



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
*CAMPUS* UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA  
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

SIDNEY OLIVEIRA LEAL FILHO

**DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS PLUVIOMÉTRICAS NO  
MUNICÍPIO DE CASTANHAL-PA**

ANANINDEUA-PA

2023

SIDNEY OLIVEIRA LEAL FILHO

**DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS PLUVIOMÉTRICAS NO  
MUNICÍPIO DE CASTANHAL-PA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao *campus* universitário de Ananindeua da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Claudio Fialho Andrade

ANANINDEUA-PA

2023

## ERRATA

LEAL FILHO, S. O. **Detecção de Tendências Pluviométricas no Município de Castanhal-PA.** 2023. 4 f. TCC (Graduação) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2023.

<b>FOLHA</b>	<b>LINHA</b>	<b>ONDE LÊ-SE</b>	<b>LEIA-SE</b>
12	38	clico	ciclo
13	4	software MS Excel	<i>software MS Excel</i>
13	6	software R Studio	<i>software RStudio</i>
13	17	(valores atípicos, que apresentam grande afastamento dos demais valores da série, ou que são inconsistente.).	(valores atípicos, que apresentam grande afastamento dos demais valores da série, ou que são inconsistente).
13	20	S	<i>S</i>
13	27	V	<i>Var(S)</i>
13	34	p	<i>p</i>
13	39	Z	<i>S</i>
13	53	Tabela 1 – Dados – via MS EXCEL - de total anual, média anual, período seco e chuvoso.	Tabela 1 – Dados de total anual, média anual, período seco e chuvoso.
14	2	MS EXCEL	<i>MS EXCEL</i>
14	3	Software RSTUDIO	<i>Software RSTUDIO</i>
14	5	Figura 2 – dados para o R STUDIO.	Figura 2 – Dados para o R STUDIO.
14	7	figura 3	Figura 3
14	10	Trend	<i>Trend</i>
14	10	software	<i>software</i>
14	15	tabela 2	Tabela 2
14	16	Tabela 2 – resultado das análises	Tabela 2 – Resultado das Análises
14	17	Status da tendencia	Status da Tendência
14	17	Tendencia nos 13 Anos	Tendência nos 13 Anos

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBDSistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F478d Filho, Sidney Oliveira Leal.  
Detecção de Tendências Pluviométricas no Município de Castanhal-PA / Sidney Oliveira Leal Filho. — 2023.  
IV, 4 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Claudio Fialho AndradeTrabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Ananindeua, Curso de Ciência e Tecnologia, Ananindeua ,2023.

1. Estatística, Análise de Tendência, Método deMann-kendall.. I. Título.

---

CDD 620

SIDNEY OLIVEIRA LEAL FILHO

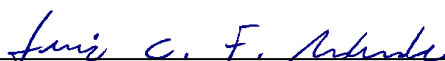
**DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS PLUVIOMÉTRICAS NO  
MUNICÍPIO DE CASTANHAL-PA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao *campus* universitário de Ananindeua da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Claudio Fialho Andrade

Aprovado em: 27/10/2023

Banca examinadora:



---

Prof. D.Sc. Luiz Cláudio Fialho Andrade  
Orientador – FEM/ITEC/UFPA



---

B.Sc. Larissa dos Santos Borges  
Examinador externo – UFPA



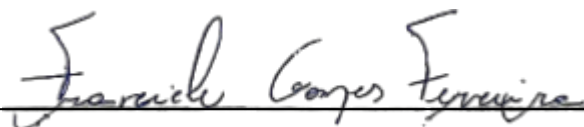
---

B.Sc. Jean Carlos de Almeida Nobre  
Examinador externo – UFPA



---

B.Sc. David Lohan Pereira de Sousa  
Examinador externo – UFPA



---

Prof. M.Sc. Franciele Gomes Ferreira  
Membro Interno – FACT/UFPA

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha mãe Milena e minha avó Maridalva por acreditar que eu era capaz, por me incentivar e conversar comigo.

A todo corpo técnico e docente da Universidade Federal do Pará, pelo companheirismo e todo um aprendizado, fazendo ampliar meus conhecimentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Claudio Fialho Andrade por ter tido muita paciência nas correções e dúvidas.

## RESUMO

A análise das tendências pluviométricas regionais é de suma importância para compreender as transformações climáticas e ambientais em curso. Este estudo específico concentrou-se na realização de análises estatísticas da precipitação no período de 2009 a 2022, com base em dados coletados pela respeitada Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Para investigar a presença de tendências nas séries temporais, empregou-se o teste de Mann-Kendall, um método amplamente reconhecido para avaliações desse tipo. Os resultados obtidos revelaram um aumento anual médio de 0,34 milímetros na precipitação, indicando uma tendência positiva e crescente no volume de chuvas no município em estudo. Tal constatação enfatiza a necessidade premente de monitorar de perto as mudanças nos padrões pluviométricos, dada a sua influência crucial nas dinâmicas ambientais e na elaboração de estratégias de adaptação e mitigação dos riscos associados às variações climáticas. Consequentemente, essas descobertas podem fornecer insights valiosos para orientar políticas eficazes de gestão sustentável dos recursos hídricos e planejamento resiliente frente às incertezas climáticas emergentes.

**Palavras-chave:** Séries Pluviométricas; Análise de Tendência; Método de Mann-Kendall.

## ABSTRACT

The analysis of regional rainfall trends is of paramount importance for understanding the climatic and environmental transformations underway. This specific study focused on carrying out statistical analysis of rainfall for the period 2009 to 2022, based on data collected by the respected National Water and Sanitation Agency (ANA). To investigate the presence of trends in the time series, the Mann-Kendall test was used, a widely recognized method for evaluations of this type. The results obtained revealed an average annual increase of 0.34 millimeters in rainfall, indicating a positive and growing trend in the volume of rainfall in the municipality under study. This finding emphasizes the pressing need to closely monitor changes in rainfall patterns, given their crucial influence on environmental dynamics and on devising strategies for adapting to and mitigating the risks associated with climate variations. Consequently, these findings can provide valuable insights to guide effective policies for sustainable water resource management and resilient planning in the face of emerging climate uncertainties.

**Keywords:** Rainfall series; Trend analysis; Mann-Kendall method.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico climático ao longo dos anos.....	03
Figura 2 – Dados para o RSTUDIO.....	03
Figura 3 – Aplicando o método nos dados.....	03

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Dados - via MS EXCEL - de total anual, média anual, período seco e chuvoso ..02

Tabela 2 – Resultados das análises.....03

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

## SUMÁRIO

	<b>RESUMO .....</b>	<b>12</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>14</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>15</b>

## DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS PLUVIOMÉTRICAS NO MUNICÍPIO DE CASTANHAL-PA

Sidney Oliveira Leal Filho<sup>1</sup>, Luiz C. F. Andrade<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduando, Bacharelado em Ciência e Tecnologia - Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Brasil (sidneyleal64@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Brasil

**Resumo:** A detecção de tendências pluviométricas regionais é um importante estudo para entender mudanças climáticas e ambientais. Neste estudo, análises estatísticas de tendência pluviométrica foram realizadas sobre dados referentes ao município de Castanhall-PA, coletados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), no período compreendido entre os anos de 2009 a 2022, utilizando o método de Mann-Kendall. Os dados processados indicaram aumento da precipitação média anual na razão de 0,34 mm por ano.

**Palavras-chave:** Estatística, Análise de Tendência, Método de Mann-kendall.

### INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e suas consequências têm sido objetos de intensos estudos nos últimos anos. Investigações sobre tendências climáticas podem ajudar a entender essas mudanças e a planejar ações para lidar com algumas de suas causas, como o desmatamento, a emissão de gases, e a extensão sem planejamento de fronteiras de atividades de mineração, garimpo, e agropastoris.

Com a intensificação de eventos climáticos extremos, como secas e inundações, torna-se fundamental compreender e monitorar as mudanças nos padrões de chuva ao longo do tempo. A detecção de tendências pluviométricas envolve a análise estatística de dados históricos de precipitação para identificar possíveis mudanças significativas nos padrões de chuva, tais como alterações nas médias, nas variações e nas frequências das precipitações. Essa análise pode ajudar na previsão de eventos climáticos extremos e na elaboração de políticas públicas que visem a mitigação e adaptação aos impactos das mudanças climáticas.

A detecção de tendências pluviométricas é um tema cada vez mais relevante no contexto das mudanças climáticas. As mudanças climáticas locais são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, a exemplo da temperatura do ar e da precipitação pluvial (SANTOS, 2006).

Segundo Aleixo e Filho (2022), é crucial verificar se há uma tendência de mudança climática em uma escala local ou regional, pois isso permite identificar possíveis anomalias e avaliar o risco associado a elas. Essa análise também é essencial para informar a criação de políticas públicas que sejam adequadas às

diferentes realidades socioambientais e facilitem a adaptação às mudanças climáticas.

Segundo o sexto relatório do IPCC (2023) “prevê-se que o aquecimento global contínuo intensifique ainda mais o ciclo da água, incluindo sua variabilidade, precipitação global de monções e eventos climáticos e estações muito úmidas e muitos secos”.

Análises estatísticas relacionadas à precipitação pluviométrica foram realizadas sobre dados climáticos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para a cidade de Belém-PA por Cardoso et al. (2022), sobre a série histórica de 2003 a 2021, e por Brisola et al. (2022), sobre a série histórica de 2011 a 2021. Os resultados de Cardoso et al. (2022) mostraram uma média de precipitação de 0,19 mm/h e os meses de março e julho, respectivamente, como os meses de maior e menor precipitação. Brisola et al. (2022) mostraram como resultados uma linha de tendência crescente de precipitação no período analisado, com os anos de 2016 e 2021 como aqueles de menor (2563,8 mm) e maior (4300,2 mm) precipitação anual total, respectivamente.

O presente estudo tem como objetivo utilizar o teste de Mann-Kendall para identificar tendências de precipitação pluviométrica no município de Castanhall-PA.

### MATERIAL E MÉTODOS

O município Castanhall-PA encontra-se na região nordeste do estado do Pará e possui um clima característico tropical. Suas coordenadas geográficas são  $-1,300833^\circ$  de latitude e  $-47,948056^\circ$  de longitude, com uma altitude de 47,12 m (INMET).

Para determinar as médias anuais de precipitação por hora, foram utilizados os registros horários da precipitação fornecidos pela Agência Nacional das Águas (ANA) e processados no software MS Excel. Posteriormente, foi aplicado o método de Mann-Kendall no software R Studio para gerar a variação da precipitação ao longo dos anos, bem como a média anual de precipitações mais alta e mais baixa entre os anos de 2009 e 2022.

O método de Mann-Kendall é uma técnica estatística não paramétrica utilizada para analisar a presença de tendências em séries temporais. Ele é especialmente útil quando a distribuição dos dados não segue uma distribuição normal ou quando os dados contêm *outliers* (valores atípicos, que apresentam grande afastamento dos demais valores da série, ou que são inconsistentes.).

As fórmulas para o teste de Mann-Kendall são as seguintes:

Calcular o valor de  $S$ , que é a soma dos sinais das diferenças entre os valores sucessivos da série temporal:

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

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & \text{se } x_j > x_i \\ 0; & \text{se } x_j = x_i \\ -1; & \text{se } x_j < x_i \end{cases} \quad (2)$$

Onde  $\text{sgn}$  é a função de sinal, que retorna 1 se o argumento é positivo, -1 se o argumento é negativo e 0 se o argumento é zero.  $i$  e  $j$  são os índices da série temporal, onde  $i < j$ .

Calcular o valor de  $V$ , que é a variância de  $S$ :

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^q t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (3)$$

Onde  $n$  é o número de observações e  $t_j$  é o número de empates entre os valores de  $i$  e  $j$ ,  $i < j$ .

Calcular o valor de  $Z$ , que é a estatística do teste de Mann-Kendall:

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

Para verificar se há uma tendência na série temporal, o teste de Mann-Kendall é utilizado para calcular o valor  $p$ , que é comparado com o nível de significância definido. Se o valor  $p$  for menor que o nível de significância, a hipótese nula é rejeitada, indicando que há uma tendência na série temporal. Além disso, para determinar se a tendência é crescente ou decrescente, basta observar o sinal da estatística  $Z$ :

Se o valor de  $p$  for menor do que um nível de significância pré-definido (e.g. 0,05), podemos rejeitar a hipótese nula de que não há tendência na série temporal e concluir que há evidência estatística de uma tendência monotônica crescente ou decrescente. Caso contrário, não podemos rejeitar a hipótese nula e concluimos que não há evidência de tendência na série temporal.

Por meio dos dados históricos obtidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), foram feitos os totais anuais de precipitação, média anual e os totais referentes ao período seco e chuvoso, observando-se na tabela 1:

Tabela 1 – Dados – via MS EXCEL - de total anual, média anual, período seco e chuvoso.

AN O	TOTA L	MÉDI A	P.Seco	P.Chuvos o
2009	3160,7	263,39	1245,9	2065,4
2010	2378,1	198,17	885,1	1224,7
2011	2050,3	227,81	521,8	1674,9
2012	1367,7	151,96	505,1	781,6
2013	1019,7	127,46	427,8	382,4
2014	2082,1	189,28	493,9	1790,2
2015	2062,4	170,86	581,2	1487,8
2016	2633,5	219,45	627,8	1709,6
2017	2274,8	189,56	388,6	2085,2
2018	1776,4	296,06	419,7	1067,7
2019	2925,6	243,8	729	2339,4
2020	3251,7	270,97	849,2	2597
2021	2457,1	223,37	1062,1	1421,2
2022	2727,1	340,88	328,9	2502

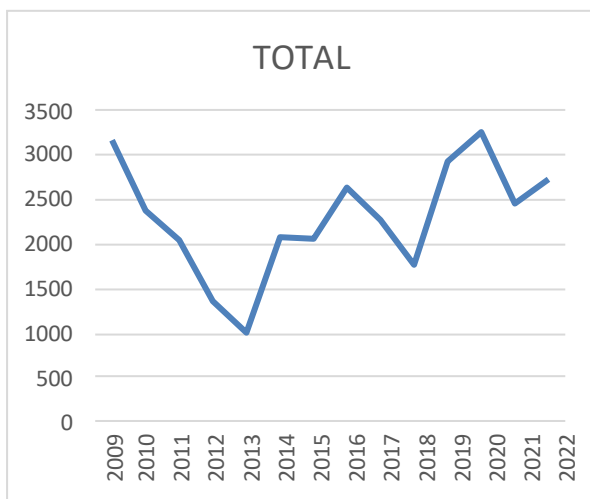


Figura 1 – Gráfico climático ao longo dos anos.

Os dados obtidos via MS EXCEL foram então exportados para o Software RSTUDIO para a realização do teste escolhido.

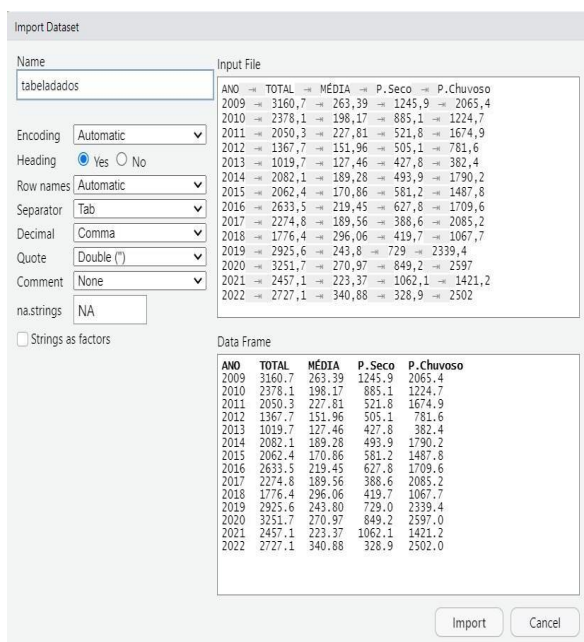


Figura 2 – Dados para o RSTUDIO.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 3 pode-se verificar que foram aplicados nos resultados o método de Mann-Kendall, com o comando “mk.test(nome da tabela \$dado a ser calculado)” e o pacote de dados Trend para o software realizar os cálculos, verifica-se a seguir o método aplicado e os resultados obtidos:

```
R 4.3.0 - ~/R/

Mann-Kendall trend test

data: tabeladados$TOTAL
z = 1.2044, n = 14, p-value = 0.2284
alternative hypothesis: true S is not equal to 0
sample estimates:
      S      varS      tau
23.0000000 333.6666667  0.2527473

> mk.test(tabeladados$MÉDIA)

Mann-Kendall trend test

data: tabeladados$MÉDIA
z = 1.6423, n = 14, p-value = 0.1005
alternative hypothesis: true S is not equal to 0
sample estimates:
      S      varS      tau
31.0000000 333.6666667  0.3406593

> mk.test(tabeladados$P.Seco)

Mann-Kendall trend test

data: tabeladados$P.Seco
z = -0.65694, n = 14, p-value = 0.5112
alternative hypothesis: true S is not equal to 0
sample estimates:
      S      varS      tau
-13.0000000 333.6666667 -0.1428571

> mk.test(tabeladados$P.Chuvoso)

Mann-Kendall trend test

data: tabeladados$P.Chuvoso
z = 1.5329, n = 14, p-value = 0.1253
alternative hypothesis: true S is not equal to 0
sample estimates:
      S      varS      tau
29.0000000 333.6666667  0.3186813
```

Figura 3 – Aplicando o método nos dados.

Após a aplicação do método no software, os resultados obtidos podem ser verificados na tabela 2:

Tabela 2 – resultado das análises.

Dados Analisados	Status da tendência	Tendência nos 13 Anos
Total Anual	Aumento com Significância Estatística	p = 0,2 e S = 0.2527mm
Média Anual	Aumento com Significância Estatística	p=0,1 e S = 0.3406mm
Período Seco	Aumento sem Significância Estatística	p = 0,5 e S = -0,1428
Período Chuvoso	Aumento com Significância Estatística	p = 0,1 e S = 0.3186

### CONCLUSÃO

A análise dos dados mostrou que a precipitação média anual na cidade de Castanhal-PA teve um aumento de 0,3406 mm por ano, indicando uma tendência crescente. Os totais anuais de precipitação também aumentaram, indicando tendências positivas. Esses resultados foram observados tanto no período seco

quanto no período chuvoso, mas com um aumento mais significativo no período chuvoso.

A partir desses resultados (e de outros resultados acessórios), é possível formalizar um entendimento dos impactos que o aumento da precipitação causou no município de Castanhal-PA nos últimos 14 anos.

#### REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, L. D. S.; ALEIXO, N. C. R. Tendências climáticas em Coari-AM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2601, 2022.

**Agência Nacional de Águas e saneamento básico.** Disponível em: <<https://dadosabertos.ana.gov.br/>>. Acesso em: 30 apr. 2023.

BRISOLA, Caroline de Oliveira; SOUSA, David Lohan Pereira de; NOBRE, Jean Carlos de Almeida; ANDRADE, Luiz Claudio Fialho. **Análise dos dados meteorológicos da cidade de Belém-PA.** Congresso Internacional de Sustentabilidade, Educação e Tecnologia: Ciência, Sociedade, Meio Ambiente e Educação Profissional, Paraná, p. 1-19, 2022.

CARDOSO, F. DE F. **Análise estatística da precipitação pluviométrica em Belém-PA.** 2022.

Climate Change 2023: AR6 Synthesis Report. IPCC. Disponível em <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>> Acesso em: 20 de Abril de 2023.

GUEDES, H. A. S.; PRIEBE, P. DOS S.; MANKE, E. B. Tendências em Séries Temporais de Precipitação no Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 2, p. 283–291, 2019.

**Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.** Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/sobre>>. Acesso em: 30 apr. 2023.

SANTOS, C. A. C. dos. (2006) **Estimativa e Tendências de Índices de Detecção de Mudanças Climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba**, 98 p., Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.