha horizontal localizada no interior da caixa, também chamada de segundo quartil), demonstrou que cinco meses (FEV, ABR, MAI, JUN e JUL) apresentaram comportamento simétrico, ou seja, maior parte dos dados situaram-se em torno da média. Por outro lado, observaram-se tendências assimétricas positivas e negativas para os conjuntos de meses correspondentes à JAN-SET-OUT-NOV-DEZ e MAR-AGO, respectivamente. Destaca-se ainda a ocorrência de valores extremos mensais de precipitação nos meses de JAN, FEV, MAR, MAI, JUN e JUL iguais a 690,4 mm, 804,7 mm, 900 mm, 912 mm, 617,7 mm e 442,6 mm para os anos de 2001, 1992, 1994, 2001, 2001 e 1994, respectivamente.

O comportamento observado para a distribuição deste parâmetro ao longo no ano no 3183

município de Castanhal-PA, está associado à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que representa o principal sistema responsável pela precipitação no período chuvoso (DEZ a MAI) (Silva et al., 2020). De modo similar, estudos antecedentes reportaram as relações das variações nas chuvas e fenômenos atmosféricos

como a ZCIT, como é o caso de Ferreira et al. (2015) demonstraram relações entre a ZCIT chuvas na Amazonia. Por outro lado, nos meses mais secos, as chuvas podem estar relacionadas aos aglomerados convectivos e linhas de estabilidade (Souza et al., 2017).



	WICSCS											
Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Média	309,7	331,9	416,5	351,3	283,7	191,6	157,9	112,9	81,7	93,8	75,4	169,3
CV (%)	42	48	37	41	53	50	51	49	66	91	90	53

Figura 5. Boxplot dos valores médios e coeficientes de variação mensais da precipitação pluviométrica do município de Castanhal-PA, nos anos de 1973 a 2010.

No teste de Mann-Kendall (Figura 6) podese constatar que não houveram tendências significativas no comportamento da precipitação anual para o período analisado (1973-2010) ao nível de significância de 5% para o teste Z, cujo Z tabelado utilizado foi de 1,96 de acordo com Blain et al. (2010). Entretanto, como já destacado, em termos de décadas pode-se observar que o último período analisado mostrou uma maior estabilidade dos eventos de precipitação (Figura 6). Estas informações podem fornecer subsídios para a sociedade em relação ao conhecimento da dinâmica dos recursos hídricos, e mesmo para a convivência com as mudanças do clima (Moreira e Naghetti, 2016).

De modo similar, Menezes e Fernandes (2016) não observaram tendências significativas das chuvas para 60 estações, dentre as 66 que foram estudadas para o estado do Pará. Moreira e Naghettini (2016) analisando a tendência da precipitação para o estado do Acre também não observaram tendências nas séries temporais de precipitação para o estado.

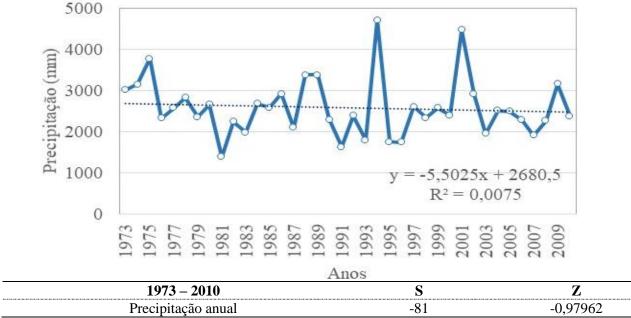


Figura 6. Comportamento da linha de tendência da precipitação pluvial e resultados para a análise de tendência pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall para o município de Castanhal-PA, no período de 1973-2010.

#### Índice de Precipitação Padronizado (SPI)

Apesar de não ter sido observada tendência nos dados, em todo o período é possível observar eventos extremos e aleatoriedade dos dados de chuvas. Neste caso, o índice de precipitação padronizado foi utilizado para analisar os eventos extremos. O comportamento do SPI é apresentado na Figura 7. Este índice tem sido amplamente utilizado no globo para análises da ocorrência de enchentes e secas (Song et al., 2020). Neste estudo foi possível constatar que de um modo geral uma predominância de eventos dentro da normalidade (Figura 7A), com SPI oscilando entre -1 e 1 (Figura 7A) com uma frequência de ocorrência oscilando entre 66% a 71%, e média de 68% (Figura 7B). Adicionalmente, observou-se que a classe de SPI englobando valores entre -2 e 2 concentrou 95% dos dados (Figura 7A e B). Estes resultados são similares aos observados por Blain et al. (2010) que estudando precipitação para diferentes localidades do estado do Espírito Santo reportaram valores semelhantes com o intervalo de SPI de -3 à 3, englobando até 100% da frequência acumulada dos dados. Estes autores demonstraram ainda que estes percentuais podem apresentar ligeira variação entre locais. O que provavelmente está associado à dinâmica da atmosfera entre os locais e a aleatoriedade dos eventos de precipitação que também podem ser observados no SPI.

Na primeira década (1973 a 1982) os valores do parâmetro oscilaram entre -2,13 a 2,57

(com média igual a 0,16, n=120), sendo observadas maior frequência de valores positivos (Figura 7b), o que pode estar associado ao fato que a maior ocorrência de eventos de La Niña e condições em torno da normalidade (Figura 7A). Neste período foi constatado o valor mais negativo da série de dados analisada, o qual, foi correspondente ao mês de julho de 1984.

Nas segunda e terceira décadas comportamentos similares podem ser constatados. Todavia, ressalta-se que na segunda década (1983-1992) houve um incremento de 4,2% nos eventos de seca moderados em relação ao período anterior (Figura 7B). Em novembro de 1998 observou-se o maior valor de SPI (~2,9), o que pode estar associado a ocorrência do fenômeno La Niña (Figura 7A). Entretanto, em boa parte do referido ano, valores negativos ou próximos a neutralidade são observados. Adicionalmente, no ano de 2006 o menor valor médio de SPI para uma seca de duração superior a 6 meses (05/2006-10/2006) foi observado, sendo igual a -1,62. De modo semelhante ao observado por Santos et al. (2017) utilizando o SPI-6.

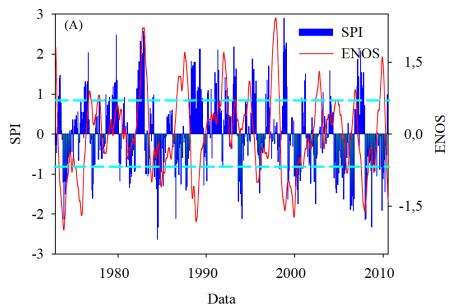
Neste caso, destaca-se que valores extremos de SPI podem estar relacionados à fenômenos resultantes da interação oceano-atmosfera e suas teleconexões como é o caso do El Niño e da La Niña. Limberger e Silva (2016) observaram associações de eventos hidrológicos (chuva e escoamento) na Amazônia em anos com a

ocorrência destes fenômenos atmosféricos. Silva et al. (2020) mostram que o padrão da precipitação está relacionado com o deslocamento norte-sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), um dos fenômenos atmosféricos que atua durante a estação chuvosa nos trópicos.

Santos et al. (2017) utilizando o SPI-6, observaram que eventos extremos de seca mais intensos para Castanhal-PA se deram entre abril de 1993 a janeiro de 1994 (onde o valor de SPI foi de -1,44), os quais associaram a ocorrência de alterações na temperatura da superfície do mar sobre o oceano Pacífico.

A análise da frequência dos períodos: extremamente chuvoso (EC), severamente chuvoso (SC), moderadamente chuvoso (MC), moderadamente seco (MS), severamente seco (SS) e extremamente seco (ES) permitiu constatar que,

nas duas primeiras décadas (1973-1982 e 1983-1992) as proporções dos eventos de seca se mantiveram praticamente constantes. Todavia a partir da terceira década (1993-2002) houve um aumento nos eventos de seca em detrimento aos períodos anteriores. Barros et al. (2021) analisando o SPI para a cidade de Recife-PE, identificaram que 41,4% do período estudado (1962 a 2019) foi normal. Já Silva et al. (2020) estudando eventos secos e chuvosos nos anos de 1961 a 2014 no leste do Nordeste do Brasil, verificaram que ocorreram uma maior quantidade de eventos na categoria de seca, sendo 38,42% em relação a 27,32% da categoria úmida. Esses resultados influenciam na tomada de decisão, pois são úteis para o planejamento urbano e para reduzir os impactos das alterações climáticas (Barros et al., 2021).



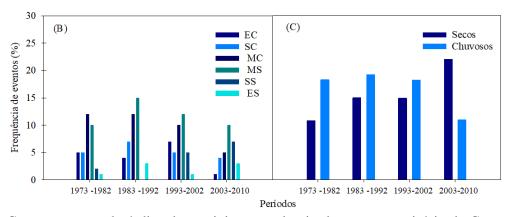


Figura 7. Comportamento do índice de precipitação padronizado para o município de Castanhal-PA, no período de 1973-2010. Observação: períodos classficados em extremamente chuvoso (EC), severamente chuvoso (SC), moderadamente chuvoso (MC), moderadamente seco (MS), severamente seco (SS) e extremamente seco (ES).

## Probabilidade de ocorrência e tempo de retorno dos eventos extremos da precipitação no município de Castanhal-PA

Com base na análise das séries trimestrais (JFM, AMJ, JAS e OND) pode-se constatar que no primeiro trimestre (JFM) a probabilidade de eventos de chuva acumulados mensais superiores à 500 mm foi de 40% (Figura 8A), podendo atingir valores extremos máximos de 690 mm, 804,7 mm, 900 mm e mínimos de 107 mm, 88 mm, 98 mm com probabilidade de 2,56% (TR = 39 anos). O mês de março demonstrou apresentar historicamente maiores níveis de precipitação pluvial (Figura 5), com 50% probabilidade de ocorrência de chuvas acima de 430 mm (TR = 2 anos) e médias de 416 mm (P = 54% e TR = 1,5 anos). Esta probabilidade é semelhante a reportada por Passos, Raposo e Mendes (2017a), que estudando a distribuição da precipitação para o município de São Mateus-ES observaram valores médios que oscilaram no intervalo de 40 à 50%. Já Passos, Raposo e Mendes (2017b), observaram que para os meses de janeiro a maio, e agosto e outubro a média de precipitação para Chapadinha-MA também foi de 40 a 50%, porém os meses de junho, julho, novembro e dezembro foi reduzido entre 30 a 40%. Santiago et al. (2017) indica que a probabilidade recomendada é de 75%, o qual proporciona melhor planejamento para

agricultura (i.e. planejamento, tomada de decisão, irrigação, e outras). De acordo com estes autores, a utilização da média como parâmetro de dimensionamento de sistemas de irrigação, por exemplo, pode ocasionar prejuízos ao agricultor em decorrência de seu subdimensionamento.

No segundo trimestre (AMJ) o mês de junho foi aquele onde se observaram menores valores de precipitação, com 50% de probabilidade de ocorrência de valores superiores à 167 mm. Quando analisada a probabilidade de ocorrência de valores acima deste limite (167 mm) para os demais meses do grupo (AM) observou-se que esta foi igual a 86% e 82%, respectivamente (Figura 8B).

Nos trimestres JAS e OND (Figura 8C e D) houveram reduções significativas na precipitação. Dentre os 228 meses analisados (referentes aos meses do segundo semestre, na série de 38 anos de dados), 52% apresentaram probabilidade de ocorrência de valores inferiores a 100 mm por mês. Nesta situação, algumas atividades podem ser prejudicadas, como é o caso da agricultura e pecuária. Nestes meses, há recomendação do uso de técnicas auxiliares ou melhor planejamento das atividades na sociedade (Evangelista; Reis e Loureiro, 2018; Vieira et al., 2018; Bortoluzzi et al., 2019).

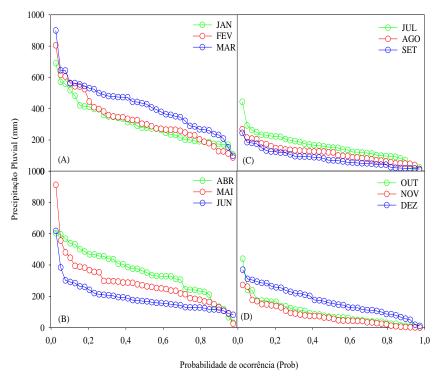


Figura 8. Probabilidade trimestral de ocorrência de chuvas no município de Castanhal-PA, nos anos de 1973 a 2010.

Para análise da probabilidade anual foi ajustado um modelo logaritmo em que todos os parâmetros da equação apresentaram significância (n = 38, p<0,0001), coeficiente de determinação de 96% (Figura 9A). O uso da modelagem matemática representa uma importante ferramenta para simulação de fenômenos diversos e entendimento de extremos. No caso da precipitação, trabalhos que analisem a probabilidade de eventos de secas ou enchentes são preciosos para utilização em diversas atividades, podendo minimizar os riscos oriundos deste tipo de adversidade climática (Soares Neto, 2013; Conceição et al., 2018; Caldana; Ferreira e Silva, 2020).

A análise da probabilidade anual de precipitação demonstrou que, valores em torno de da média ( $2.573,15\pm706,28~\text{mm}$ ) apresentam uma probabilidade de 41% (TR = 2,4 anos) (Figuras 9A e 9B). A mediana dos valores foi levemente inferior à média (2460~mm) indicando que 53% do conjunto de dados estiveram abaixo deste valor. Valores mais discrepantes observados em relação

ao excedente hídrico foram superiores à média em 45% e 42%, respectivamente. Por outro lado, em relação à média os valores foram reduzidos em 46% e 37%.

As condições mais extremas ( $P_{máx} = 4709,4$  mm, observados no ano de 1994 e  $P_{mín} = 1379,6$  mm em 1981) apresentaram iguais probabilidade de ocorrência de 3% e TR = 39 anos. Quanto mais extremo for o evento de precipitação, seja para excesso ou deficiência hídrica em relação aos valores médios observados, com menos frequência este ocorre, logo maior é o tempo de retorno do mesmo no local (Soares Neto et al., 2013). Estas informações são importantes para realização de planejamentos em projetos agrícolas, urbanos e energéticos (Evangelista; Reis e Loureiro, 2018).

Os valores associados às probabilidades de 75% e 80% foram iguais à 2235,3 mm e 1981,3 mm, respectivamente, com tempo de 1,3 anos (Figura 9A e 9B).

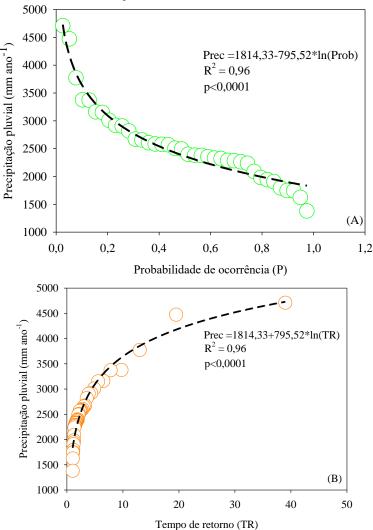


Figura 9. Modelagem entre a precipitação pluvial e a probabilidade de ocorrência (A) e entre a precipitação e o tempo de retorno dos eventos de chuva (B) para o munícipio de Castanhal-PA, nos anos de 1973 a 2010.

#### Conclusões

Estudos relativos ao comportamento da precipitação são úteis para o planejamento de atividades em diversos setores na sociedade. Quando relacionadas a ocorrência dos eventos extremos do passado podem embasar modelagens futuras. Tais informações podem ser úteis para estudantes, pesquisadores e gestores, quer seja no entendimento das condições do ambiente ou como subsídios para o gerenciamento, planejamento e utilização dos recursos hídricos de forma mais eficiente e sustentável.

No presente trabalho uma análise da precipitação pluvial envolveu o uso de estatísticas descritivas, análise de tendência, eventos extremos, probabilidade de ocorrência e tempo de retorno para o município de Castanhal-PA, no período de 1973-2010. Nossos resultados demonstraram que: 1) a média de precipitação para o período foi de 2573,15 mm; 2) o período de 2003-2010 foi aquele de menor variação nos valores de precipitação anual; 3) não foram observadas tendências nos valores de precipitação durante o período analisado; 4) o SPI-1 mostrou boa adequabilidade a ocorrência dos valores extremos de precipitação no local em alguns casos associado aos fenômenos El Niño e La Niña; 5) os valores mais extremos de chuva foram observados nos anos 1994 e 1981 sendo aqueles de maior e menor volume acumulado iguais a 4.709,4 mm e 1.379,6 mm, respectivamente, com probabilidade de ocorrência de 3% e TR = 39 anos.

#### Agradecimentos

À Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE (APO-0215-5.01/10 e FACEPE - APO - 1159 -1.07/14). Conselho Nacional Ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (475279/2010-7, 476372/2012-7, 305286/2015-3,309421/2018-7 e 152251/2018-9). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES (Código Financeiro 001) pelas bolsas de pesquisa e estudo. Gostaríamos também de agradecer a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) pela disponibilização dos dados de precipitação.

#### Referências

Alcântara, L.R.P., Costa, I.R.A., Barros, V.H. de O., Santos Neto, S.M. dos., Coutinho, A.P., Antonino, C.D., 2019. Análise de tendência

- para dados pluviométricos no município de Toritama-PE. Journal of Environmental Analysis and Progress 4(2), 130-139. https://doi.org/10.24221/jeap.4.2.2019.2377.13 0-139
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.P.M., Sparrovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711-728.
- Barros, V.S., Gomes, V.K.I., Silva Júnior, I.B., Silva, A.S.A., Bejan, L.B., Stosic, T., 2021. Análise de tendência do índice de precipitação padronizado em Recife-PE Research, Society and Development, 10(8), 1-13. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17458
- Blain, G.C., Pezzopane, J.R.M., Pezzopane, J.E.M., Bonomo, R., 2010. Índice padronizado de precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 14(10), 1067-1073.
- Bortoluzzi, D.D., Prado, G., Hara, A.T., Souza, A.C.S., 2019. Precipitação mensal provável no noroeste do Paraná. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, 13(2), 3314-3326. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17458
- Caldana, N.F.S., Ferreira, L.G.B., Silva, M.A.A., 2020. Frequência e intensidade pluviométrica e a relação com El Niño-Oscilação Sul na Mesorregião Noroeste Paranaense, Brasil. Revista Brasileira de Geografia e Física 13(4), 1537-1557.
- Carvalho, A.A., Montenegro, A.A.A., Silva, H.P., Lopes, I., Morais, J.E.F., Silva, T.G.F., 2020. Trends of rainfall and teperature in Northeast Brazil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 24(1), 15-23. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p15-23
- Conceição, M.A.F., Tonietto J., De Souza, R.T., 2018. Índices hídricos climáticos para a viticultura. Pesquisa Agropecuária Brasileira, [online]. Disponível em: http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/24309 Acesso em: 20 de agosto de 2019.
- Costa, M.S., Oliveira-Júnior, J.F., Santos, P.J., Correia Filho, W.L.F., Gois, G., Blanco, C.J. C., Teodoro, P.E., Silva Junior, C.A., da Santiago, D.B., Souza, E.O., Jardim, A.M.R.F., 2021. Rainfall extremes and drought in northeast Brazil and its relationship with El niño—southern oscillation. International Journal of

- Climatology, 41, E2111–E2135. https://doi.org/ 10.1002/joc.6835
- Costa, C.E.A.S., Blanco, C.J.C., 2018. Influência da variabilidade climática sobre a erosividade em Belém (PA). Revista Brasileira de Meteorologia 33(3), 509-520.
- Coutinho, E.C., Rocha, E.J.P., Lima, A.M.M., Ribeiro, H.M.C., Gutierrez, L.A.C.L., Barbosa, A.J.S., Paes, G.K.A.A., Bispo, C.J.C., Tavares, P.A., 2018. Variabilidade climática da precipitação na Bacia Amazônica brasileira entre 1982 e 2012. Revista Brasileira de Climatologia, 22, 476-500.
- Coutinho, M.D.L., Costa, M.S., Silva, A.R., Santos, T.S., Gomes, A.C.S., Morais, M.D.C., Santos, P.V., 2015. Balanço hídrico mensal para dois munícipios do estado da Paraíba. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas 37(4), 160-170.
  - https://doi.org/10.5902/2179460X16364
- Dias, E.C., Penner, G.C., 2021. Equação de chuvas intensas para Abaetetuba-PA: estudo comparativo. Research, Society and Development, 10(4), 1-13. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14213
- Dias, T.S.S., Souza, E.B., Jardim, M.A.G., Souza, P.J.O.P., Rocha, E.J.P., Pinheiro, A.N., Franco, V.S., Santos, R.C., Vidal, T.S.S.D., 2019. Estimativa climática sazonal da produtividade de açaí (*Euterpe oleracea* mart.) no Estado do Pará cenários futuros. Revista Brasileira de Geografia e Física 12(2), 517-533.
- Evangelista, J.O., Reis, K.N., Loureiro, G.E., 2018. Distribuição de probabilidade hidrológica de precipitação para sub-região hidrográfica Tocantins 08 no Estado do Pará. Revista Geonorte 9(2), 107-122. https://doi.org/10.21170/geonorte.2018.V.9.N. 32.107.122
- Espinoza, J.C., Ronchail, J., Guvot, J.L., Junquas, C., Vauchel, P., Lavado, W., Drapeau, G., Pombosa, R., 2011. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought. Geophysical Research Letters, 38, 1-6. https://doi.org/10.1029/2011GL047862
- Ferreira, D.B.S., Souza, E.B., Moraes, B.C., Meira Filho, L.G., 2015. Spatial and temporal variability of rainfall in esastern Amazon during the rainy season. The Scientific 2015, 1-9. doi.org/10.1155/2015/209783.
- Ferreira, P.S., Souza, W.M., Silva, J.F., Gomes, V.P., 2018. Variabilidade espaçotemporal das tendências de precipitação na

- Mesorregião Sul Cearence e sua relação com as anomalias de TSM. Revista Brasileira de Meteorologia, 33, 141-152. https://doi.org/10.1590/0102-7786331006
- Gomes, D.J.C., Lima, A.M.M., Ferreira, N.S., Serrão, E.A.O., 2019. Variabilidade espaçotemporal da precipitação: Bacia Hidrográfica do Rio Madeira. Revista Geográfica Acadêmica. 13(1), 90-104.
- Guedes, H.A.S., Priebe, P.S., Manke, E.B., 2019. Tendências em séries temporais de precipitação no Norte do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia 34(2), 283-291. https://doi.org/10.1590/0102-77863340238
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE. Castanhal. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/castanhal.html. Acesso em 12 de outubro 2020.
- Jardim, A.M.R.F., Queiroz, M.G., Araújo Júnior, G.N., Silva, M.J., Silva, T.G.F., 2019. Estudos climáticos do número de dias de precipitação pluvial para o município de Serra Talhada-PE. Revista Engenharia na Agricultura, 27(4), 330-337. https://doi.org/10.13083/reveng.v27i4.875
- Jardim, A.M.R.F., Silva, M.V., Silva, A.R., dos Santos, A., Pandorfi, H., Oliveira-Júnior, J. F., de Lima, J.L.M.P., Souza, L.S.B., Araújo Júnior, G.N., Lopes, P.M.O., Moura, G.B.A., Silva, T.G.F., 2021. Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 105733. https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105733
- Jardim, A.M.R.F., Araújo Júnior, G.N., Silva, M.J., Morais, J.E.F., Silva, T.G.F., 2017. Estimativas de perda de solo por erosão hídrica para o município de Serra Talhada, PE. Journal of Environmental Analysis and Progress, 2, 186-193.
  - https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1416.18 6-193
- Kalisa, W., Zhang, J., Igbawau, T., Ujoh, F., Ebohon, O.J., Namugize, J.N., Yao, F., 2020.
  Spatio-temporal analysis of drought and retur periods over the East African region using standardized precipitation index from 1920 to 2016. Agricultural Water Management. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.10619
  5.
- Limberger, L., Silva, M.E.S., 2016. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura

- da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. Revista GEOUSP (online), 20(3), 657-675.
- Marcuzzo, F.F.N., Romero, V., 2013. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. Revista Brasileira de Meteorologia, 28(4), 429-440. https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000400009
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Conference on Appied Climatology, 8., 1993. Anais American Meteorological Society, 1993, 179-184.
- Menezes, F.P., Fernandes, L.L., 2016. Análise de tendência e variabilidade da precipitação no estado do Pará. Enciclopédia Biosfera 13(24), 1580-159.
- Moreira, J.G.V., Naghettini, M., 2016. Detecção de Tendências Monotônicas Temporais e Relação com Erros dos Tipos I e II: Estudo de Caso em Séries de Precipitações Diárias Máximas Anuais do Estado do Acre. Revista Brasileira de Meteorologia 31(4), 394-402. https://doi.org/10.1590/0102-778631231420140155
- Nascimento, I.R.S., Borges, P.F., Rodrigues, E.N.S., Souza, F.M.C., Cartaxo, P.H.A., Araujo, L.S., Santos, J.P.O., 2019. Análise da teoria da entropia utilizando dados pluviométricos no estado da Paraíba. Revista Científica Rural 21(2), 1-15. https://doi.org/10.30945/rcr-v21i2.2746
- National Oceanic and Atmospheric Administration
   NOAA. Cold & Warm Episodes by Season.
  Disponivel em:<
  https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analy
  sis\_monitoring/ensostuff/ONI\_v5.php>.
  Acesso em 20 de out 2020.
- Oliveira-Junior, J.F., Lyra, G.B., Gois, G., Brito, T.T., Moura, N.S.H., 2012. Rainfall series homogeneity analysis to determine the IPP drought index in the state of Alagoas. Floresta Ambiente, 19, 101-112. http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.011
- Passos, M.L.V., Raposo, A.B., Mendes, T.J., 2017a. Precipitação pluviométrica mensal e anual provável para o município de São Mateus ES. Agropecuária Científica no Semiárido, 13(2), 162-168. http://dx.doi.org/1030969/acsa.v13i2.873
- Passos, M.L.V., Raposo, A.B., Mendes, T.J., 2017b. Estimativa da distribuição da precipitação pluviométrica provável em

- diferentes níveis de probabilidade de ocorrência. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, 11, 1106-1115. DOI: 10.7127/rbai.v11n100498
- Pizzato, J.A., Dallacort, R., Tieppo, R.C., Modolo,
  A.J., Cremon, C., Moreira, P.S.P., 2012.
  Distribuição e probabilidade de ocorrência de precipitação em Cáceres (MT). Revista
  Pesquisa Agropecuária Tropical 42(2),137-142.
- Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Araújo Júnior, G.N., Jardim, A.M.R.F., SILVA, M.J., Souza, C.A.A., 2018. Procedimento metodológico para análise da distribuição da chuva e extrato do balanço hídrico no semiárido: estudo de caso. Scientia Plena 14(3), 1-12. https://doi.org/10.14808/sci.plena.2018.030201
- Rossato, L., Alvalá, R., Morengo, J., Zeri, M., Cunha, A., Pires, L., Barbosa, H., 2017. Impactof soil moisture on crop yields over Brazilian semiarid. Fronteiras in Environmental Science 5(73), 1-16. https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00073
- Santos, S.R.Q., Braga, C.C., Santos, A.P.P., Brito, J.I.B., Campos, T.L.O.B., 2014. Classificação de eventos extremos de precipitação em múltiplas escalas de tempo em Bélem-PA: utilizando o índice de precipitação normalizada. Revista Brasileira de Geografia e Física, 7, 629-635.
- Santiago, E.J.P., Oliveira, G.M., Leitão, M.M.V.B.R., Moura, M.S.B., Gonçalves, I., 2017. Precipitação esperada, em diferentes níveis de probabilidade, na região de Juazeiro-BA. Journal of Environmental Analysis and Progress, 2(4), 457-464. https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1462.457-464
- Santos, S.R.Q., Braga, C.C., Sansigolo, C.A., Santos, A.P.P., 2017. Determinação de regiões homogêneas do Índice de Precipitação Normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. Revista Brasileira de Meteorologia 32(1), 111-122. http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863212016001
- Sena, J.P.O., Moraes Neto, J.M., Lucena, D.B., 2019. Variabilidade da precipitação em Sumé e São João do Cariri e suas consequências na agropecuária. Revista Brasileira de Climatologia, 15(1), 278-293. http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.65182
- Silva, M.V., Pandorfi, H., Jardim, A.M.R.F., Oliveira-Junior, J.F., Divincula, J.S., Giongo, P.R., Silva, T.G.F., Almeida, G.L.P., Moura, G.B.A., Lopes, P.M.O., 2021. Spatial modeling of rainfall patterns and groundwater on the coast

- of northeastern Brazil. Urban Climate 35, 100911.
- https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100911
- Silva, D.F., Lima, M.J.S., Souza Neto, P.F., Gomes, H.B., Silva, F.D.S., Almeida, H.R.R.C., Pereira, M.P.S., 2020. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação para o leste do Nordeste. Revista Brasileira de Geografia e Física, 13(2), 449-464. https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p449-464
- Silva, E.R.M., Barbosa, I.C.C., Silva, H.J.F., Costa, L.G.S., Rocha, E.J.P., 2020. Análise do desempenho da estimativa de precipitação do produto CHIRPS para sub-bacia do rio Apeú, Castanhal PA. Revista Brasileira de Geografia e Física, 13(3), 1094-1105. https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1094-1105
- Silva, V.P.R., Silva, R.A., Maciel, G.F., Souza, E.P., Braga, C.C., Holanda, R.M., 2020. Soybean yield in the Matopiba region under climate changes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 24(1), 8-14. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p8-14
- Soares Neto, J.P., Bezerra, A.R.G., Moscon, E.S., 2013. Probabilidade e análise decadal da precipitação pluvial da cidade de Barreiras-BA, Brasil. Revista Brasileira de Geografia e Física 6(3), 470-477. https://doi.org/10.26848/rbgf.v6.3.p470-477
- Song, Z., Xia, J., She, D., Zhang, L., Hu, C., Zhao, L., 2020. The development of a Nonstationary Standardized precipitation index using climate covariates: a case study in the middle and lower reaches of Yantgtze River Basin, China. Jornal of Hydrology. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125115.
- Sousa, A.M.L., Rocha, E.J.P., Vitorino, M.A., Souza, P.J.O.P., Botelho, M.N., 2015. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos Enos. Revista Brasileira de Geografia e Física 8(1), 013-024. https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.1.p013-024
- Souza, D.F.S., Pinto, J.V.N., Costa, D.L.P., Viera, I.C.O., Silva, T.G.F., Souza, P.J.O.P., 2019. Biophysical controls of evapotranspiration in cowpea cultivation under different water regimes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 23(10), 725-732. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10p725-732

- Souza, E.B., Ferreira, D.B.S., Guimarães, J.T.F., Franco, V.S., Azevedo, F.T.M., Moraes, B.C., 2017. Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. Revista Brasileira de Climatologia 21(1), 81-93. http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.41232
- Teodoro, P.E., Corrêa, C.C.G., Torres, F.E., Oliveira Júnior, J.F., Silva Júnior, C.A., Gois, G., Delgado, R.C., 2015. Analysis of the occurrence of wet and drought periods using standardized precipitation index in Mato Grosso do Sul state, Brazil. Journal of Agronomy 14(2), 80-86. DOI: 10.3923/já.2015.80.86
- Terassi, P.M.B., Oliveira-Júnior, J.F., Góis, G., Galvani, E., 2018. Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região Norte do estado do Paraná associada aos eventos de El Niño-Oscilação Sul. Revista Brasileira de Meteorologia. 33(1), 11-25. https://doi.org/10.1590/0102-7786331002
- Tirivarombo, S., Osupile, D., Eliasson, P., 2018. Drought monitoring and analysis: standardised precipitation evapotranspirarion index (SPEI) and s standardised precipitation index (SPI). Physics and Chemistry of the Earth. doi.org/10.1016/j.pce.2018.07.001.
- Tomassela, J., Pinho, P.F., Borma, L.S., Marengo, J.A., Nobre, C.A., Bittencourt, O.R.F., Prado, M.C.R., Rodriguez, D.A., Cuartas, L.A., 2013. The droughts of 1997 and 2005 in Amazonia: floodplain hydrology and its potential ecological and human impacts. Climate Change 116, 723-746. DOI: 10.1007/s10584-012-0508-3
- Vieira, F.M.C., Machado, J.M.C., Vismara, E.S., Possenti, J.C., 2018. Probability distributions of frequency analysis of rainfall at the southwest region of Paraná State, Brazil. Revista de Ciências Agroveterinárias 17(2), 260-266. DOI: 10.5965/223811711722018260
- Wang, L., Yu, H., Yang, M., Yang, R., Gao R., Wang, Y., 2019. A drought index: the standardized precipitation evapotranspiration runoff index. Journal of Hydrology. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.023.
- Wang, W., Zhu, Y., Xu, R., Liu, J., 2015. Drought severity change in China during 1961 2012 indicated by SPI and SPEI. Nat. Hazards 75, 2437-2451. DOI: 10.1007/s11069-014-1436-5
- Yoon, J.H., Zeng, N., 2010. An Atlantic influence on Amazon rainfall. Climate Dynamics 34, 249-264. DOI 10.1007/s00382-009-0551-6.