

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO PARA O CÁLCULO DE PRECIPITAÇÕES MÉDIAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE PATU/CE

Jefferson Sousa Rocha (*), Renata Mendes Luna, Lucas Florêncio da Cunha Teixeira, Ulisses Costa de Oliveira, Livia Figueira de Albuquerque.

* Mestrando em Recursos Hídricos na Universidade Federal do Ceará (UFC), jeffersonsrocha@outlook.com

RESUMO

Na tentativa de suprir a carência de informações para superfícies de análise, alguns métodos estatísticos de interpolação foram desenvolvidos, estimando valores desconhecidos a partir da utilização de pontos com valores conhecidos. Métodos de interpolação de dados pontuais com a finalidade de especializá-los são, também, muitas vezes utilizados para suprir a deficiência de dados de precipitação. Postos pluviométricos ou pluviográficos são utilizados para definir a área de influência em uma bacia, no entanto eles são escassos e não conseguem traduzir a realidade de campo para toda a área. Neste trabalho foram utilizados os métodos de interpolação de Thiessen, da Ponderação pelo Inverso da Distância ao Quadrado (IDW) e o método de Kriging com o objetivo de analisar os diferentes resultados de precipitações médias na bacia do açude Patu, localizado no Ceará, e qual melhor se adequava a esta finalidade. O método IDW apresentou os melhores resultados dentre os métodos analisados, apresentando um ERRO de 7,97 mm e coeficiente de correlação de 0,9957. Entretanto, é necessária uma maior quantidade de dados para uma análise mais satisfatória.

PALAVRAS-CHAVE: Interpolação, Precipitação, Bacia hidrográfica.

INTRODUÇÃO

Nos estudos hidrológicos de bacias hidrográficas, o conhecimento das precipitações médias na bacia é muito importante para a tomada de decisão dos gestores. De acordo com Marinho Filho (2012), conhecer as características hidrológicas de uma região é essencial para entender seus problemas e, assim, propor soluções e intervenções referentes aos estudos ambientais, à gestão dos recursos hídricos e a projetos de obras hidráulicas, uma vez que essas intervenções causam impactos nas atividades humanas.

Entretanto, a carência de informações, sobretudo pluviométricas, dificulta o conhecimento da variabilidade das chuvas ao longo do tempo nas bacias hidrográficas (Alves da Silva et al, 2018). Além disso, os dados de pluviômetros são uma estimativa pontual numa grande área, necessitando, assim, de aproximações de informações para toda a bacia hidrográfica no cálculo das precipitações médias (Collischonn e Dornelles, 2013). Alguns métodos, porém, foram desenvolvidos para utilizar as informações de regiões melhor monitoradas em outras menos monitoradas. Esses métodos utilizam a interpolação de dados pontuais, cujas informações de precipitação são obtidas em campo, por meio de postos pluviométricos ou pluviográficos.

Os métodos de interpolação mais empregados na determinação das precipitações numa bacia são: os polígonos de Thiessen, a Ponderação pelo Inverso da Distância ao Quadrado (IDW) e o método de Kriging. A semelhança entre os três métodos consiste na utilização da proximidade espacial entre os pontos observados como um critério para a estimativa dos valores. Porém, Kriging, além do critério de proximidade espacial, também leva em consideração a geometria entre as amostras. Outro diferencial do método Kriging, segundo Bucene e Zimback (2003), é a possibilidade da extrapolação dos valores da amostra.

O método determinístico de Thiessen foi elaborado pelo meteorologista americano Alfred Henry Thiessen (1872-1956). Esse método é uma aplicação do diagrama de Voronoi que consiste no cálculo da área de influência de cada posto levando em consideração apenas a proximidade desses postos com certa região da bacia, onde as distâncias entre esses postos são em linhas retas no espaço euclidiano (Silva e Bacha, 2011).

Segundo Smith, Goodchild e Longley (2018), o Inverso da Distância ao Quadrado (“Inverse Distance Weighted”, IDW) ou Vizinheiro Mais Próximo parte do pressuposto de que os postos mais distantes têm suas contribuições reduzidas à medida que se distancia da região analisada. Esse modelo determinístico propõe dividir as observações pela distância em relação a um ponto alvo.

O método da Krigagem, semelhante ao IDW, utiliza a proximidade como um parâmetro para estimativa de valores desconhecidos e incorpora pesos diferentes para cada amostra. Juntamente com esse método geoestatístico é interessante avaliar seu comportamento usando o variograma. Os variogramas, de acordo com Smith, Goodchild e Longley (2018), consistem numa caracterização da continuidade espacial dos dados experimentais. Normalmente, os softwares de

geoestatística conseguem calcular os modelos de variogramas utilizando três parâmetros: patamar, amplitude e efeito pepita. Geralmente, considera-se o patamar como a variância da amostra, cujos valores que estão acima deste não possuem correlação com os demais. A amplitude é a distância, no eixo y, entre a origem e o patamar. Já o efeito pepita serve para evitar más estimações em descontinuidades próximas da origem. Para este estudo utilizou-se o modelo Gaussiano e isotrópico.

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), a precipitação é umas das variáveis aleatórias mais importantes nos projetos de Engenharia, pois através dela consegue-se dimensionar as estruturas hídricas. Além disso, a precipitação é o principal componente de entrada de água no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica. Logo, para uma eficiente política de gestão dos recursos hídricos é necessário analisar os dados históricos dessa variável para tentar prever anomalias e tendências de seu comportamento e, assim, reduzir o tempo de resposta de uma ação gerencial para diminuir prejuízos humanos e materiais.

A grande variabilidade das precipitações no tempo e no espaço do estado do Ceará deve ser levada em consideração no gerenciamento dos recursos hídricos do estado, principalmente devido a sua vulnerabilidade hídrica e suas condições climáticas. Com uma precipitação média anual de 800 mm e uma média de evaporação por ano de 2000 mm, normalmente essa região vive em constante déficit hídrico. Além disso, seus rios intermitentes e sua limitada disponibilidade de águas subterrâneas comprometem ainda mais o abastecimento hídrico de sua população. (TEIXEIRA, 2004). Outro agravante está no clima da região caracterizado como semiárido, ocupando quase que na totalidade do estado. Tais evidências comprovam que a gestão de águas no Ceará deve ser feita de modo bastante cuidadoso, sabendo que uma má gestão desse recurso pode comprometer tanto a sobrevivência de seu povo como seu desenvolvimento socioeconômico.

OBJETIVO

Considerando que no ciclo hidrológico a chuva pode ser entendida como a entrada efetiva de água na bacia hidrográfica e sua distribuição espaço-temporal, conjuntamente com outros fatores, condicionam a resposta hidrológica da bacia, logo, o estudo da distribuição espacial da precipitação é essencial à gestão dos recursos hídricos. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar os diferentes resultados de precipitações médias na bacia do açude Patu, localizado no Ceará, utilizando os métodos de interpolação: polígonos de Thiessen, IDW e Krigagem.

METODOLOGIA

O açude Patu está localizado na cidade de Senador Pompeu no estado do Ceará e sua bacia hidrográfica está entre as longitudes 39°52'58"W e 39°23'13"W e latitudes 5°21'36"S e 5°38'16"S possuindo uma área de drenagem aproximada de 1027 km² e capacidade máxima de aproximadamente 0,072 hm³ de água (SRH, 2015). O açude barra o rio Patu e sua principal função é abastecimento de água para a cidade de Senador Pompeu. Além disso, pescadores utilizam o açude para sua fonte de renda.

De acordo com o IPECE (2007), o clima na região em estudo é caracterizado como tropical quente semiárido. Na Figura 1 é possível visualizar a localização da bacia hidrográfica do açude Patu, cuja área foi traçada utilizando o software Qgis.

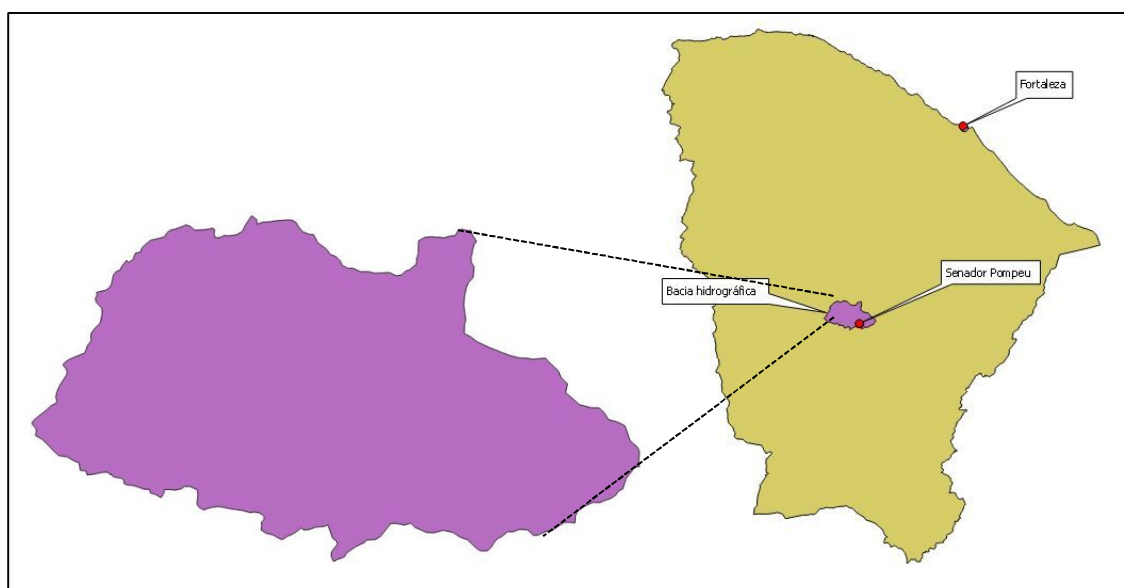


Figura 1 – Forma e localização da bacia Patu. Fonte: Autor do Trabalho.

Para a análise da precipitação na Bacia estudada foram utilizados dados de série histórica de chuva, obtidos no site da Agência Nacional de Águas (ANA) na plataforma Hidroweb. As localizações dos postos pluviométricos escolhidos se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 – Postos pluviométricos utilizados. Fonte: Autor do Trabalho.

Identificador	Código	Nome	Latitude	Longitude
1	539034	Mineirolândia	-5,5167	-39,6167
2	539061	Mineirolândia	-5,5667	-39,6333
3	539062	Açude Trapiá	-5,45	-39,7333
4	539072	Encantado	-5,5	-39,3
5	539067	São Miguel	-5,3333	-39,5
6	539033	Pedra Branca	-5,45	-39,7167
7	539037	Senador Pompeu	-5,58	-39,3681
8	539060	Boa Vista	-5,6511	-39,8442
9	539051	Mombaça	-5,75	-39,6167
10	539073	Senador Pompeu	-5,5833	-39,3667

No total foram 10 postos analisados com período de dados disponível de 1975 até 2017, ou seja, 43 anos de dados.

Na Figura 2 é possível observar a disposição destes postos. Nota-se que apenas quatro postos pluviométricos estão dentro da Bacia.

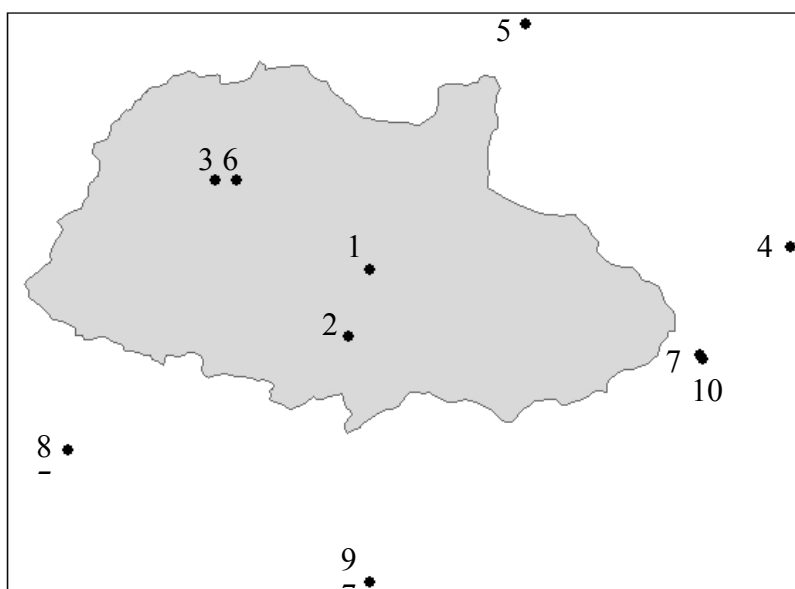


Figura 2 – Bacia e postos pluviométricos analisados. Fonte: Autor do Trabalho.

De posse destes dados foi constatada a presença de falhas nas leituras dos postos. Para solucionar esse problema foi utilizado o método de regressão linear múltipla entre os postos e aqueles que possuíam maiores coeficientes de correlação eram utilizados para preencher as falhas do posto desejado.

Após o preenchimento de falhas, foram calculadas as precipitações médias anuais de cada posto e empregados os métodos de interpolação aqui mencionados. Os cálculos das médias de precipitações e de cada método de interpolação foram realizados utilizando-se o software R, o qual possui vários pacotes que auxiliaram nas análises.

Desta forma, para cada um dos três métodos empregados foi obtido o valor de precipitação média da Bacia os quais foram analisados e comparados entre si. Essa análise foi feita através do erro relativo médio da raiz quadrada (ERRO) (Equação 1) e avaliando-se os resultados em relação aos valores medidos na estação em questão.

$$\text{ERRO} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{\text{calc}} - x_{\text{médto}})^2}$$

equação (1)

Onde N representa o número de estações, x_{calc} o valor estimado para o posto e $x_{médio}$ o valor da precipitação média real para cada posto pluviométrico.

Outra forma de avaliar os métodos é através da correlação linear. O coeficiente de correlação linear de Pearson ou covariância normalizada, segundo Haan (1977), consiste na divisão entre a covariância e o produto do desvio padrão entre duas variáveis. A Equação 2 representa o coeficiente da correlação linear de Pearson é:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{equação (2)}$$

Onde, x_i e y_i são as observações das variáveis X e Y; \bar{x} e \bar{y} são as médias de cada varável X e Y.

RESULTADOS

Após execução do Programa para os dados de precipitação, interpolando-os pelos métodos do polígono de Thiessen, ponderação pelo inverso da distância ao quadrado (IDW) e o método de Kriging, obteve-se o resultado mostrado na Figura 3.

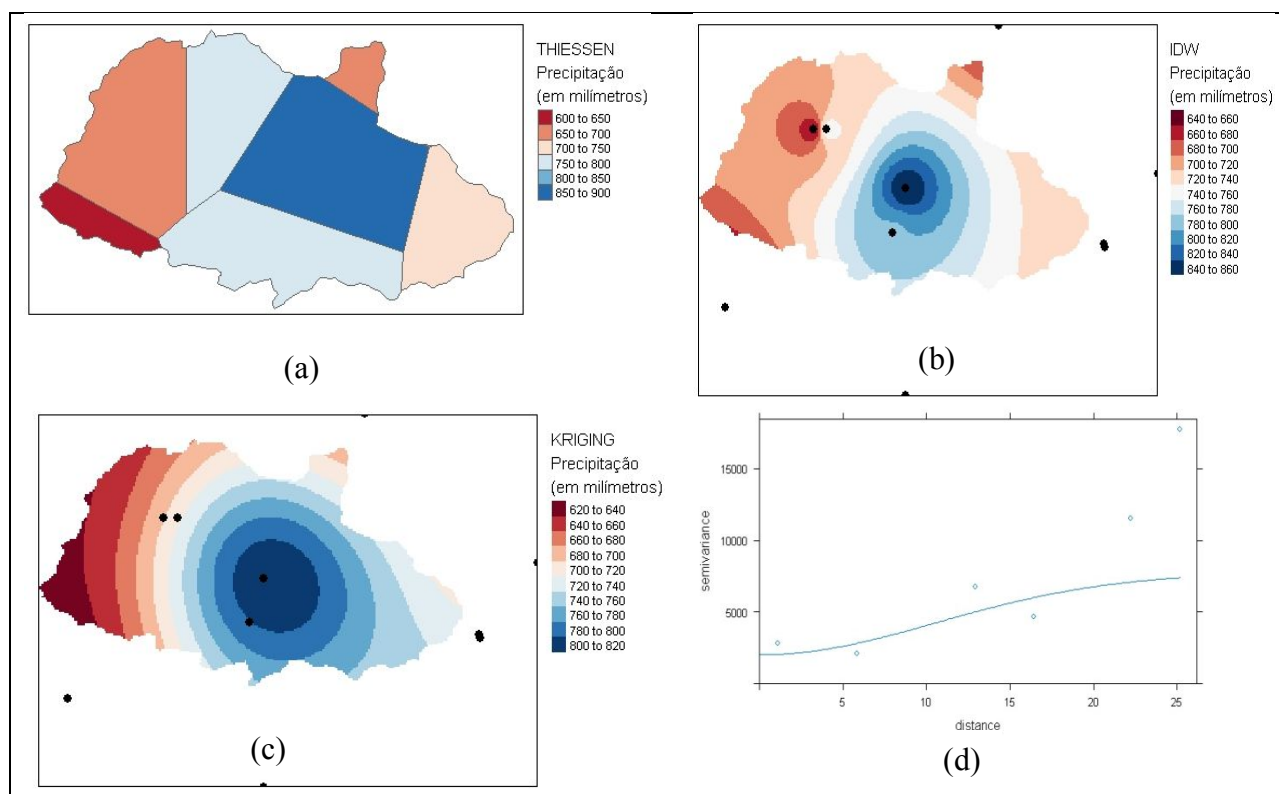


Figura 3 – Cálculo da precipitação média usando polígonos de Thiessen (a), IDW (b), Krigagem (c) e o Variograma do método Krigagem (d). Fonte: Autor do Trabalho.

É possível visualizar os resultados da aplicação de cada método usando o software R e observar que o método IDW possui certa semelhança com o método da Krigagem: equivalência nas regiões com maiores precipitações médias (estações 1 e 2) e também as menores precipitações (estação 3 e 8).

Já para o método de Krigagem é possível observar que as regiões dos postos que tiveram maiores precipitação foram próximas às estações de Mineirolândia (1 e 2), chegando na faixa máxima de 800 a 820 mm. Cabe ressaltar que estes postos apresentavam poucos dados, cujas falhas foram preenchidas por regressão linear múltipla. Nas estações Boa Vista e São Miguel foram observadas as menores faixas de precipitações médias. Além disso, observa-se no variograma um distanciamento dos pontos em relação à curva gaussiana. Isso ocorre devido alguns postos estarem muito distantes da área analisada.

O método de Thiessen forneceu faixas de precipitações maiores do que o método da Krigagem. Pode-se observar também que a região em torno do posto de Mineirolândia (posto 1) também apresentou as maiores faixas de precipitações médias

(850 a 900 mm), reproduzindo um resultado semelhante ao obtido pelo método da Krigagem. As regiões das faixas de menores precipitações também foram semelhantes as do método da Krigagem.

CONCLUSÕES

Após análise do ERRO para as diferentes metodologias utilizadas, verificou-se que o menor ERRO entre os métodos foi 7,97 (IDW) e o maior foi de 27,57 (Krigagem). Já para as médias pluviométricas foram encontradas precipitações bem próximas entre os métodos, onde a maior precipitação foi no método de Thiessen (756,6 mm) e a menor foi pelo método da Krigagem (735,5 mm). Porém, levando em consideração a quantidade e a disposição dos postos pluviométricos analisados, somente o valor do ERRO não pode ser o único critério de comparação. Na tentativa de obter mais informações estatísticas sobre o método IDW foi realizada a análise de correlação linear, cujo valor para este método foi de 0,9957 entre os valores observados e estimados, demonstrando que esse modelo foi capaz de estimar valores muito próximos dos valores reais dos postos, assim, desconsiderando os poucos dados observados, esse método sugere a possibilidade de representar valores mais confiáveis para pontos não amostrados. A menor correlação encontrada foi para o método da Krigagem (0,9563).

De acordo com Jakob e Young (2006), o método IDW é indicado apenas para uma interpolação preliminar dos dados, ou seja, mesmo apresentando os menores erros e as maiores correlações neste estudo, o método IDW não é indicado para um estudo mais aprimorado de precipitações médias em bacias hidrográficas. Já para o método de Thiessen, como são considerados que todos os postos possuem o mesmo “peso” no cálculo das áreas de influência, seus valores não indicam com precisão o comportamento dos dados de precipitação numa bacia.

Uma explicação para os resultados do método de Krigagem não terem sido favoráveis foi devido a pouca continuidade espacial das variáveis observada pelo gráfico do variograma (Figura 3-d). Portanto, seria necessário obter dados mais próximos ou dentro da bacia hidrográfica para uma análise de continuidade espacial mais favorável, além de uma amostra de dados maior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alves da Silva, M. N., Pessoa, F. C. L., Silveira, R. N. P. O., Rocha, G. S., Mesquita, D. A. **Determinação da Homogeneidade e Tendência das Precipitações na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós**. Revista Brasileira de Meteorologia. 2018.
2. Bucene, L. C., Zimback, C. R. L. **Comparação de Métodos de Interpolação e Análise Espacial em Dados de Ph, em Botucatu-SP**. Revista Brasileira de Irrigação e Drenagem. Universidade Estadual Paulista. São Paulo. 2003.
3. Collischonn, W., Dornelles, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2013.
4. Haan, C. T. **Statistical Methods in Hydrology**. The Iowa State University Press. Ames, EUA. 1977.
5. IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em mapas**. 2007.
6. Jakob, A. A. E., Yong, A. F. **O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas**. XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais. Minas Gerais. 2006.
7. Marinho Filho, G. M., Andrade, R. S., Zukowski Junior, J. C., Magalhães Filho, L. N. L. **Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades**. Revista de Ciências Ambientais, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012.
8. Silva, R. R.; Bacha, C. J. C. **Polígonos de Voronoi como alternativa aos problemas das Áreas Mínimas Comparáveis: uma análise das mudanças populacionais na Região Norte do Brasil**. Revista Brasileira de Estudos Populacionais. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.
9. Smith, M. J., Goodchild, M. F., Longley, P. A. **Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools**. Winchelsea Press. 2018.
10. Teixeira, F. J. C. **Modelos de gerenciamento de recursos hídricos: Análises e propostas de aperfeiçoamento do sistema do Ceará**. Série Água Brasil, vol 6. Brasília, DF. 2004.