Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Espacialização da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida no semiárido de Pernambuco

Hélio Lopes Araújo¹; Abelardo Antônio de Assunção Montenegro²; Iug Lopes³; Ailton Alves de Carvalho⁴; Erik Cavalcanti e Silva⁵; Glauco Estácio Gonçalves⁶

¹Mestre em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE. e-mail: heliopiassaba@gmail.com; ²Professor Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE. e-mail: Montenegro.ufpe@gmail.com; ³Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE. Professor EBT do Instituto Federal Baiano em Engenharia Agrícola, Bom Jesus da Lapa - BA. e-mail: iug.lopes@ifbaiano.edu.br; ⁴Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE Bolsista FACEPE. e-mail: ailtonalvesst@hotmail.com. ⁵Doutor em Engenharia Química. Gerente de Planos e Sistemas de Informação da Agência Estadual de Águas e Clima. e-mail: erik.cavalcanti@apac.pe.gov.br; ⁶Professor do Colegiado de Ciência da Computação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE. e-mail: glauco.goncalves@ufpe.br.

Artigo recebido em 09/09/2019 e aceito em 09/03/2020

RESUMO

A disponibilidade hídrica tem sido afetada pela crescente demanda de água, pelas mudanças climáticas, bem como pela variabilidade espaço temporal das precipitações. A geoestatística é uma metodologia capaz de incorporar a correlação espacial entre as medições em seus procedimentos, sendo, portanto, relevante em estudos hidrológicos e de dinâmica da precipitação. O presente estudo investigou a distribuição espacial dos padrões temporais da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida, no semiárido de Pernambuco, aplicando técnicas geoestatísticas. Foram utilizados registros de 41 estações pluviométricas, com série temporal anual de 55 anos (1963 a 2017), disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima, e complementados por Tropical Rainfall Measuring Mission, formando uma malha dinâmica no tempo, devido às falhas existentes. Os dados pluviométricos totais anuais diretos (manuais e automáticos) e indiretos (por satélite) foram sistematizados, e os anos classificados em secos, normais e chuvosos através da Técnica dos Quantis. Todos os registros pluviométricos apresentaram alta a média dependência espacial, com alcances variando de 20 a 45 km. Os valores de CV (>20%) indicam média variabilidade espacial da precipitação na bacia, o que reforça a necessidade de uma estratégia de monitoramento baseada em malha intensamente distribuída. Constatou-se que a rede pluviométrica existente permitiu adequada estimativa da precipitação e classificação da condição de aridez, para todos os períodos estudados, com média incerteza, nas principais regiões da bacia.

Palavras-chave: dependência espacial, precipitação, geoestatística, Quantis.

Precipitation spatialization in the Brígida River Basin in Pernambuco semi-arid

ABSTRACT

Water availability has been affected by increasing water demand, climate change, as well as the spatio temporal variability of rainfall. Geostatistics is a methodology able to incorporate the spatial correlation between measurements in its procedures and being relevant for hydrological and precipitation dynamics studies. The present study analysed the spatial distribution of temporal patterns of rainfall at the Brígida River Basin in the semi-arid region of Pernambuco, applying geostatistical techniques. It was used records from 41 rain gauges, with a 55-year annual time series (1963 to 2017), available from the Pernambuco's Water and Climate Agency and complemented by the Tropical Rainfall Measuring Mission, forming a dynamic mesh in time due to existing gaps. Direct annual rainfall data (manual and automatic) and indirect (satellite) data were systematized and classified in dry, normal and rainy years, using the Quantile technique. All rainfall records showed high to medium spatial dependence, with ranges varying from 20 to 45 km. CV values (> 20%) indicate mean spatial variability of rainfall in the basin, requiring a monitoring strategy on an intensely distributed network. It was observed that the existing rainfall network allowed an adequate estimation of precipitation, for all periods studied, with intermediate uncertainty, at the main regions of the basin.

Keywords: spatial dependence, precipitation, geostatistics, Quantiles.

Introdução

A precipitação é uma variável hidrológica que usualmente apresenta elevada variabilidade, tanto temporal quanto espacial, requerendo uma rede de monitoramento densamente distribuída e continuamente operada (Lopes et al., 2016; Siqueira et al., 2018). Entretanto, é comum a ocorrência de falhas nas séries de dados, seja por defeitos nos equipamentos, por erro de operação, ou pela não existência de cobertura instrumental em escala adequada na área de estudo.

Ao analisar a distribuição espaço-temporal da pluviosidade na bacia hidrográfica do rio Abiaí-PB, Carmo et al. (2015) observaram uma ampla variação pluviométrica. Silva et al. (2010) também investigaram a variação espaço-temporal da precipitação na Bacia do Rio Tapacurá- PE, constatando elevada variabilidade da precipitação, mas também detectando dependência espacial entre as medições.

Trabalho conduzido no Agreste Meridional do Estado de Pernambuco por Andrade et al. (2018) evidenciou elevada significância na variabilidade da precipitação, bem como elevada dependência espacial, o que possibilitou obtenção de mapeamentos de adequada precisão. Stefanidis e Stathis (2018) também encontraram alta variabilidade espacial da precipitação na área central Grécia, como também a existência de dependência espacial entre as medições.

Já Elesbon et al. (2014) verificaram a espacialização dos dados hidrométricos das redes fluviométrica e pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Doce, a partir da análise estatística descritiva e da análise geoestatística. Os autores concluíram que houve melhorias nas estimativas espacializadas da precipitação com o rearranjo espacial de 12 estações e a inclusão de 67 estações na rede de monitoramento pluviométrico, com alcances de 60 km para a vazão específica e de 120 km para precipitação média do período mais seco.

As investigações geoestatísticas das escalas de dependência também têm sido conduzidas em outras áreas do conhecimento, em

particular nos estudos ambientais. Na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida (BHRB), Lopes e Montenegro (2019) investigaram os padrões de variabilidade espacial da umidade e da salinidade em vale aluvial, e constataram alcances de 80 m para a umidade do solo, parâmetro associado a eventos pluviométricos.

Goovaerts (2000) ressalta que para redes com baixa densidade de pluviômetros, as técnicas geoestatísticas superam os interpoladores baseados no inverso do quadrado da distância ou o polígono de Thiessen, que ignoram o padrão de dependência espacial, e que a krigagem pode reduzir significativamente o erro em estimativas baseadas no inverso do quadrado da distância.

O presente estudo teve como objetivo caracterizar a dependência espacial e mapear os padrões temporais da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida, em Pernambuco, através de técnicas geoestatísticas, e estimar as incertezas existentes nos mapeamentos, de modo a verificar a adequabilidade da rede pluviométrica existente.

Material e métodos

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Brígida está localizada no Sertão de Pernambuco, entre os paralelos 07° 19' 02" e 08° 36' 32" S, e meridianos 39° 17' 33" e 40° 43' 06" W. Com uma área de 13.495,73 km², estando inserida na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. A bacia abrange 15 municípios do Estado, sendo totalmente inseridos na bacia: Bodocó, Granito, Ipubi, Trindade Exú, Moreilândia Araripina, Ouricuri, Parnamirim e os parcialmente inseridos: Cabrobó, Orocó, Santa Cruz, Santa Maria da Boa Vista, Santa Filomena e Serrita. A localização da BHRB e a rede de estações pluviométricas encontram-se na Figura 1.

Figura 1. (A) Mapa de distribuição espacial dos postos pluviométricos, (B) Altimetria para a Bacia Hidrográfica do Rio Brígida.

Dados utilizados

O trabalho foi desenvolvido com as séries históricas de precipitação anual disponibilizadas pela APAC, e complementada pelo Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM (PMM, 2019). Foram considerados dados do TRMM apenas para o período de 01/01/2016 a 31/12/2017, na resolução espacial de 0.25° x 0.25°.

Análise da pluviometria

Os dados foram sistematizados para definição dos Quantis climatológicos para o período em estudo. Fundamentou-se na frequência acumulada, segundo método proposto por Pinkayan (1966). Os Quantis empregados para caracterização da precipitação foram descritos por Xavier e Xavier (1987) e Xavier (2001) e classificados em: seco (0-35%), normal (35-65%), e chuvoso (65-100%).

Com a classificação dos anos através dos seus regimes pluviométricos, selecionou-se cinco anos de cada classe (seco, normal e chuvoso) com disponibilidade de dados suficiente para a aplicação de metodologia geoestatística, sem efetuar o preenchimento de falhas.

Análise geoestatística

Como critério, adotou-se número mínimo de estações igual a 30, conforme Journel e Huijbregts (1978).

Conforme os valores do coeficiente de variação (CV), o grau de variabilidade foi classificado de acordo com Warrick e Nielsen (1980), em baixo ($CV < 12\%$), médio ($12 \leq CV \leq 60\%$), alto ($CV > 60\%$) grau de variabilidade espacial. Os dados discrepantes foram detectados e removidos com base no critério de Hoaglin et al. (1983), o qual considera os outliers como valores menores que Li ($Li = Qi - 1.5 Ai$) ou maiores que Ls ($Ls = Qs + 1.5 Ai$), onde Qi e Qs são os quartis inferior e superior, respectivamente, e $Ai = Qs - Qi$ representa o intervalo interquartilico.

Análise de tendência nos dados foi verificada através de modelos lineares, examinando-se os coeficientes de determinação obtidos, conforme Andrade et al. (2012).

Os dados também foram avaliados quanto à aderência a distribuição Normal, utilizando o Teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de significância.

Para análise da dependência espacial, foi adotado modelo clássico de semivariograma, obtido através da equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i + h) - Z(X_i)]^2 \quad (1)$$

onde: $\gamma(h)$ = semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$; $N(h)$ = número de pares de valores medidos; h = distância entre pontos amostrais; $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ = valores da i -ésima observação da variável regionalizada, nos pontos x_i e $x_i + h$ ($i = 1, \dots, n$), separados pelo vetor h .

Utilizou-se a técnica Jack-Knifing para validação dos semivariogramas, proposto por Vauclin et al. (1983), e descrito em Montenegro e Montenegro (2006). Já o grau de dependência espacial (GDE) foi estimado tendo como base a classificação de Cambardella et al. (1994), baseada no valor da relação $C0/(C0+C1)$, para a qual valores inferiores a 25% caracterizam alta dependência, entre 25 e 75%, média dependência e acima de 75%, baixa dependência.

Após validar os semivariogramas, foi executada a krigagem dos dados para geração dos mapas de isolinhas. Os desvios padrão da krigagem foram, então, adotados para estimativa das incertezas das estimativas.

Resultados e discussão

As informações pluviométricas para a BHRB são extensas e distribuídas, porém apresentando várias falhas de registro. A correlação e a análise de regressão foram adequadas entre os dados do TRMM e os registros diretos nas estações pluviométricas. Os resultados revelaram uma correlação significativa com o TRMM, com coeficiente de determinação (R^2) superiores a 0,70 (Figura 2).

Figura 2. Dispersão de dados pluviométricos anuais das estações e de TRMM na área da BHRB.

Li et al. (2012) encontraram elevadas correlações lineares entre a precipitação por TRMM e os dados pluviométricos diretos, com coeficientes de determinação (R^2) variando entre 0,81 e 0,89 para as estações individuais, e 0,88 para os dados médios. Cohen Liechti et al. (2012) também constataram que os produtos TRMM apresentaram bom desempenho em relação à calibração com redes de estações em solo, na bacia do Rio Zambeze, localizada no sul do continente africano. Desse modo, diversos estudos avaliaram positivamente os produtos TRMM com precipitações medidas (Medhioub et al. 2019; Aires et al. 2017), constatando-se o potencial da técnica para estudos regionais das precipitações.

A precipitação anual para a BHRB nos anos avaliados variou de 272,3 mm a 1468,5 mm. Embora se verifique que, isoladamente, algumas localidades na região mais elevada (denominada de Chapada do Araripe) apresentem precipitações mais elevadas para alguns anos, não se verifica

uma tendência estatisticamente significativa nas precipitações totais anuais. Observa-se o r^2 variando de 0,01 a 0,26, conforme a Tabela 1.

A estatística descritiva das precipitações anuais mostrou que os dados apresentaram distribuição Normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. Gomes et al. (2007) destacaram que a distribuição Normal evidencia o atendimento às pressuposições requeridas para a aplicação das técnicas geoestatísticas.

Observa-se que os valores da média e da mediana são próximos, indicando que os valores se encontram simetricamente distribuídos em torno da média e da mediana, evidenciando que a distribuição experimental se aproxima de uma distribuição Normal.

Segundo o coeficiente de variação (CV) da precipitação anual, verifica-se que a variabilidade desse atributo é média.

Tabela 1. Estatística Descritiva da Precipitação da BHRB

	Média	Mediana	Max	Min	n	Var	CV (%)	R ²	NS
Período Seco									
1982	449,3	413,4	1182,2	148,2	36	51525	50,5	0,26	0,09
1987	476,4	472,2	903,0	284,6	29	17763	27,9	0,01	0,08
1983	340,0	340,1	521,9	175,3	35	7006	24,6	0,12	0,06
2016	460,0	455,0	621,2	231,8	41	9806	21,5	0,04	0,11
2017	432,5	405,5	658,6	177,0	41	15443	28,7	0,20	0,13
Período Normal									
1969	606,6	609,4	1001,2	350,2	38	23469	25,2	0,15	0,10
1968	680,0	726,8	990,2	306,2	38	28945	25,0	0,04	0,09
1976	576,4	557,4	1029,3	343,2	38	34951	32,4	0,17	0,17
1970	560,9	560,5	838,1	374,2	37	15574	22,2	0,06	0,09
1972	527,0	536,5	749,1	295,0	36	10350	20,3	0,08	0,11
Período Chuvoso									
1964	979,4	904,3	1876,0	391,3	36	107423	33,4	0,08	0,14
1967	841,3	816,3	1322,6	385,5	37	46316	25,6	0,02	0,07
1974	1002,8	972,8	1914,0	453,0	31	83939	28,9	0,01	0,11
1984	733,5	728,4	1681,4	122,2	38	56824	32,5	0,19	0,14
1985	1468,5	1413,1	4146,9	994,6	35	277135	35,8	0,20	0,15

Max: Máximo, Min: Mínimo, n: número de estações, Var: Variância, CV: Coeficiente de variação, NS: Nível de significância, r2: Coeficiente de determinação da análise de tendência.

Na análise de box-plot (Figura 3A) foi observada ocorrência de valores discrepantes e valores extremos nos períodos seco e chuvoso. Tais valores foram removidos da série, seguindo o critério de Hoaglin. Observou-se assimetria positiva, com o primeiro e o terceiro quartis apresentando simetria adequada em torno do valor mediano, que está localizado aproximadamente no

centro das caixas, o que é consistente com a hipótese de distribuição Normal.

Analisando os anos individualmente (Figura 3B), os registros de 1982, 1983, 1987 e 1972 são simétricos, os de 2017, 2016, 1984, 1970 e 1964 apresentaram assimetria positiva, enquanto as precipitações de 1969, 1968, 1967, 1974, 1976 e 1985 apresentaram assimetria negativa.

Figura 3. Dispersão de dados pluviométricos anuais das estações e de TRMM na área da BHRB.

A Figura 4 ilustra as semivariâncias experimentais para cada ano. A inspeção da Figura 4 permite concluir que as precipitações anuais

apresentam dependência espacial, para a malha de estações, a qual foi dinâmica no tempo.

Figura 4. Modelos de semivariograma ajustados para a precipitação, para os períodos seco (1982, 1987, 1983, 2016, 2017), normal (1969, 1968, 1976, 1970, 1972) e chuvoso (1964, 1967, 1974, 1984, 1985). Sendo: Exp=Exponencial, Gau=Gaussiano, Esf=Esférico, C_0 =efeito pepita, C_0+C_1 =patamar, A=Alcance, R^2 = Ajuste do modelo do semivariograma, MJK=Média Jack-Knifing, DPJK= Desvio padrão Jack-Knifing.

Dentre os modelos teóricos selecionados, os mais usados foram o gaussiano (oito), seguido

pelo exponencial (cinco) e o esférico (dois). A precipitação na bacia possui grau de dependência

espacial com alcances variando de 20 a 45 km. Observa-se que a média dos comprimentos de correlação foi de 32,9 km para o período seco, 33 km para o período normal e 34,3 km para o período chuvoso, bem como constata-se que o r^2 dos ajustes dos modelos foi superior a 0,70, podendo ser considerado bom. Para os anos de 1964 e 1965, flutuações na terceira semivariância experimental reduziram o coeficiente de determinação do ajuste, porém não interferiram na identificação do efeito pepita puro, nem do patamar. Verifica-se que a dependência espacial foi considerada alta para os períodos em estudo, com exceção dos anos 2016, 1987 e 1968, que apresentaram médio grau de dependência. Os modelos de semivariogramas foram validados pelo método Jack-Knifing (foram analisados os modelos exponencial, esférico e gaussiano, mas foram validados somente os modelos que melhor se ajustou). Os mapas de isolinhas da precipitação estão apresentados na Figura 5. Constatou-se que as regiões de maior variabilidade espacial estão situadas na parte mais elevada (Chapada do Araripe).

Observa-se que os regimes de precipitação são diferenciados, não apresentando um padrão em sua distribuição espacial, ou seja, não existem áreas com tendências nas precipitações anuais. Observa-se na Figura 5A para o período seco, que as precipitações mais elevadas ocorreram ao norte da bacia, enquanto que os menores valores foram distribuídos na região sul e centro da bacia hidrográfica. Entretanto, verifica-se que tal constatação é verificada em escala local, para alguns postos, e não regionalmente. Na Figura 5B, para o período normal, observa-se que a precipitação anual ocorreu com maiores magnitudes na parte leste e norte da bacia próximos as estações de Serra das Tabocas, Viração, Serrolândia, Sítio dos Moreiras, Ipueiras. No período chuvoso, com as precipitações mapeadas na Figura 5C, as maiores lâminas se concentraram na parte oeste, centro e norte da bacia próximo das estações Trindade, Araripina, Viração, Serrolândia, Serra das Tabocas, Exú, Cedro, Sítio Estaca.

Figura 5. Mapa de precipitação anual, (A) período seco (1983, 1987, 2017). (B) período normal (1968, 1972, 1976). (C) período chuvoso (1974, 1984, 1985).

Comparando-se as incertezas nas estimativas espaciais da precipitação anual na bacia, sem a inclusão dos valores do TRMM e com a inclusão, verificou-se que os desvios padrão da krigagem, para o período com os dados do TRMM, variaram de 60 a 94 mm para o ano de 2016, e de 30 a 105 para o ano de 2017. Quando se avaliou estes erros com os dados originais sem o TRMM, verificou-se que os erros variaram de 62 a 122 e 35 a 145 mm, para 2016 e 2017, respectivamente. A inclusão das informações do TRMM foi decisiva para redução das incertezas no mapeamento, principalmente ao sul da bacia.

Montebeller et al. (2007), em estudo sobre a variabilidade espacial da erosividade no Estado do Rio de Janeiro, observaram que as áreas com

maiores erros predominaram nas regiões Litorâneas e Norte, em consequência dessas regiões apresentarem as menores densidades de dados de pluviógrafos e pluviômetros.

Araújo et al. (2018), em estudo da variabilidade espacial de atributos do solo, em uma bacia experimental na região semiárida de Pernambuco, também adotaram os desvios padrão da krigagem como critério para avaliar as incertezas associadas com o mapeamento.

Os açudes existentes na BHRB também estão representados na Figura 6, constatando-se que a rede pluviométrica existente permite estimativa da precipitação, na região em torno dos açudes, com média incerteza, mesmo sem incluir os dados de TRMM.

Figura 2. Mapa dos desvios padrão da krigagem, com a malha da rede pluviométrica considerando o preenchimento com o TRMM (A), e apenas com dados originais disponíveis (B).

Conclusões

1. Os comprimentos de correlação espacial das precipitações anuais foram em média de 36,4

km, e de no mínimo 20,6 km, para o ano de 1976, e que os graus de dependência espacial foram de médio a alto.

2. A precipitação anual média nos períodos seco, normal e chuvoso foi de 431,6, 590,2 e 1005,1 mm, respectivamente.

3. Para os anos mais recentes (2016 e 2017), de modo a possibilitar o uso da geoestatística em tais anos, analisou-se o potencial de informações indiretas de precipitação oriundas de satélite (TRMM) para complementação da série. O TRMM apresentou adequadas relações lineares com a precipitação medida na bacia, com coeficientes de determinação superiores a 0,70, para os anos de 2016 e 2017.

4. Nas regiões no entorno dos açudes existentes na BHRB, verifica-se que a rede pluviométrica atual (nos anos de 2016 e 2017) possibilitou aceitável estimativa da precipitação anual, com média incerteza na krigagem.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte obtido da Agência Pernambucana de Águas e Clima- APAC, na disponibilização das informações. Este estudo se insere no âmbito dos projetos APQ 0913-5.03/15 e APQ 0300-5.03/17, da FACEPE, e do Projeto “SUPER”, do CNPq. Os autores também agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE, e à CAPES, pela concessão da Bolsa ao primeiro autor, bem como ao CNPq, pela concessão de Bolsa ao segundo autor.

Referências

Aires, U.R.V., Neto, J.O.M., Mello, C.R. 2017. Estimativas de precipitação pluvial derivadas do sensor TRMM para a Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba. *Scientia Agraria* [online] 17. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v17i2.46384>. Acesso: 23 jun. 2017.

Andrade, A.R.S., Neto, A.H.G., Silva Cruz, A.F., Andrade, E.K.P., Santos, V.F., e Silva, T.N.P. 2018. Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no agreste pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress* [online] 3. Disponível: <https://doi.org/10.24221/jeap.3.1.2018.1668.12> 6-145. Acesso: 01 nov. 2018.

Andrade, T.S.; Montenegro, S.M.G.L.; Montenegro, A.A.A.; Rodrigues, D.F. 2012. Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [online] 16. Disponível:

<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000500005>. Acesso: 01 mai. 2019.

Araújo, D.C.S., Montenegro, S.M.G.L., Montenegro, A.A.A., Silva Junior, V.P.E., Santos, S.M. 2018. Spatial variability of soil attributes in an experimental basin in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online] 22. Disponível: <https://doi.org/10.24221/jeap.3.1.2018.1668.12> 6-145. Acesso: 01 mai. 2019.

Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal* [online] 58. Disponível: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>. Acesso: 01 mai. 2019.

Carmo, L.V., Araújo, L.E., Alves, A.S. 2015. Variabilidade climática espaço-temporal da bacia hidrográfica do rio Abiaí-PB. *Engenharia Ambiental*, 12, 74 -92.

Cohen Liechti, T., Matos, G.D.S.C., Pedro, J., Boillat, J.L., Schleiss, A. 2012. Comparison and evaluation of satellite derived precipitation products for hydrological modeling of the Zambezi River Basin. *Hydrology and Earth System Sciences* [online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.5194/hess-16-489-2012>. Acesso: 01 mai. 2019.

Elesbon, A.A., Silva, D.D., Sediya, G.C., Montenegro, A.A.A., Ribeiro, C.A., Guedes, H.A. 2014. Proposta metodológica para projeto de redes hidrométricas: Parte II-Exclusão, rearranjo e inclusão de estações. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online] 18. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1023-1030>. Acesso: 01 mai. 2019.

Gomes, N.M., Silva, A.M., Mello, C.R., Faria, M.A., Oliveira, P.M. 2007. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online] 31. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000300003>. Acesso: 01 nov. 2018.

Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology* [online] 228. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00144-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00144-X). Acesso: 01 nov. 2018.

- Hoaglin, D.C., Mosteller, F., Tykey, J.W. 1983. *Análise exploratória de dados: Técnicas robustas*. 446 p.
- Journel, A.G., Huijbregts, C.J. 1978. *Mining Geostatistics*. London: Academic Press.
- Li, X., Zhang, Q., Xu, C. 2012. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. *Journal of Hydrology* [online] 426. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.01.013>. Acesso: 01 nov. 2019.
- Lopes, I., Leal, B.G., Ramos, C.M.C., Melo, J.M.M. 2016. Espacialização da precipitação para a região do Submédio São Francisco. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.7127/rbai.v10n500459>. Acesso: 01 jun. 2019.
- Lopes, I., Montenegro, A.A.A. 2019. Spatialization of electrical conductivity and physical hydraulic parameters of soils under different uses in an alluvial valley. *Revista Caatinga* [online] 32. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n122rc>. Acesso: 01 nov. 2019.
- Medhioub, E., Bouaziz, M., Achour, H., Bouaziz, S. 2019. Monthly assessment of TRMM 3B43 rainfall data with high-density gauge stations over Tunisia. *Arabian Journal of Geosciences* [online] 12. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-018-4155-5>. Acesso: 01 nov. 2019.
- Montebeller, C.A., Ceddia, M.B., De Carvalho, D.F., Vieira, S.R., Franco, E. M. 2007. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. *Engenharia Agrícola* [online] 27. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000300011>. Acesso: 01 dez. 2018.
- Montenegro, A.A.A., Montenegro, S.M.G.L. 2006. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online] 10. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000100005>. Acesso: 01 nov. 2018.
- Pinkayan, S. 1966. Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area. *Hydrology papers* [online] 12. Disponível: <http://hdl.handle.net/10217/61293>. Acesso: 22 jan. 2019.
- Silva, R.M., Pereira E Silva, L., Montenegro, S.M.G.L., Santos, C.A.G. 2010. *Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na bacia do rio Tapacurá, Pernambuco*. Sociedade e Natureza, 22, 357-372.
- Siqueira, A.A., Santos, S.M., Lopes, I., Leal, B.G., Montenegro, A.A.A. 2018. *Análise da representatividade estatística de dados meteorológicos para uma região do Submédio São Francisco*. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 11, 798-813. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.3.p798-813>. Acesso: 22 jan. 2019.
- Stefanidis, S., Stathis, D. 2018. Spatial and temporal rainfall variability over the Mountainous Central Pindus (Greece). *Climate* [online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.3390/cli6030075>. Acesso: 22 jan. 2019.
- Vauclin, M., Vieira, S.R., Vachaud, G., Nielsen, D.R. 1983. The Use of Cokriging with Limited Field Soil Observations. *Soil Science Society of America Journal* [online] 47. Disponível: <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700020001x>. Acesso: 22 jan. 2019.
- Warrick, A.W.; Nielsen, D.R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. Hillel, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. 3, 319-344.
- Xavier, T. M. B. S. 2001. *Tempo de chuva: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste setentrional*. Fortaleza: ABC Editora. 478 p.
- Xavier, T. M. B. S.; Xavier, A. F. S. 1987. Classificação e monitoração de períodos secos ou chuvosos e cálculo de índices pluviométricos para a região nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos*, 5, 7-31.