

# Variabilidade espaço temporal de características de seca usando o *Standardized Precipitation Index* em Pernambuco.

Ivanildo Batista da Silva Júnior

Orientador: Prof. Dr. Antonio Samuel Alves da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Tatijana Stosic

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada (PPGBEA)

13 de Abril de 2022

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Objetivo
  - Objetivo Geral
  - Objetivos Específicos
- 3 Metodologia
- 4 Resultados Esperados
- 5 Cronograma
- 6 Referências
- 7 Agradecimentos

# Introdução

- A seca é um fenômeno natural que ocorre em diversas partes do mundo e com capacidade de afetar setores econômicos (principalmente o agrícola) e o bem-estar social.
- É considerada um dos desastres naturais mais custosos para a economia global (ZHANG et al.,2019).
- O aquecimento global e as mudanças climáticas tem tornado esse fenômeno mais frequente, intenso, duradouro e espacialmente extenso (KILIMANI et al., 2018).
- A seca afeta, principalmente, pessoas residentes de regiões semiáridas (MARENGO, TORRES e ALVES, 2018).

# Introdução

Motivos da seca ser um perigo natural ([WILHITE, SIVAKUMAR e PULWARTY, 2014](#)):

- Início lento e os efeitos acumulam-se ao longo do tempo;
- Não há uma definição precisa e universal sobre esse fenômeno;
- Os impactos da seca são não-estruturais e se espalham por um área geográfica maior do que os danos resultantes de outros riscos naturais.

# Introdução

Tipos de secas, conforme [Mishra e Singh \(2010\)](#):

- **Meteorológicas;**
- Hidrológicas;
- Agrícolas;
- Socioeconômicas;

# Introdução

- A região Nordeste é a região do Brasil mais vulnerável ao fenômeno da seca, além de ser uma das densamente povoadas no mundo.
- O Nordeste possui registros de seca que remontam desde a ocupação portuguesa ([LIMA;MAGALHÃES,2017](#)) e que geraram fome, êxodos e prejuízos ao setor agropecuário.
- O Estado de Pernambuco, localizado no Nordeste, possui 89% de seu território com clima semiárido e caracterizado por baixos índices pluviométricos ([ASFORA; LIMA; LACERDA, 2017](#)).

# Objetivos

## Geral:

- Analisar as características espaço-temporais de seca nas séries de tempo de precipitação no estado de Pernambuco de 1950 a 2012.

# Objetivos

## Específicos:

- Caracterizar eventos de secas ao longo das décadas e estações do ano por meio dos indicadores de avaliação de seca (frequência, área afetada e intensidade de seca).
- Analisar a tendência e magnitude da tendência das séries dos indicadores de seca.
- Espacializar os indicadores por meio de técnicas de interpolação para as regiões de estudo (Sertão, Agreste e Zona da Mata) e comparar as diferentes técnicas.

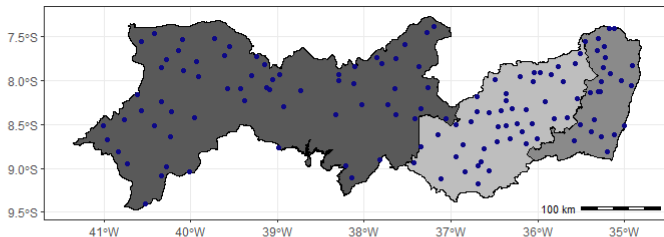


### Dados

- Séries temporais de precipitação mensal para o Estado de Pernambuco.
- Fonte: Laboratório de Meteorologia do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (LAMEP/ITEP).
- 133 estações meteorológicas.
- Período: 1950 a 2012.

## Mapa de Pernambuco, suas regiões e a distribuições das estações meteorológicas.

Divisa ao norte, com Paraíba e Ceará; ao sul, com Alagoas e Bahia; a leste, é banhado pelo Oceano Atlântico; e a oeste, com o Piauí.



Agreste de Pernambuco  
 Zona da Mata de Pernambuco  
 Sertão de Pernambuco

# Metodologia

## *Standardized Precipitation Index*

O *Standardized Precipitation Index*, desenvolvido por [McKee et al.\(2018\)](#), é um dos muitos índices usados na identificação de seca em séries temporais de precipitação, sendo recomendado pela World Meteorological Organization (WMO).

### Vantagens

- É um dos índices mais simples;
- Requer apenas dados de precipitação como variável de entrada;
- Pode ser calculado para diferentes escalas de tempo;
- Ajuda a avaliar a gravidade da seca;

Função densidade de probabilidade da distribuição gama:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad x > 0 \quad (1)$$

- $\alpha > 0$  é um parâmetro de forma
- $\beta > 0$  é um parâmetro de escala
- $\Gamma(\alpha)$  é a função gama :  $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx$

# Metodologia

Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  são estimados usando o método da máxima verossimilhança, que produz estimativas

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad \hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (2)$$

- $\bar{x}$  é o valor médio da quantidade de precipitação;
- $A \equiv \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln x}{n}$  é usado para fornecer uma representação de fórmula mais compacta;
- $n$  é o número de observações.

Em seguida,  $f(x)$  é integrada em relação a  $x$ , para obter a distribuição acumulada

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx, \quad x > 0 \quad (3)$$

Entre os valores de  $x$  podem ocorrer valor(es) zero ( $x = 0$ ) e a função gama é indefinida para esse valor. Por esse motivo é necessário considerar a probabilidade acumulada da seguinte forma

$$H(x) = q + (1 - q)F(x) \quad (4)$$

- $q$  é a probabilidade de precipitação zero, calculada como  $q = m/n$ ;
- $m$  representa o número de zeros em uma série de precipitação;
- $n$  é o número de observações.

A última etapa é padronizar o valor de  $H(x)$  usando a distribuição normal padrão  $\varphi(\cdot)$ , conforme abaixo

$$SPI = \varphi^{-1}[H(x)] \quad (5)$$

Classificação de seca baseada nos valores de SPI

Valores do SPI	$(-\infty, -2]$	$(-2, -1.5]$	$(-1.5, -1]$	$(-1, -0.5]$
Classificação de seca	Seca extrema	Seca severa	Seca moderada	Seca leve

Fonte : [Yan et al.\(2017\)](#)



### Frequência de seca

$$P_i = \left( \frac{n}{N} \right) \cdot 100\%$$

- $n$  é o número de anos que apresentaram um certo grau de seca;
- $N$  é o número total de observações;
- $i$  é a estação pluviométrica específica.

Área afetada pela seca no ano  $j$  (Proporção de estações seca)

$$Q_j = \left( \frac{m}{M} \right) \cdot 100\%$$

- $m$  é o número de estações onde ocorreu a seca;
- $M$  é o número total de estações de observação na área de estudo;
- $Q_j$  indica a extensão da ocorrência de seca em uma determinada área e reflete indiretamente a gravidade da seca na área afetada;

# Metodologia

## Indicadores de seca

Classificação de área seca baseada em  $Q_j$

$Q_j$	[0, 10%)	[10%, 25%)	[25%, 33%)	[33%, 50%)	[50%, 100%]
<b>Classe de área seca</b>	Sem seca aparente	Seca local	Seca regional parcial	Seca regional	Seca global

Fonte : [Yan et al.\(2017\)](#)

### Intensidade de seca

$$S_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |SPI_i|$$

- $m$  é o número de estações onde ocorreram seca;
- $|SPI_i|$  é o valor absoluto dos valores de SPI para a determinada estação pluviométrica  $i$ .
- $j$  é o ano.

Classificação de intensidade de seca baseada em  $S_j$

$S_j$	$(0.5, 1]$	$(1, 1.5]$	$(1.5, 2]$	$(2, +\infty]$
<b>Classe de intensidade de seca</b>	Seca leve	Seca moderada	Seca pesada	Seca extrema

Fonte : [Yan et al.\(2017\)](#)

Teste de tendência Mann-Kendall ([KENDALL,1948](#); [MANN,1945](#))

- É um método estatístico não paramétrico usado para determinar se uma série temporal tem uma tendência monotônica de crescimento ou decrescimento;

Estatística do teste :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$$

- A hipótese nula ( $H_0$ ) do teste é a de que não há presença de tendência.

Caso rejeite-se  $H_0$  ( $p\text{-valor} < \alpha$ ), para a estatística  $Z$  dada abaixo

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

Se  $Z$  apresentar um valor negativo, então a tendência é decrescente; entretanto, se  $Z$  for positivo, a tendência é crescente.

O método de inclinação de Sen ([SEN,1968](#)) é usado para estimar a magnitude da inclinação:

$$\Delta = \text{mediana} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right), i < j$$

- $x_j$  e  $x_i$  são, respectivamente, os valores dos dados em tempos  $j$  e  $i$ , onde  $i < j$ ;
- O sinal  $\Delta$  representa a direção da mudança e seu valor indica a inclinação de mudança.



# Metodologia

## Teste *Wilcoxon-Mann-Whitney*

Teste *Wilcoxon-Mann-Whitney* ([MANN,WHITNEY, 1947](#); [WILCOXON, 1992](#))

- É um teste de hipótese não paramétrico que verifica se duas amostras independentes contendo elementos  $n_1$  e  $n_2$  correspondem ( $H_0$ ) ou não à mesma distribuição.

A estatística  $W$  do teste é calculada

- Combina-se as amostras independentes;
- Classifica, do menor para o maior, as observações desse conjunto combinado (em caso de empate tira-se a média dos postos);
- Soma-se os postos para cada uma das amostras e o menor valor será a estatística  $W$  do teste.

Inverse Distance Weighting (IDW) é um método determinístico para interpolação de dados proposto por [Shepard \(1968\)](#). Denotando por  $r \equiv (x, y)$  a posição de um ponto arbitrário dentro da região a ser interpolada, a fórmula IDW é dada por

$$F(r) = \sum_{k=1}^N W(r_k) f(r_k)$$

- $F(r)$  é o valor interpolado na posição  $r$ ;
- $N$  é o número de observações;
- $f(r_k)$  é o valor observado da  $i$ -ésima estação na posição  $r \equiv (x_k, y_k)$ ;
- $W(r_k)$  é o peso dessa estação.

$W(r_k)$  é dado por

$$W(r_k) = \frac{d_k(r)^{-p}}{\sum_{k=1}^N d_k(r)^{-p}}$$

- $d_k(r) \equiv \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2}$  é a distância euclidiana entre os pontos  $r$  e  $r_k$ ;
- $p$  é o único parâmetro do modelo que determina a taxa de decaimento da influência das observações com a distância.

Kriging ou Krikagem é um procedimento de interpolação semelhante ao IDW, exceto pelo fato de os pesos serem determinados a partir de relações espaciais e estatísticas obtidas através do gráfico do semivariograma empírico dado por

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{k=1}^{N(h)} [f(r_k) - f(r_k + h)]^2$$

- $N(h)$  é o número de pares de amostra  $(f(r_k), f(r_k + h))$  separados pela distância  $h$ ;
- A função empírica  $\hat{\gamma}(h)$  é ajustada a uma forma funcional específica (modelo de variograma).

# Resultados Esperados

Tabela: Resultados esperados.

<b>Categoria</b>	<b>Número esperado</b>
Artigo científico	1
Participação em congresso	1
Patente ou equivalente	0
Livro ou capítulo de livro	0
Dissertação de Mestrado	1
Tese de Doutorado	0
Participação em Editais	0
Outras (especificar)	0

Fonte : Elaboração própria

# Cronograma de Atividades

**Tabela:** Cronograma de execução de atividades por semestre.

<b>Entregáveis</b>	<b>1º Sem.</b>	<b>2º Sem.</b>	<b>3º Sem.</b>	<b>4º Sem.</b>
Créditos de disciplinas				
Créditos de orientação				
Pesquisa Bibliográfica				
Obtenção de dados				
Análise de dados				
Proficiências (inglês)				
Revisão e redação da dissertação				
Defesa da dissertação				

Fonte : Elaboração própria

# Referências

ASFORA, Marcelo Cauás; LIMA, Maurílio; LACERDA, Mauro Roberto de Souza. Diagnóstico da seca 2011-2016 em Pernambuco: impactos e políticas de mitigação. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44, p. 247-273, 2017.

KENDALL, Maurice George. Rank correlation methods. 1948.

KILIMANI, Nicholas et al. Economy-wide impact of drought induced productivity losses. **Disaster Prevention and Management: An International Journal**, 2018.

LIMA, José Roberto de; MAGALHÃES, Antonio Rocha. Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. **Parcerias Estratégicas**, v. 23, n. 46, p. 191-212, 2019.

# Referências

MANN, Henry B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 245-259, 1945.

MANN, Henry B.; WHITNEY, Donald R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **The annals of mathematical statistics**, p. 50-60, 1947.

MARENGO, Jose A.; TORRES, Roger Rodrigues; ALVES, Lincoln Muniz. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3, p. 1189-1200, 2017.

MCKEE, Thomas B. et al. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: **Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology**. 1993. p. 179-183.



# Referências

MISHRA, Ashok K.; SINGH, Vijay P. A review of drought concepts. **Journal of hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 202-216, 2010.

SEN, Pranab Kumar. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American statistical association**, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968.

SHEPARD, Donald. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In: **Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference**. 1968. p. 517-524.

WILCOXON, Frank. Individual comparisons by ranking methods. In: **Breakthroughs in statistics**. Springer, New York, NY, 1992. p. 196-202.

# Referências

WILHITE, Donald A.; SIVAKUMAR, Mannava VK; PULWARTY, Roger. Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. **Weather and climate extremes**, v. 3, p. 4-13, 2014.

YAN, Ziqi et al. The spatio-temporal variability of droughts using the standardized precipitation index in Yunnan, China. **Natural Hazards**, v. 88, n. 2, p. 1023-1042, 2017.

ZHANG, Qiang et al. Multisource data based agricultural drought monitoring and agricultural loss in China. **Global and planetary change**, v. 172, p. 298-306, 2019.

# Agradecimentos



**UFRPE**



**PPG EM BIOMETRIA  
E ESTATÍSTICA APLICADA**  
UFRPE



**CAPES**



**FACEPE**

Fundação de Amparo à Ciência e  
Tecnologia do Estado de Pernambuco



**CNPq**

*Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico*