

**APLICAÇÃO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA IDENTIFICAÇÃO
DE TENDÊNCIAS PLUVIOMÉTRICAS EM MOSSORÓ/RN**

Alexandre H. de S Correia Filho¹

Stefeson Bezerra de Melo²

RESUMO

Este estudo analisa as tendências de chuva em Mossoró, localizada no semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil, uma área projetada por precipitações imprevisíveis e temperaturas elevadas. A pesquisa examina as mudanças climáticas das últimas três décadas e seu efeito na economia local, particularmente na agricultura e administração de recursos hídricos, utilizando dados de 1994 a 2023. Através dos testes de Run e Mann-Kendall, o estudo concluiu que não ocorreram alterações significativas nos padrões de incidentes, mesmo diante de secas severas. A avaliação indica uma diminuição suave nas precipitações, mas sem importância estatística. Essas descobertas foram descobertas para a criação de políticas públicas externas para a adaptação às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, teste de Run, teste de Mann-Kendall.

ABSTRACT

This study analyzes rainfall trends in Mossoró, located in the semi-arid region of Rio Grande do Norte, Brazil, an area characterized by unpredictable precipitation and high temperatures. The research examines climate changes over the past three decades and their impact on the local economy, particularly in agriculture and water resource management, using data from 1994 to 2023. Through the Run and Mann-Kendall tests, the study concluded that no significant changes occurred in rainfall patterns, even in the face of severe droughts. The evaluation indicates a slight decrease in precipitation, but without statistical significance. These findings were identified to inform external public policies for climate change adaptation.

Keywords: climate change, Run test, Mann-Kendall test.

INTRODUÇÃO

A análise de tendências climáticas é uma ferramenta essencial para entender como os padrões meteorológicos mudam, especialmente em locais onde a variabilidade climática afeta diretamente a economia e a qualidade de vida das pessoas. Mossoró, localizada no Oeste do Rio Grande do Norte, é um importante centro econômico do Nordeste brasileiro. Com uma população estimada de aproximadamente 300 mil pessoas e uma área territorial de cerca de 2.110 km², Mossoró enfrenta desafios significativos na gestão de recursos hídricos, devido à dependência de regimes pluviométricos altamente instáveis (IBGE 2022).

O clima de Mossoró é predominantemente semiárido, caracterizado por temperaturas elevadas ao longo de todo o ano e precipitação irregular. A média anual de chuvas na região é de aproximadamente 700 mm, concentrando-se principalmente nos meses de fevereiro a maio, período conhecido como a "estação chuvosa" (LABINC UFERSA 2020). No entanto, essas chuvas são frequentemente mal distribuídas, o que aumenta o risco de longos períodos de seca, fenômeno comum na região. A cidade já experimentou eventos extremos de seca, como nos anos de 2012 a 2017, quando a precipitação foi significativamente abaixo da média histórica, impactando a agricultura, a pecuária e a disponibilidade de água para consumo humano (SOUSA, 2022).

A análise das tendências de precipitação é crucial para o planejamento urbano, agrícola e ambiental devido ao clima semiárido da região, que é caracterizado por chuvas irregulares e concentradas em um curto período do ano. Para se adaptar às condições climáticas futuras e implementar políticas públicas que reduzam os efeitos negativos da variabilidade climática sobre a agricultura, a disponibilidade de água e o desenvolvimento socioeconômico de Mossoró, é fundamental identificar possíveis mudanças nos padrões de precipitação (SALVIANO et al, 2015).

Dessa forma, este estudo tem como objetivo geral identificar as tendências de precipitação na cidade de Mossoró-RN, utilizando métodos estatísticos, com o intuito de analisar possíveis mudanças nos padrões climáticos ao longo das últimas três décadas. Para atingir esse objetivo, serão aplicados testes estatísticos avançados, como o Run Test e o teste de Mann-Kendall, com os seguintes objetivos específicos:

- Aplicar o Run Test para avaliar a aleatoriedade das séries temporais de precipitação e identificar possíveis padrões de persistência.
- Aplicar o teste de Mann-Kendall para detectar tendências monotônicas nas séries temporais de precipitação, identificando se há um aumento ou diminuição significativa ao longo do tempo.

A aplicação desses métodos estatísticos na análise dos dados de precipitação da cidade, coletados entre 1994 e 2023, permitirá uma avaliação precisa das mudanças ocorridas e das possíveis tendências futuras. Essas informações são fundamentais para a adaptação da infraestrutura urbana e das práticas agrícolas às condições climáticas em evolução, além de subsidiar o desenvolvimento de políticas públicas eficazes voltadas à mitigação dos impactos das mudanças climáticas, garantindo a sustentabilidade econômica e ambiental da região de Mossoró.

METODOLOGIA

Foram utilizados dados de precipitação mensal estação convencional (1994 a 2008) e automática (2008 a 2023) de Mossoró, RN, relativos a um período de 3 décadas. A estação meteorológica convencional foi desativada, porém a automática, está localizada na (latitude -4.90, longitude -37.36, com altitude de 29,44 m), próximo a Universidade federal rural do semiárido (UFERSA). No período anterior a 2008, foi usada a estação convencional para a coleta de dados.

Na avaliação da precipitação foram considerados os totais anuais e totais mensais. Em cada variável estudada, foram aplicadas a análise de regressão, e realizadas análises não paramétricas por meio do run test e de Mann-Kendall.

Thom (1966) criou o teste Run, um teste não-paramétrico que é usado para determinar se uma série ocorre aleatoriamente. Consiste na contagem do número de oscilações em uma série de dados naturalmente ordenados que estão acima e abaixo da mediana. O número de oscilações é chamado de Run e é usado para verificar se o valor distribuído está dentro da faixa de distribuição normalmente considerada. Os valores altos de Run mostram muitas oscilações, enquanto os valores baixos mostram um desvio da mediana durante o período de registros. (BACK,2001)

Se a sequência tiver símbolos N_1 de um tipo e N_2 de outro tipo (e N_1 e N_2 não são muito pequenos), a distribuição amostral do número total de Runs pode ser aproximada pela distribuição normal com média: (BACK,2001)

$$E(u) = \frac{2N_1N_2}{N_1+N_2} + 1 \text{ (Equação 1)}$$

E a variância da distribuição pode ser estimada por:

$$Var(u) = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1 + N_2)^2(N_1 + N_2 - 1)} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde $E(u)$, é o Valor esperado e u é o número de Runs. Então por isso, a hipótese nula de que a distribuição dos símbolos ocorre normalmente, e que a amostra é aleatória, pode ser testada com base na estatística: (BACK, 2001)

$$Z = \frac{u - E(u)}{\sqrt{Var(u)}} \quad \text{(Equação 3)}$$

É possível fazer uma comparação entre este valor calculado e os valores de z para distribuição normal. Z deve estar entre -1,96 e 1,96 para o nível de significância de 5%. A hipótese de nulidade deve ser rejeitada se o valor calculado for maior que o valor tabelado.

O teste de significância do coeficiente angular pode ser usado na análise de regressão para mostrar mudanças climáticas. Considerando o tipo de pesquisa da reta: (BACK, 2001)

$$Y = aX + b \quad \text{(Equação 4)}$$

O teste de Mann-Kendall, introduzido originalmente por Sneyers em 1975, é uma técnica não paramétrica utilizada para verificar a presença de tendências em séries temporais. O teste pressupõe que, sob a hipótese de ausência de tendência, os valores da série são independentes e distribuídos de maneira homogênea ao longo do tempo, caracterizando uma série aleatória simples. Goossens e Berger (1986) destacam o teste de Mann-Kendall como uma ferramenta eficaz para a análise de mudanças em séries climatológicas, sendo recomendado para identificar alterações climáticas. Além disso, esse teste permite detectar o início aproximado de uma tendência dentro da série temporal. (BACK, 2001)

Moraes et al. (1995) descrevem o método considerando uma série temporal de X_i de N termos ($1 \leq i \leq N$); o teste consiste na soma t_n do número de termos m_i da série, relativo ao valor X_i cujos termos precedentes ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($X_j < X_i$), isto é: (BACK, 2001)

$$t_n = \sum_{i=1}^n m_i \quad \text{(Equação 5)}$$

Para séries com grande número de termos (N), sob a hipótese nula (Ho) de ausência de tendência, t_n apresentará uma distribuição normal com média e variância: (BACK, 2001)

$$E(t_n) = \frac{N(N-1)}{4} \text{ (Equação 6)}$$

$$Var(t_n) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72} \text{ (Equação 7)}$$

Testando a significância estatística de t_n para a hipótese nula usando um teste bilateral, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística $u(t)$ dada por:

$$u(t) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{Var(t_n)}} \text{ (Equação 8)}$$

O valor da probabilidade α_1 é calculado por meio de uma Tabela da normal reduzida tal que:

$$\alpha_1 = \text{prob}(|u| > |u(t)|) \text{ (Equação 9)}$$

A hipótese nula é rejeitada ou não, a um nível de significância α_0 , se $\alpha_1 > \alpha_0$ ou $\alpha_1 < \alpha_0$ respectivamente. Normalmente, utiliza-se um nível de significância $\alpha_0 = 0,005$ para o teste. A rejeição da hipótese nula ocorre quando há uma tendência significativa na série temporal. O sinal da estatística $u(t)$ indica se a tendência é positiva ($u(t) > 0$) ou negativa ($u(t) < 0$).

O ponto de início da mudança pode ser identificado aplicando o mesmo princípio à série invertida. Nesse caso, calcula-se o número de termos M_i da série X_j para cada termo, de modo que para $X_i > X_j$, com $i < j$, os valores de $u(t)$ para a série invertida sejam:

$$u^*(d_i) = -u(d_{i'}) \text{ (Equação 10)}$$

A interseção das curvas $u(t)$ e $u^*(t)$ marca o ponto de mudança, se estiver dentro dos limites críticos do intervalo de confiança.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo, os testes estatísticos foram usados para determinar se havia mudanças nas séries temporais de precipitação em Mossoró-RN ao longo de 30 anos. Para esta análise, foram escolhidos dois métodos não paramétricos: o teste de Run e o teste de

Mann-Kendall. Ambos os testes são amplamente utilizados para detectar tendências em séries temporais climatológicas. Ambos os testes mostraram que a tendência de queda da precipitação ao longo do tempo não era estatisticamente significativa.

TESTE DE RUN

O teste de run revelou um valor de $z = -0,74$, que avalia a aleatoriedade dos dados examinando a sequência de oscilações em torno da mediana. A hipótese nula de aleatoriedade não pode ser rejeitada, pois este valor está dentro do intervalo crítico de $-1,96 \leq z \leq 1,96$. Isso indica que os dados de precipitação analisados foram aleatórios em torno da mediana e não mostraram nenhuma tendência significativa. Como resultado, a aplicação do teste de corrida não encontrou padrões de persistência na série temporal de precipitação.

Tabela 1: Precipitação Média anual de Mossoró/RN e números de Run para o teste de Run – Fonte: Autoria própria

Ano	Precipitação Média (mm)	N	RUN	sequências de RUN (R)
1994	95,39	N1	0	14
1995	64,02	N1	0	
1996	57,98	N1	0	
1997	54,59	N2	1	
1998	23,75	N2	0	
1999	44,08	N2	0	
2000	72,53	N1	1	
2001	28,31	N2	1	
2002	87,23	N1	1	
2003	72,97	N1	0	
2004	99,24	N1	0	
2005	49,52	N2	1	
2006	79,56	N1	1	
2007	78,28	N1	0	
2008	80,90	N1	0	
2009	141,31	N1	0	
2010	32,75	N2	1	
2011	84,89	N1	1	
2012	20,60	N2	1	
2013	44,14	N2	0	
2014	24,46	N2	0	
2015	20,48	N2	0	

2016	37,45	N2	0	
2017	47,05	N2	0	
2018	49,36	N2	0	
2019	59,10	N1	1	
2020	68,00	N1	0	
2021	53,21	N2	1	
2022	59,05	N1	1	
2023	54,54	N2	1	

Tabela 2: Teste de Run da Precipitação anual de Mossoró/RN – Fonte: Autoria própria

Mediana	N1	N2
56,28	15	15
Valor esperado [E(u)]	16	
Variância [Var(u)]	7,24	
Desvio padrão [σ]	2,69	
Z	-0,74322 ^{ns}	

ns: não – significativo a 5% de probabilidade

Tabela 2 – Análise do coeficiente angular da regressão linear da tendência climática para precipitação em Mossoró/RN de 1994 a 2023. Fonte: Autoria própria

Valor	Desvio	Intervalo de confiança (95%)
-0.6078	0.56991	-1,1777 a - 0,0379

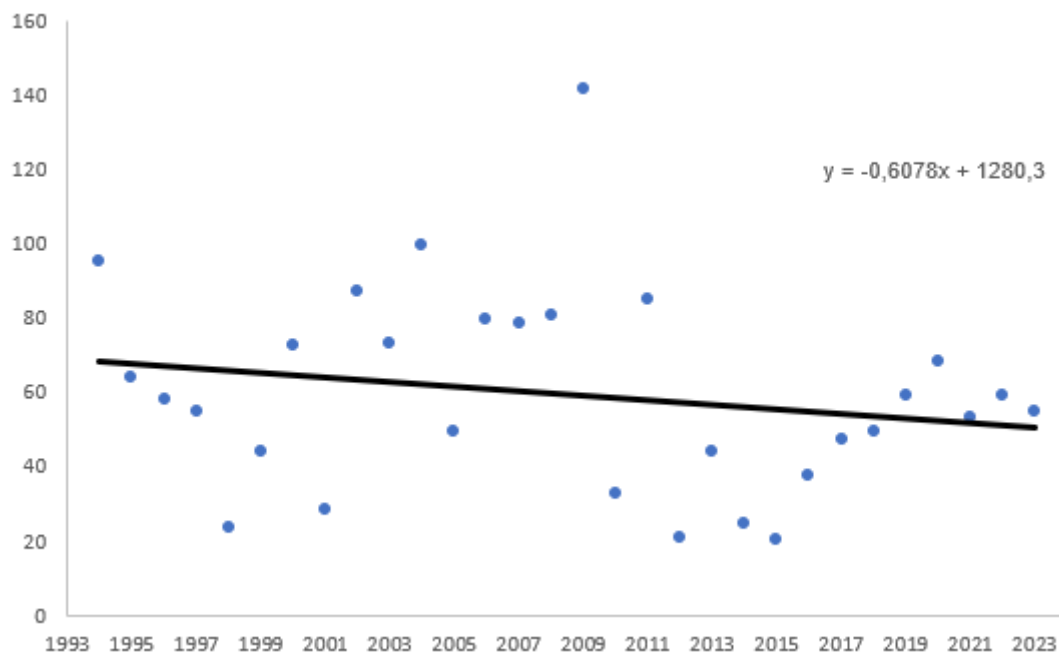


Gráfico 1: Regressão linear da tendência climática para precipitação em Mossoró/RN de 1994 a 2023 – Fonte: Autoria própria

TESTE DE MANN-KENDALL

Por outro lado, o teste de Mann-Kendall produziu um valor de $\tau = -0,103$, indicando uma tendência moderadamente negativa nas séries temporais de precipitação. Mas esse valor de τ é muito próximo de zero, indicando que há uma tendência bastante fraca. Além disso, o valor p correspondente foi significativamente maior que o nível de significância padrão de 0,05, com p-valor de 0,43245. Esse resultado reforça a conclusão de que os dados de precipitação não mostram uma tendência significativa ao longo do período estudado.

Embora o teste de Mann-Kendall tenha mostrado uma tendência negativa um pouco mais clara do que o Run Test, essa tendência ainda não é estatisticamente significativa. Portanto, não é possível afirmar com segurança que os padrões de precipitação em Mossoró nos últimos 30 anos tenham mudado de forma sistemática.

Os resultados mostram que, apesar das preocupações com a variabilidade climática na região de Mossoró, não há provas concretas de que os padrões de precipitação na região tenham mudado significativamente nos últimos trinta anos. Isso pode sugerir que, embora tenham ocorrido eventos extremos de seca e chuvas imprevistas, eles não mostram uma tendência estatisticamente significativa ao longo do tempo.

No entanto, a importância de continuar monitorando a precipitação na região permanece relevante apesar da ausência de tendências significativas. Considerando o fato de que o clima semiárido é incerto e imprevisível, é fundamental realizar estudos longitudinais para detectar rapidamente mudanças climáticas que possam impactar o bem-estar social e econômico da população local.

Este estudo será útil para entender as mudanças climáticas regionais, fornecendo uma base científica para a criação de políticas públicas e estratégias de gestão. Isso permitirá que a cidade de Mossoró e sua população se desenvolvam de forma sustentável.

CONCLUSÃO

Este trabalho analisou as tendências de precipitação em Mossoró-RN durante 30 anos, utilizando os testes estatísticos não paramétricos de Run e Mann-Kendall. Os resultados sugerem que, mesmo com ocorrências de seca e chuvas durante o período analisado, não existem evidências estatisticamente relevantes de alterações consistentes nos padrões de ocorrência.

O teste de Run revelou que os dados são aleatoriamente distribuídos em torno da mediana, sem apelos de persistência perceptíveis, enquanto o teste de Mann-Kendall apontou uma leve tendência negativa, embora de intensidade moderada e sem relevância.

A falta de uma tendência definida indica que, mesmo com as variações climáticas notadas, não ocorreu uma alteração sistemática nas precipitações. Contudo, a importância de continuar a acompanhar as condições climáticas é essencial, particularmente numa área semiárida como Mossoró, onde a variabilidade e a incerteza do clima podem causar efeitos significativos na economia local, particularmente na agricultura e na administração de recursos hídricos.

A análise de regressão e o teste de Mann-Kendall apresentam concordância entre seus resultados e podem ser utilizados na identificação de tendências de séries temporais.

REFERÊNCIAS

LABORATÓRIO de Instrumentação, Meteorologia e Climatologia. [s.d.]. **Edu.br**. Recuperado em 1º de outubro de 2024, de <https://labimc.ufersa.edu.br/>

MOSSORÓ (RN). [s.d.]. **Gov.br**. Recuperado em 1º de outubro de 2024, de <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/mossoro.html>

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778620150003>

SOUZA. **Edu.br**. Recuperado em 1º de outubro de 2024, de <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/bf016906-b146-4812-9f04-8558885e041a/content>

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11.; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2., 1995, Recife. Anais... Recife: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995. p. 27-32.

SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. Genève : Organisation Météorologique Mondiale, 1975. 192 p. (OMM Note Technique, 143).

THOM, H. C. S. Some methods of climatological analysis. Genève: World Meteorological Organization, 1966. 54 p. (WMO Technical Note, 81).