

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE DE TENDÊNCIA NAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DO CARIRI – CEARÁ

Hudson Mendes de Araújo¹; Celme Torres F. da Costa²; Paulo Roberto Lacerda Tavares³ & Tatiane Lima Batista⁴

RESUMO – A evidência das mudanças climáticas e o impacto que elas têm sobre o mundo é uma problemática constante que demanda conhecimentos específicos sobre sua origem a fim de minimizar desastres ambientais. Por se tratar de eventos cíclicos, é possível prever a ocorrência de eventos extremos, como cheias e estiagens. Por outro lado, ações antrópicas agravam de forma direta as mudanças climáticas. À vista disto, este estudo consiste em analisar na Região Metropolitana do Cariri as tendências de séries de precipitação por meio dos testes de Regressão Linear e Mann-Kendall, utilizando dados de 30 anos. Com a aplicação da metodologia referida, ambos os testes utilizados para cada uma das nove cidades estudadas apresentaram os mesmos coeficientes angulares, sendo assim, possível concluir que a Região Metropolitana do Cariri segue as tendências anuais obtidas. Também foi verificado e confirmado que existe correlação entre as cidades, apontando que possuem o mesmo comportamento hidrológico. Por fim, confirma-se a necessidade da disponibilidade da água, sendo esta possível de ocorrer tanto por mudanças climáticas, quanto pelo seu uso racional. O uso impróprio impacta diretamente a qualidade da água e os ciclos hidrológicos.

ABSTRACT– The evidence of climate change and its impact on the world is a constant problem that demands specific knowledge about its origin in order to minimize environmental disasters. Because these are cyclical events, it is possible to predict the occurrence of extreme events, such as floods and droughts. On the other hand, anthropogenic actions directly aggravate climate change. In view of this, this study consists of analyzing the trends of precipitation series in the Cariri Metropolitan Region using the Linear Regression and Mann-Kendall tests, using 30-year. With the application of the mentioned methodology, both tests used for each one of the nine cities studied presented the same angular coefficients, so it is possible to conclude that the Metropolitan Region of Cariri follows the annual trends obtained. It was also verified and confirmed that there is correlation between cities, pointing out that they have the same hydrological behavior. Finally, the need for water availability is confirmed, and this is possible due to both climatic changes and their rational use. Improper use directly impacts water quality and water cycles.

Palavras-Chave – Mann-Kendall. Mudanças Climáticas. Regressão Linear.

¹ Engenheiro civil; Universidade Federal do Cariri; Av. Tenente Raimundo Rocha, 1639 – Juazeiro do Norte/CE; HUDSON_MENDES_A@hotmail.com

² Doutora; Docente da Universidade Federal do Cariri; Av. Tenente Raimundo Rocha, 1639 – Juazeiro do Norte/CE; [celme.torres@ufca.edu.br](mailto:CELME.TORRES@UFCA.EDU.BR)

³ Doutor; Docente da Universidade Federal do Cariri; Av. Tenente Raimundo Rocha, 1639 – Juazeiro do Norte/CE; [paulo.tavares@ufca.edu.br](mailto:PAULO.TAVARES@UFCA.EDU.BR)

⁴ Mestre; Docente da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús; [tatianelima.eng@gmail.com](mailto:TATIANELIMA.ENG@gmail.com)

1. INTRODUÇÃO

Um dos temas mais desafiadores da questão ambiental é o das mudanças climáticas. Qian e Lin (2005) afirmam que a frequência e a persistência das secas deverá ser uma das consequências do aquecimento global. Em geral, muitas atividades econômicas e processos ambientais são altamente dependentes da precipitação. No Nordeste do Brasil (NEB), as atividades agrícolas, quase que em sua totalidade, são baseadas na precipitação e o conhecimento de sua variabilidade é de extrema importância (DOS SANTOS, 2009). O Nordeste do Brasil (NEB) é conhecido por apresentar grande variabilidade da precipitação, ou seja, anos com secas severas ou com chuvas excessivas, que têm sido relacionadas aos padrões de anomalias de grande escala da circulação atmosférica global principalmente o fenômeno El-Niño-Oscilação Sul (DA SILVA, *et al.*, 2013).

Com as perspectivas de mudanças climáticas, cientistas, políticos e governantes do mundo inteiro estão procurando compreender a natureza das mudanças que provavelmente ocorrerão durante o século 21 e depois dele, assim como os efeitos que essas mudanças podem acarretar para as populações humanas e seus sistemas socioeconômicos. As mudanças na precipitação possuem implicações no ciclo hidrológico e nos recursos hídricos em um clima mais quente no futuro (MARENGO, *et al.*, 2009).

As mudanças nas séries hidrológicas podem ocorrer de muitas maneiras diferentes. A alteração pode acontecer de forma abrupta (presença de saltos), gradualmente (tendência) ou pode assumir formas mais complexas. As mudanças podem ser vistas em valores médios, na variabilidade (variância, extremos, persistência) ou na distribuição dentro de anos (por exemplo, na mudança de sazonalidade e, no caso de vazões, nas mudanças nos regimes fluviais). As mudanças abruptas, no caso das vazões, podem ser esperadas como resultado de uma alteração repentina na bacia, como em construção de reservatórios, transposição, etc. Alterações hidrológicas graduais, tipicamente, acompanham as mudanças que ocorrem lentamente, como a urbanização, o desmatamento, as mudanças climáticas (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Em se tratando de séries hidrológicas, Salas (1993) define que a série hidrológica é estacionária quando ela é livre de tendências, saltos e ciclos. Isto implica que não há variância das propriedades estatísticas das observações em relação à cronologia de suas ocorrências (TOZZI, 2014).

Este trabalho tem por objetivo geral avaliar a presença de tendência nas séries de precipitação máxima mensal nas estações pluviométricas da Região Metropolitana do Cariri, sul do estado do Ceará, com período de dados superior a 30 anos.

2. ÁREA EM ESTUDO

A Região Metropolitana do Cariri – RMC (Figura 01) possui nove municípios que somados concentram um total de 41 distritos. Em números percentuais a área da RMC abrange um total de 5.460,1 km², o que corresponde a 3,67% da área do estado do Ceará. A RMC é marcada por vales férteis e sertões que estão inseridos em quatro compartimentações geoambientais: a Chapada do Araripe, ao sul; as serras secas ao norte e, em grande parte, os sertões e tabuleiros interiores na parte central (IPECE, 2016).



Figura 01 – Localização geográfica da Região Metropolitana do Cariri
Fonte: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE

Devido ao clima e elevada população, a pesquisa e busca por fontes hídricas para seu abastecimento é uma problemática da RMC. Dados da Funceme - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos mostram que o regime de precipitação para os nove municípios são muito semelhantes, com a maior lâmina precipitada nos meses janeiro, fevereiro, março e abril, tendo o mês de março à maior lâmina precipitado com aproximadamente 250 mm.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As séries de dados hidrológicos de precipitação foram obtidas na Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME), a partir do sistema de informações hidrológicas, disponível no website da FUNCEME. Para a pesquisa foram selecionadas as séries históricas de precipitações diárias dos postos pluviométricos da RMC, que possuíam registro de mais de 30 anos de dados.

3.1 Teste de Regressão Linear

O teste de regressão linear foi aplicado para indicar alterações climáticas por meio da significância do coeficiente angular de uma reta ajustada às séries históricas de pluviometria. O objetivo do teste é determinar o intervalo de confiança do coeficiente angular, sendo este considerado de confiança quando for superior a 50% (LUIZ, *et al.*, 2012). Na regressão linear aplicada nesse estudo os dados de precipitação são considerados como variáveis dependentes e o tempo como variável independente. Objetivando identificar como os dados de precipitação (variável dependente) se comportam ao longo de um período de 30 anos.

O modelo matemático de regressão linear é dado por:

$$y = \alpha + \beta x \quad (1)$$

em que α e β são parâmetros a serem ajustados.

Na análise de regressão, deseja-se escolher a melhor reta, ou seja, a menor distância dos pontos da amostra. Isto requer selecionar a melhor reta dentre todas as possibilidades. O método mais utilizado de otimização é o método de mínimos quadrados ordinários (MQO), que consiste em calcular a soma dos quadrados das distâncias dos valores de y_i em relação ao \hat{y}_i da reta ajustada. Essa soma pode ser representada por:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

Supondo a reta ajustada como $y = \alpha + \beta x_i$, tem-se S dada por:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (\alpha + \beta x_i)]^2 \quad (3)$$

Sendo α e β os valores que minimizam S.

A reta ajustada é uma estimativa do comportamento da amostra. Como todo modelo estatístico, a reta ajustada sempre apresenta erros em relação aos dados reais, isso é natural, pois o modelo estatístico de regressão linear é uma aproximação da realidade.

3.2 Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall é um teste não-paramétrico (MANN, 1945; KENDALL, 1975), sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais.

Segundo Goossens e Berger (1986), o teste de Mann-Kendall (MK) é apropriado para detectar alterações de ordem climática em séries meteorológicas, permitindo, também, a localização aproximada do ponto inicial dessa alteração. Proposto inicialmente por Sneyers (1975), o MK considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma, caracterizando uma série aleatória simples (BLAIN, *et al.*, 2009).

A estatística do teste é a seguinte (SILVA *et al.*, 2010):

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (4)$$

Em que: x_j são os dados estimados da sequência de valores, n é o comprimento da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$. O teste de Mann-Kendall é um teste normalmente usado para avaliar tendência de séries temporais de dados ambientais com bastante eficiência.

Kendall (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , são calculadas pelas equações:

$$E[S] = 0 \quad (5)$$

$$Var[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (6)$$

Em que (t_p) é o número de dados com valores iguais num certo grupo (p th) e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico parametrizado (Z_{MK}) é calculado pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & se S > 0 \\ 0 & se S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & se S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor de Z . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula, ou seja, que nenhuma tendência existe. Um valor positivo de Z_{MK} indica um aumento da tendência, quando negativa indica uma tendência decrescente.

Para aplicação do teste de Mann-Kendall utilizou-se o Add-in do Excel “xlstat” versão gratuita para estudante disponível no site <https://www.xlstat.com/en/download>. O teste de Mann-Kendall foi aplicado as estações meteorológicas de todos os municípios que compõem a RMC e as equações das retas foram associados para cada teste.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tendências indicaram diminuição para as precipitações em todos os postos analisados da RMC exceto para o posto localizado no município de Juazeiro do Norte, onde a tendência apresentada indica um leve aumento. Os valores encontrados para o p -value não apresentaram significância estatística, considerando o valor de referência igual a 0,05. Os resultados dos testes de regressão linear, do Teste de Mann-Kendall e do p -value são apresentados na Tabela 01.

Com base nas equações apresentadas na Tabela 01 e tomando os dados dos coeficientes angulares oriundos da regressão linear, é possível identificar uma diminuição dos valores de precipitação. O município de Barbalha e Farias Brito apresentaram pouca diminuição, com

significância estatística na série de Precipitação Total Anual indicando um decréscimo de -20,98mm e -36,64mm em 30 anos, respectivamente.

Tabela 01 - Equações dos Testes de Regressão Linear e Mann-Kendall

Posto	Regressão Linear	Mann-Kendall	<i>p-value</i>
Barbalha	$Y = -0,7234x + 2491,5$	$Y = -0,7234x + 1054,8$	0,293
Caririaçu	$Y = -6,9792x + 14956$	$Y = -6,9792x + 1095,9$	0,117
Crato	$Y = -3,3965x + 7871,1$	$Y = -3,3965x + 1125,6$	0,259
Farias Brito	$Y = -1,2635x + 3493$	$Y = -1,2635x + 983,57$	0,342
Jardim	$Y = -9,862x + 20414$	$Y = -9,862x + 827,68$	0,033
Juazeiro do Norte	$Y = 0,4439x + 65,57$	$Y = 0,4439x + 947,18$	0,446
Missão Velha	$Y = -2,8231x + 6597$	$Y = -2,8231x + 990,37$	0,354
Nova Olinda	$Y = -11,232x + 23296$	$Y = -11,232x + 989,31$	0,010
Santana do Cariri	$Y = -5,7115x + 12311$	$Y = -5,7115x + 967,96$	0,117

Os municípios de Caririaçu e Jardim apresentaram uma considerável diminuição com na série de Precipitação Total Anual indicando um decréscimo de -202,40mm e -286,00mm em 30 anos, respectivamente.

Os municípios de Crato, Santana do Cariri e Missão Velha também apresentaram média diminuição na série de Precipitação Total Anual indicando um decréscimo de -98,50mm, -165,63mm e -81,76mm em 30 anos, respectivamente.

O município de Nova Olinda apresentou a maior diminuição na série de Precipitação Total Anual indicando um decréscimo de -325,73mm em 30 anos.

Apenas o município de Juazeiro do Norte apresentou aumento na série de Precipitação Total Anual indicando um aumento de 12,87mm em 30 anos.

A Figura 01 mostra as retas ajustadas aplicando o Teste de Regressão Linear para os 9 municípios localizados na RMC e a Figura 02 apresenta as retas ajustadas aplicando o Teste de Mann-Kendall. Os resultados mostram que as retas ajustadas para os dois Testes apresentam os mesmos coeficientes angular. Lopes e Da Silva (2013) estudaram a tendência dos dados de precipitação para o período de 1952 a 2006 (55 anos), os dados foram provenientes da Agência Nacional das Águas (ANA), seus resultados mostram que na região do Cariri/Centro Sul houve diminuição dos totais pluviométricos no período seco, com -62,44 mm em 55 anos, indicando que nessa área, o período seco está se tornando mais seco.

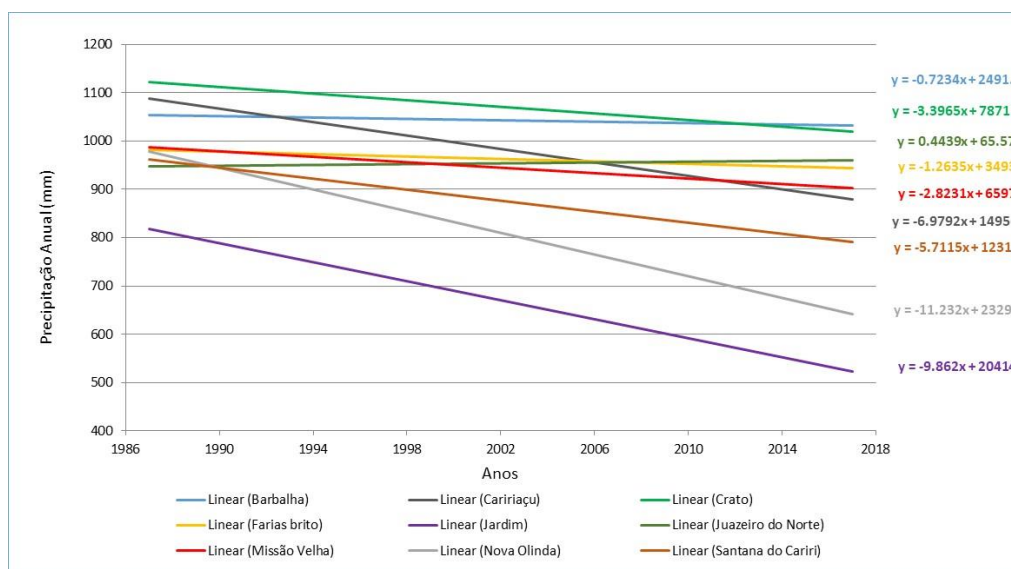


Figura 01 - Teste de Regressão Linear para os 9 postos localizados na RMC.

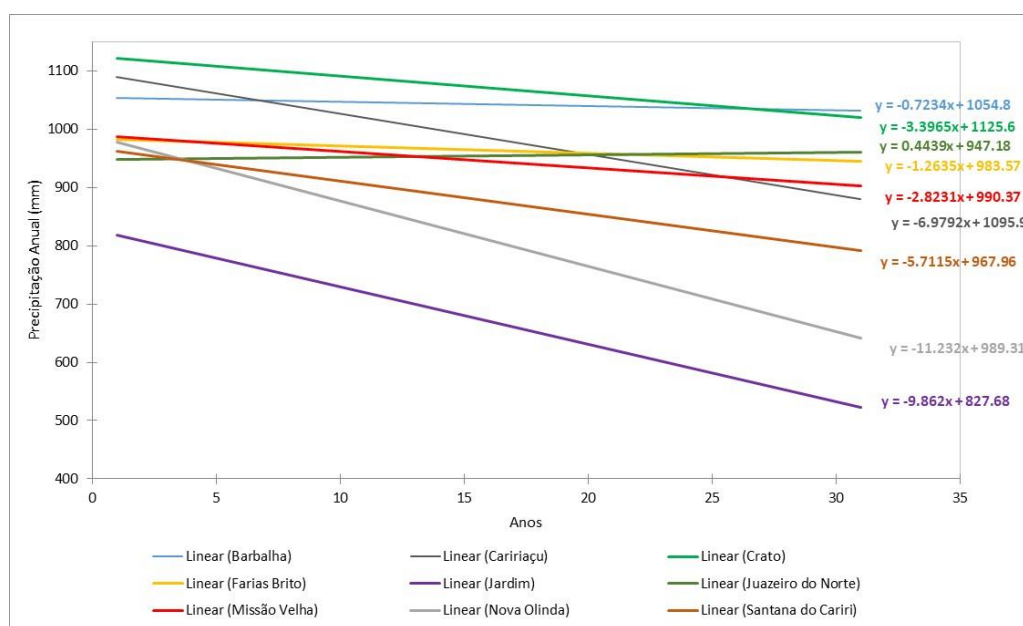


Figura 02 - Teste de Mann-Kendall para os 9 postos localizados na RMC.

5. CONCLUSÕES

Identificar alterações nos registros meteorológicos é de grande importância para os estudos nas engenharias que utilizam séries de dados hidrológicos, principalmente devido a aleatoriedade dos dados de precipitação.

Nas séries de precipitação para um período de 30 anos de dados, os testes de tendência de Mann-Kendall e de Regressão Linear indicaram que 8 estações apresentam tendências negativas e apenas uma, que corresponde a estação localizada no município de Juazeiro do Norte, apresentou tendência positiva.

O estudo corrobora com os resultados apresentados em outras pesquisas que também aplicam os Teste de Regressão Linear e o Teste de Mann-Kendall para avaliar o comportamento das precipitações em séries de dados históricas.

REFERÊNCIAS

- BLAIN, G. C.; ARAUJO PICOLI, M. C.; LULU, J. “*Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no Estado de São Paulo*”. *Bragantia*, v. 68, n. 3, 2009.
- DA SILVA, D. F.; COSTA, I. M.; MATEUS, A. E., & DE SOUSA, A. B. “*Previsão climática e de ciclos climáticos para o estado do Ceará*”. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v. 6, n. 4, p. 959-977, 2013.
- DOS SANTOS, Carlos Antonio Costa *et al.* “*Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará*”. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.
- FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em <<http://www.funceme.br/index.php/instituicao/recursos-hidricos>>. Acesso em Maio/2018.
- GOOSSENS, C.; BERGER, A. “*Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century*”. *Annales Geophysicae*, v.4, p.385-400, 1986.
- IPECE. INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTRATÉGIAS ECONÔMICAS DO CEARÁ. Anuário Estatístico do Ceará 2016. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/anuario/anuario2016/index.htm>. Acesso em 24/01/2018.
- KENDALL, M. G. *Rank correlation measures*. Charles Griffin: London, U.K, p.220, 1975.
- LOPES, J. R. F.; DA SILVA, D. F. “*Aplicação do teste de Mann-Kendall para análise de tendência pluviométrica no Estado do Ceará*”. *Revista de Geografia (Recife)*-ISSN: 0104-5490, v. 30, n. 3, p. 192-208, 2013.
- LUIZ, G. C.; CARDOSO, H. C.; RIBEIRO, L. L. “*Aplicação do teste sazonal de Mann Kendall na análise de tendência da temperatura e umidade relativa do ar – Goiania/GO: série histórica 1961 a 2008*”. *Revista Geonorte*, v. 3, n. 8, p. 414-427, 2016.
- MANN, H. B. *Econometrica*. The econometric society, v.13, n.3, p.245-259, 1945.
- MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H. S.; ZEE, D. M. W. “*Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil*”. Rio de Janeiro: FBDS, 2009.
- NAGHETTINI, M. C.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*.1ª ed. Belo Horizonte: CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Superintendência Regional de Belo Horizonte, 2007.

QIAN, W., LIN, X. “*Regional trends in recent precipitation indices in China*”. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 90, p. 193-207, 2005.

SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n.5, p. 501-509, 2010.

SNEYERS, R. *Sur l'Analyse Statistique des Séries d'Observations*. Genève: Organisation Météorologique Mondial, 1975. 192p.

TOZZI, Bruna Kiechaloski Miró. “*Verificação da estacionariedade de séries hidrológicas de vazões na Bacia do Rio Iguaçu*”. (2014).