

Rainwater Capture Potential and Storage in Residences of the Paraíba State using Multi-Level B-Spline Interpolation Modeling

Paulo R. M. Francisco*, José H. S. de Sousa**, George do N. Ribeiro***,
Raimundo C. M. Rodrigues****

*Dr. em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com

**Mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, hugosimplicio123@gmail.com

***Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

****Dr. Prof. Associado, Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, calixto@cca.uema.br

Received 10 November; accepted 19 December.

Abstract

Rainwater harvesting systems are increasingly used in urban areas where these systems act as an alternative and minimize problems related to water unavailability. This work aimed to estimate and map the potential for capturing and storing rainwater and the consumption demand of municipalities in the State of Paraíba. This work aimed to estimate and map the potential for capturing and storing rainwater and the consumption demand of municipalities in the State of Paraíba. Average annual rainfall data from 2010 to 2022 was used and B-Spline Multilevel interpolation was carried out using SAGA® and QGIS®, generating maps of the capture and storage potential of 75; 150; 300 and 450 m² of residential roof for a consumption of 160.6 m³.year. It was observed from this work that geoprocessing proved to be an efficient and fast tool together with the use of interpolation that presented satisfactory results in the use of multilevel b-spline interpolation modeling. The greatest occurrence of rain, on average, is located in the municipalities of the Coastal strip entering the Agreste region up to the Brejo region, which has the best potential for capturing and storing rainwater. There is the potential for water capture throughout the State of Paraíba, however, in the Cariri/Curimataú and Sertão regions, capture may only be available for the minimum recommended use of water, and, therefore, not available for storage for later use. Roofs above 300 m² of surface can guarantee the necessary capture for water consumption throughout the State. It is recommended to use cisterns to store excess rainwater collected.

Keywords: Rainwater, collection, storage, geoprocessing, geostatistics.

Potencial de Captação e Armazenamento de Água de Chuva para Residências do Estado da Paraíba Utilizando Modelagem por Interpolação B-Spline Multinível

RESUMO

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva têm uma crescente aplicação nas áreas urbanas em que estes sistemas atuam como alternativa e minimizam os problemas relacionados à indisponibilidade hídrica. Este trabalho objetivou estimar e mapear o potencial de captação e armazenamento de água de chuva e a demanda de consumo dos municípios do Estado da Paraíba. Foi utilizado dados de pluviosidade média anual de 2010 a 2022 e realizada a interpolação B-Spline Multinível através do SAGA® e do QGIS® sendo gerados mapas de potencial de captação e armazenamento de 75; 150; 300 e 450 m² de telhado de residência para um consumo de 160,6 m³.ano. Observou-se por este trabalho que, o geoprocessamento se mostrou uma ferramenta eficiente e rápida juntamente com o uso da interpolação que apresentou resultados satisfatórios no uso da modelagem por b-spline multinível. A maior ocorrência de chuvas, em sua média, está localizada nos municípios da faixa Litorânea adentrando ao Agreste até a região do Brejo, em que segue o melhor potencial de captação e armazenamento de água de chuva. Existe o potencial de captação de água em todo o Estado da Paraíba, no entanto, nas regiões do Cariri/Curimataú e Sertão a captação pode estar disponível somente para uso mínimo recomendável de água, e, portanto, não estando disponível para armazenamento para uso posterior. Telhados acima de 300 m² de superfície pode garantir a captação necessária para o consumo de água em todo o Estado. Recomenda-se o uso de cisternas para reserva do excedente da água pluvial captada.

Palavras-chave: Águas pluviais, coleta, armazenagem, geoprocessamento, geoestatística.

1 Introdução

Estima-se que a população mundial se eleve para 8,3 bilhões em 2030, e para 9,1 bilhões, em 2050 (UN DESA, 2009). Embora abundante, a disponibilidade hídrica superficial no Brasil não é homogênea. Há regiões onde a disponibilidade é menor, porém com grande demanda, levando, em alguns casos, ao conflito pelo uso da água (FAO, 2017). Atualmente 48% da população mundial vive em meios urbanos e em 2030 este número estará acima de 60%, segundo dados de UNESCO-WWAP (2003).

A precipitação total anual sobre a superfície terrestre tem-se mantido em cerca de 110.000 km³. Parte dela é denominada água azul, correspondendo à porção de precipitação (40%), que alimenta os cursos de água e que serve de recarga aos aquíferos profundos (Molden, 2007). A água, além de ser um recurso vital e de extrema importância como fator de produção para diversas atividades, é fonte essencial para que haja desenvolvimento econômico e tecnológico em todo mundo. No Brasil, as águas pluviais vêm sendo utilizadas nos estados do Nordeste, devido à falta de recursos hídricos, e essa água captada, é usada como fonte de suprimento (Carvalho, 2010).

A região do semiárido no Brasil é a mais povoada do mundo e possui características próprias muito expressivas, das quais a principal delas é a baixa disponibilidade de água natural, bem como pela distribuição irregular ao longo do ano (Bastos, 2007). Na região nordestina brasileira se encontram 14 milhões de pessoas sem acesso às redes de abastecimento de água potável. Esse contingente representa cerca de 48% dos sem acesso à água garantida, em quantidade e qualidade no país (Christofidis, 2006).

Para Hunka (2006), a disponibilidade dos recursos hídricos, bem como, seus usos múltiplos e os conflitos gerados por esses usos, representam atualmente um dos grandes desafios para a sociedade. Diversas têm sido as políticas públicas voltadas para os recursos hídricos da região semiárida brasileira. Nos últimos dois séculos ações de fortalecimento institucional, bem como medidas estruturais e não estruturais, vêm sendo implementadas,

algumas comprovadamente de eficácia limitada (INSA, 2012).

De acordo com Jalfim (2001), durante os últimos 20 anos, milhares de famílias de agricultores do nordeste brasileiro, têm adotado sistemas de captação de água de chuva, de forma que, tal alternativa têm se apresentado como uma solução de baixo custo e grande eficácia.

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva têm tido uma crescente aplicação nas áreas urbanas em que estes sistemas atuam como fonte alternativa de abastecimento de água e minimizam os problemas relacionados à indisponibilidade hídrica para o atendimento das crescentes demandas. O uso das águas pluviais no meio urbano viabiliza a economia da água tratada proveniente do sistema convencional de abastecimento de água, visto que uma parcela da demanda de água doméstica, comercial, pública, ou mesmo de uso industrial, pode ser suprida pelo sistema alternativo de captação e aproveitamento das águas pluviais (Maia et al., 2011).

Fewkes e Butler (1999) afirmam que, a coleta, armazenagem e utilização de água da chuva proveniente dos telhados é uma forma simples de redução das demandas municipais, para suprimento de água e tratamento de esgotos. O potencial do aproveitamento de água da chuva, dependendo da localização da edificação, é fundamental. Thomas (2001), por exemplo, afirma que é uma tecnologia-chave para o problema de abastecimento do sertão brasileiro.

Quanto à captação de águas subterrâneas em diversos locais da Paraíba, já foram elaboradas pesquisas por Gonzaga et al. (2012) em Pararí utilizando imagens de satélite, por Siqueira et al. (2015) em diagnóstico de poços artesianos, poços amazonas e cacimbas em Sumé, mas sempre se esbarra na dificuldade econômica da perfuração de poços e sua capacidade produtiva. No Estado do Piauí, Melo et al. (2005), Maciel et al. (2010) e Santos et al. (2012) avaliando a pluviosidade e sua variabilidade demonstraram as condições necessárias para uma eficiente captura e armazenamento de água de chuva. Francisco et al. (2017), demonstraram a viabilidade que o aproveitamento de água de chuva garante, mediante potencialidades pluviais,

armazenamento e de consumo para o município de Sousa, no Sertão da Paraíba e observaram que, a maior demanda hídrica é da população humana e que existe o potencial de captação de água na área de estudo.

Modelos matemáticos, aritméticos e lógicos, buscando representar propriedades e processos do meio físico natural, têm sido implementados e modelos inferenciais vêm sendo propostos, e a geoestatística é um desses modelos, e sua base conceitual está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas formalizada por Matheron (1971). Dentre os procedimentos geoestatísticos se destaca como a técnica do algoritmo B-spline multinível para interpolação espacial de dados dispersos, conforme proposto por Lee et al. (1997). O algoritmo faz uso de uma hierarquia grosseira à fina de redes de controle para gerar uma sequência de funções B-spline bicúbicas, cuja soma se aproxima da função de interpolação desejada em que, grandes ganhos de desempenho são obtidos usando o refinamento do B-spline para reduzir a soma dessas funções em uma função B-spline equivalente.

A metodologia foi utilizada por diversos autores e áreas como por Lee et al. (2005) em dados dispersos e Lee et al. (2005) em dados quase-interpolantes, por Polizelli Júnior (2008) em reconstrução de superfícies, na geração de modelo digital de batimetria por Osorio et al. (2011), por Jiang e Zhang (2013) na anomalia magnética, por Fanti (2016) em superfícies tridimensionais, por Moon e Ko (2018) na acurácia de multinível, em refinamento hierárquico por Lyche et al. (2018), por Sabino e Macedo (2019) interpolando dados pluviométricos, por Noël et al. (2020) na otimização de topologias, por Cano (2022) em interpolação de batimetria, e por Kaya et al. (2021) na eletroestática.

Já a estatística descritiva compreende técnicas que se usam para resumir e descrever dados. A estatística descritiva, conforme Silvestre (2007), é constituída pelo conjunto de métodos destinados à organização e descrição dos dados através de indicadores sintéticos ou sumários. Várias pesquisas em diversas áreas e com variadas ferramentas a utilizaram, como Francisco et al. (2016a) na discriminação de cenários pluviométricos;

Francisco et al. (2016b) no mapeamento da insolação; e Francisco et al. (2021) no estudo da dinâmica temporal da cobertura e uso da terra.

Portanto, este trabalho objetiva estimar e mapear o potencial de captação e armazenamento de água de chuva e a demanda de consumo de residências do Estado da Paraíba utilizando modelagem por interpolação b-spline multinível.

2 Material e métodos

O Estado da Paraíba localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.372 km², que corresponde a 0,662% do território nacional. Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W (Francisco, 2010). De acordo com o Censo Demográfico, a população do Estado da Paraíba é de 3.974.687 habitantes com densidade demográfica de 70,39 hab/km² (IBGE, 2023) apresentando área urbanizada de 680,32 km² representando 1,52% do Brasil (IBGE, 2019). Com tendência similar à observada na maioria dos Estados brasileiros, a população da Paraíba está fortemente concentrada em áreas urbanas, em que, 46,1% residem nos 10 municípios com mais de 50.000 habitantes (PARAÍBA, 2014).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30°C) e uma amplitude térmica anual muito pequena, em função da baixa latitude e elevações (<700m) (Figura 1a). A precipitação varia de 400 a 800mm anuais, nas regiões interiores semiáridas, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar aos 1.600mm (Varejão-Silva et al., 1984). Conforme Francisco et al. (2015), apresenta classificação climática de Köppen, em quatro tipos diferentes de clima. O clima Aw, que caracteriza a região do Litoral norte como Tropical com estação seca no inverno, o clima Am no Litoral norte e Sul do Estado, o tipo climático As que dominam em sua maioria nas regiões de parte do Litoral, Brejo, Agreste e em pequena faixa da região do Sertão e em toda área do Alto Sertão. O tipo climático Bsh é predominante na área do Cariri/Curimataú, e boa parte da área do Sertão (Figura 1b).

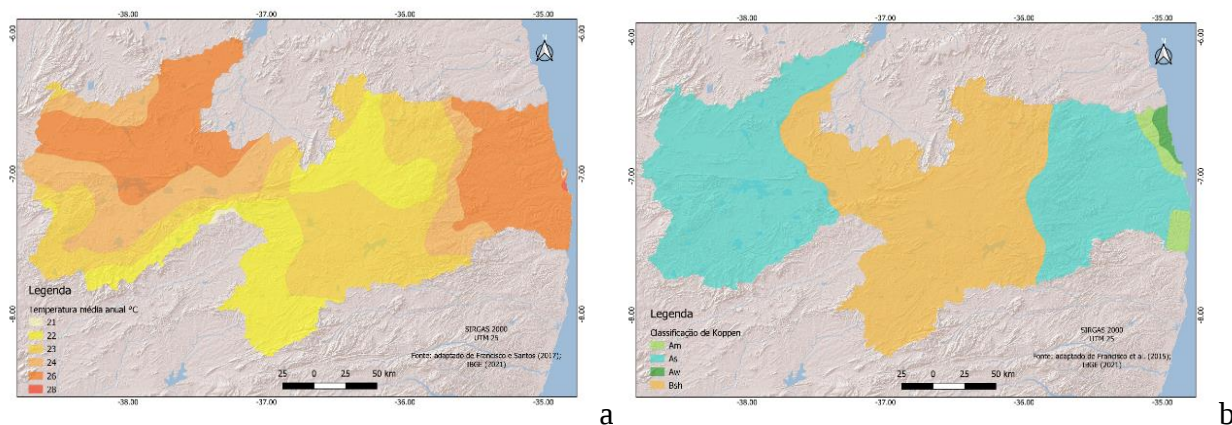


Figura 1. a) Temperatura média anual. b) Classificação climática de Köppen.
Fonte: Francisco e Santos (2017); Francisco et al. (2015).

Na metodologia deste trabalho foram utilizados dados pluviométricos dos 223 municípios entre os anos de 2000 a 2022 obtidos na Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs, 2023). A utilização dos dados foi procedida de uma análise no tocante à sua consistência, homogeneização e no preenchimento de falhas em cada série. Não foi possível adotar, neste trabalho, um período de observação comum a todas as localidades, haja vista a diferença do número de anos e/ou mesmo do número de postos, devido a diferença de início da operação desses postos. Assim, para cada localidade foi considerado para o período disponível, independente do início (FRANCISCO et al., 2015).

Através do uso da metodologia adaptada de Francisco et al. (2017), utilizando planilha eletrônica Excel® e os dados pluviométricos, foram elaboradas as médias anuais, desvio padrão, curtose e coeficiente de variação obtidas para cada município utilizando as Equações 1 a 4.

$$P_{ma} = \frac{1}{A} \sum P(t) \text{ (Eq.1)}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (P(t) - P_{ma})^2}{T}} \text{ (Eq.2)}$$

$$K = \frac{Q_3 - Q_1}{2 (P_{90} - P_{10})} \text{ (Eq.3)}$$

$$CV = \frac{S}{P_{ma}} \cdot 100 \text{ (Eq.4)}$$

Em que: Pma = precipitação média anual (mm); t = mês; A = quantidade de anos; S = Desvio Padrão; T = quantidade de meses; K = Curtose; Q₁ = primeiro quartil; Q₃ = terceiro quartil.

Após foram elaborados os cálculos da demanda hídrica e da necessidade de água projetada para residências de 75; 150; 300 e 450 m² de telhado ou cobertura. Foi adotado uma residência de 4 pessoas em que de acordo com a ONU (2015), apresenta um consumo diário mínimo de 110 litros de água por pessoa (160,6 m³.ano).

Para a determinação do volume de água de chuva para aproveitamento pelas áreas de telhados, foi utilizada a metodologia adaptada de Ghisi et al. (2007) e aplicada por Lima et al. (2011) e Nascimento et al. (2016) (Equação 5).

$$V_{ma} = P \cdot A \cdot C / 1000 \text{ (Eq.5)}$$

Em que: Vma - volume médio anual de chuva captado (m³); P - precipitação anual média (mm); A - área total de captação (m²); C - coeficiente de *runoff* (adimensional) (0,81) (Villela & Mattos, 1980); 1000 - fator de conversão da precipitação de mm para m.

O potencial anual de armazenamento de água potável foi determinado considerando os dados das médias anuais do consumo de água estimado e do volume anual de água de chuva captada, conforme a metodologia adaptada de Ghisi et al. (2007) (Equação 6).

$$P_{aa} = V \cdot DAP \cdot 100 \text{ (Eq.6)}$$

Em que: Paa - potencial de armazenamento de água (%); V - Volume anual médio de água de chuva captada (m³); DAP - demanda anual de água potável (m³).

Na elaboração do mapa da média anual de pluviosidade foi realizado a interpolação B-Spline Multinível (MBS) através do plugin SAGA[®] do QGIS[®] 3.34, gerando imagens no formato raster com células de 1 km², com limiar de erro de 0,0001 e 11 como nível máximo. Método de interpolação em que, à medida que a hierarquia avança de nível, o controle de látex aplicado por cada multinível suaviza e interpola o conjunto de pontos que compõem a superfície, gerando uma representação aproximada da realidade (Lee et al., 2005).

Em seguida as imagens *raster* foram transformados em formato vetorial e elaboradas as isoietas de 100 mm utilizando a ferramenta contorno. Na sequência foram elaborados os mapas de potencial de captação e de armazenamento para telhados de 75; 150; 300 e 450 m² sendo utilizado um arquivo digital no formato *shape* do limite estadual fornecido pelo IBGE (2021) para o recorte.

Após, utilizando a ferramenta Estatística realizou-se análise dos dados.

3 Resultados e discussão

Conforme a Figura 2 e a Tabela 1, constando os principais municípios distribuídos por região, observa-se que a pluviosidade média anual, os maiores valores se apresentam na região do Litoral nos municípios de João Pessoa até Sapé (1900 – 1300mm.ano) diminuindo sua ocorrência conforme adentra o território até os contrafortes do Planalto da Borborema, de Guarabira até Campina Grande (600mm.ano), com exceção da região do Brejo, onde se localiza o município de Areia. Na região do Cariri/Curimataú, de Monteiro a Picuí, em um transcepo de sul ao norte, os valores apresentam-se entre 600 a 300mm.ano. Na região do Sertão entre Patos e Sousa, os valores apresentam-se entre 600 a 900mm.ano. Observa-se um valor médio de 763,7 e desvio padrão de 272,7. Quanto ao coeficiente de variação e curtose, ambas se apresentam valores de 0,4.

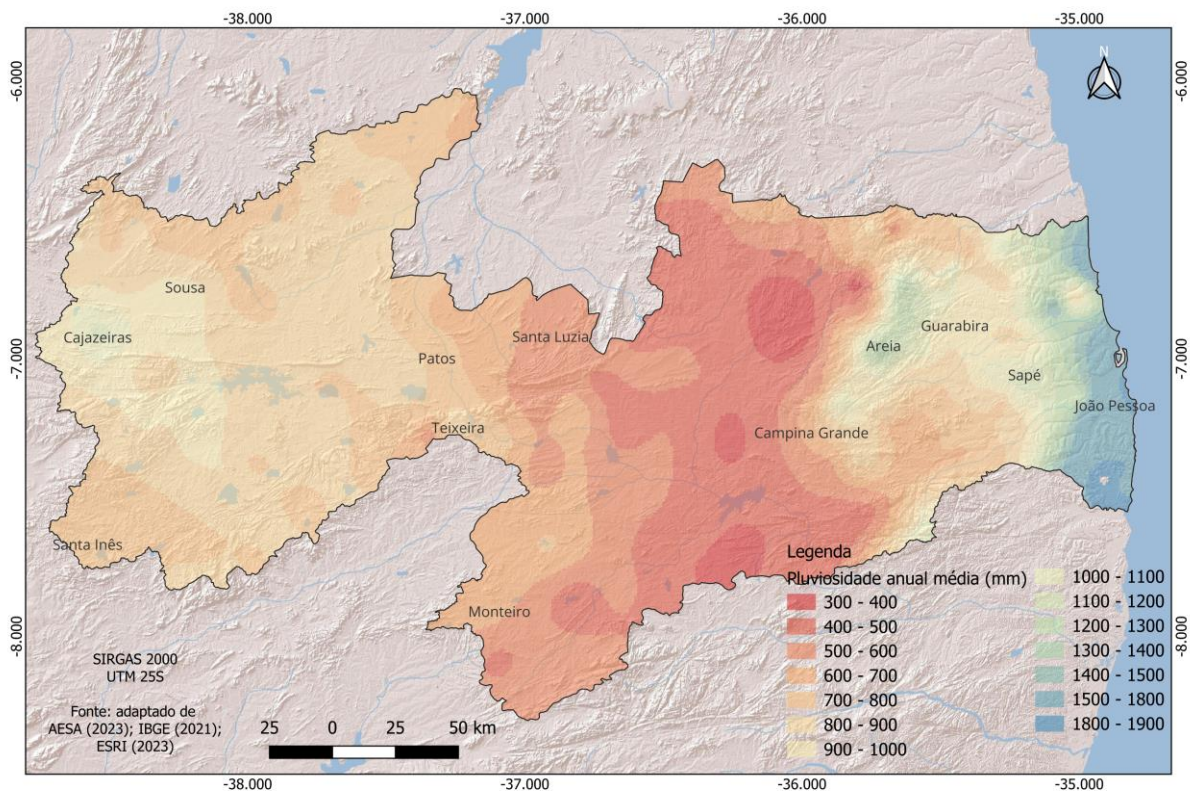


Figura 2. Pluviosidade anual média (mm) (2020-2022).
Fonte: adaptado de AESA (2023); IBGE (2021); ESRI (2023).

Nas Figuras 3 e 4 observa-se os mapas de potencial de captação e de armazenamento

de água de chuva (m^3) para telhados de residências de 75 a 450 m^2 .

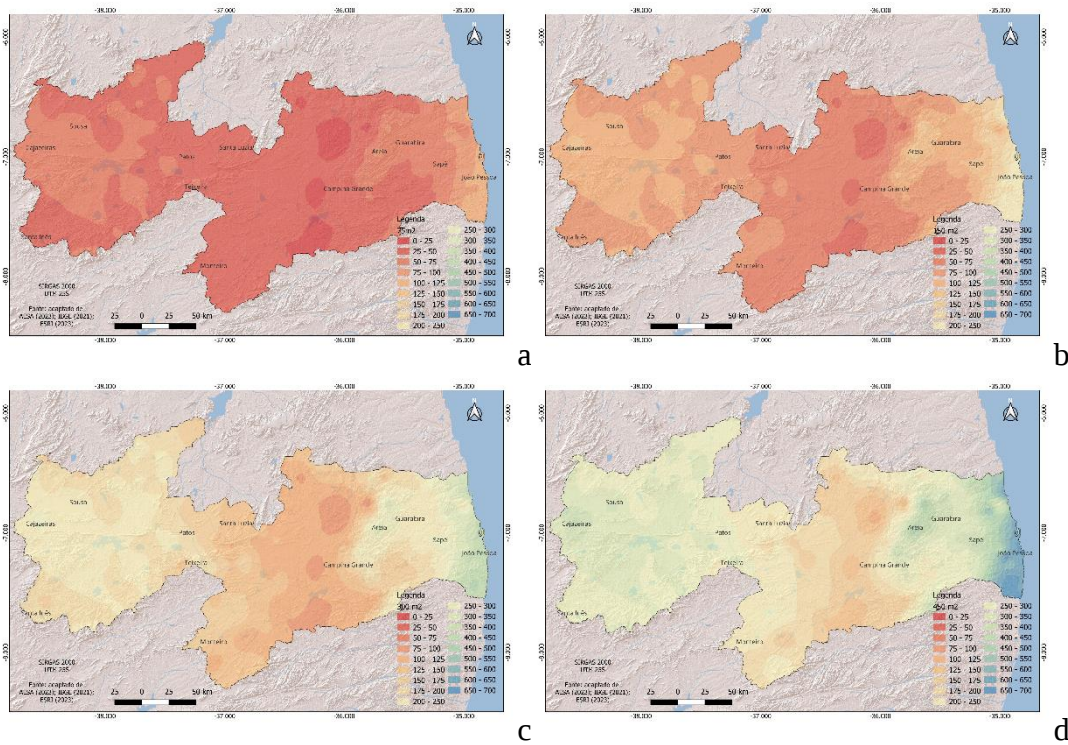


Figura 3. Potencial de captação de água de chuva (m^3/ano) para telhados.

a) 75 (m^2), b) 150 (m^2), c) 300 (m^2), d) 450 (m^2).

Fonte: adaptado de AESA (2023); IBGE (2021); ESRI (2023).

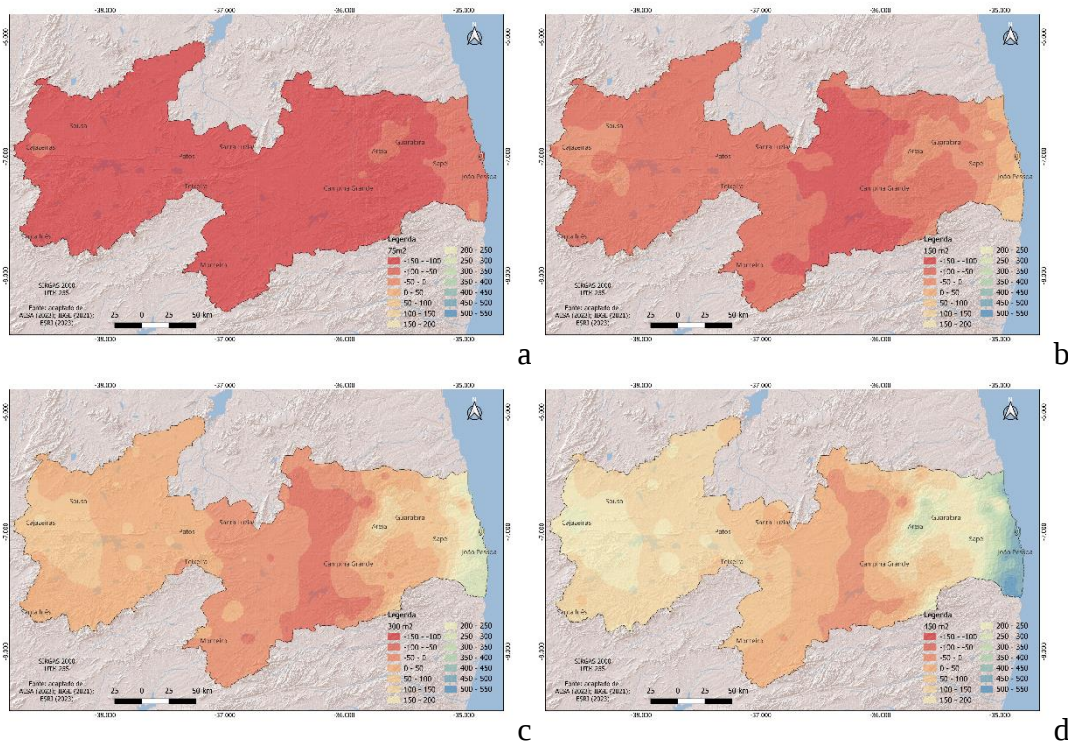


Figura 4. Potencial de armazenamento de água de chuva (m^3/ano) para telhados.

a) 75 (m^2), b) 150 (m^2), c) 300 (m^2), d) 450 (m^2).

Fonte: adaptado de AESA (2023); IBGE (2021); ESRI (2023).

Nas Figuras 5 e 6 dos histogramas dos mapas de potencial de captação de água de chuva e de armazenamento, pode-se observar que, segue um padrão em que, quanto maior a

pluviosidade, maior a captação e armazenamento, consequentemente. Os maiores potenciais estão nos telhados com capacidade de 300 e 450 m², respectivamente.

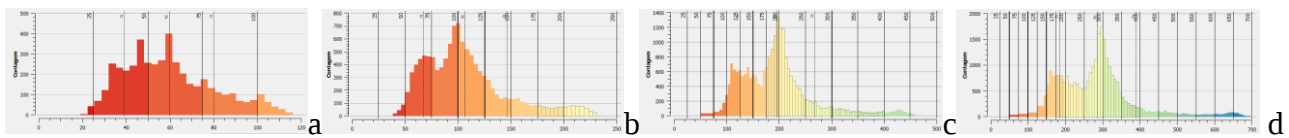


Figura 5. Histogramas dos mapas de potencial de captação de água de chuva (m³.ano) para telhados (m²). a) 75, b) 150, c) 300, d) 450.

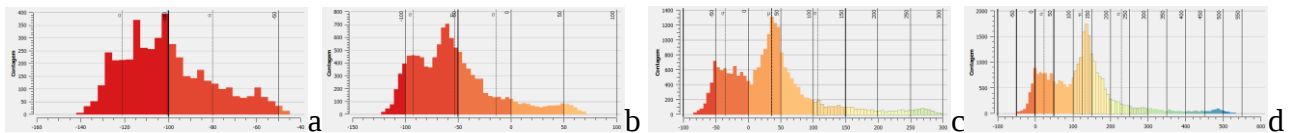


Figura 6. Histogramas dos mapas de potencial de armazenamento de água de chuva (m³.ano) para telhados (m²). a) 75, b) 150, c) 300, d) 450.

Na Tabela 1, da análise estatística descritiva das variáveis/atributos, para o potencial de captação de água, observa-se o maior desvio padrão e maior variabilidade para telhados de 450 m², e menor variabilidade e desvio na variável de 75 m². Para o potencial

de armazenamento ocorre a mesma variação, no entanto, os valores mínimos são negativos devido a não capacidade de armazenamento. A maior média e mediana de alcance apresentam valores de 126 e 124, respectivamente.

Tabela 1. Análise descritiva das variáveis/atributos

Atributo/Variável	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desv. Pad.	Variabilidade	Q1	Q3	IQR
Potencial de captação de água									
75 m ²	19	59,54	57	116	20,46	98	44	72	28
150 m ²	38	106,88	100	231	39,15	194	78	124	46
300 m ²	76	196,69	192	463	70,93	388	146	220	74
450 m ²	114	286,52	284	694	102,73	581	211	322	111
Potencial de armazenamento de água									
75 m ²	-142	-100,68	-103	-45	20,47	98	-116	-88	28
150 m ²	-123	-53,59	-60	71	39,40	195	-83	-37	46
300 m ²	-85	35,93	31	302	70,88	388	-15	59	74
450 m ²	-47	126,00	124	536	102,66	580	50	161	111

Pela Tabela 2, pode-se observar que um telhado de 75 m², onde a estimativa de captação de água pluvial é de 110,6 m³, em que na maioria das regiões do Estado, não atinge o valor mínimo de 160,6 m³.ano por residência com 4 pessoas, e somente apresenta valores entre 100 a 125 m³.ano para a região do Litoral sul. Nas demais regiões os valores são menores. Quanto ao armazenamento para o telhado de 75 m² não atinge o potencial mínimo, sendo menor no Litoral e crescendo os valores adentrando aos municípios do interior do Estado.

Para o município de João Pessoa, localizado no Litoral, Dias (2007) realizando estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residências do município observou uma média de precipitação anual 1.745,83mm, resultado similar a este trabalho, e que o aproveitamento de águas pluviais é possível obtendo um volume de água que atende 84,62% de demanda por água não potável para residências de padrão popular.

Tabela 2. Dados da pluviosidade, captação e armazenamento dos principais municípios

Região	Município	Pluviosidade média anual (mm)	Potencial de captação (m³ano) em telhado (m²)				Potencial de armazenamento (m³ano) em telhado (m²)			
			75	150	300	450	75	150	300	450
Litoral	João Pessoa	1.820,6	110,6	221,2	442,4	663,6	-50,0	60,6	281,8	503,0
Brejo	Sapé	1.116,6	67,8	135,7	271,3	407,0	-92,8	-24,9	110,7	246,4
Brejo	Guarabira	1.010,9	61,4	122,8	245,7	368,5	-99,2	-37,8	85,1	207,9
Brejo	Areia	1.347,1	81,8	163,7	327,3	491,0	-78,8	3,1	166,7	330,4
Agreste	Campina Grande	810,8	49,3	98,5	197,0	295,5	-111,3	-62,1	36,4	134,9
Cariri	Monteiro	659,6	40,1	80,1	160,3	240,4	-120,5	-80,5	-0,3	79,8
Curimataú	Picuí	415,1	25,2	50,4	100,9	151,3	-135,4	-110,2	-59,7	-9,3
Sertão	Patos	747,5	45,4	90,8	181,6	272,5	-115,2	-69,8	21,0	111,9
Sertão	Sta. Luzia	544,3	33,1	66,1	132,3	198,4	-127,5	-94,5	-28,3	37,8
Sertão	Teixeira	850,4	51,7	103,3	206,6	310,0	-108,9	-57,3	46,0	149,4
Alto Sertão	Cajazeiras	1.115,2	67,7	135,5	271,0	406,5	-92,9	-25,1	110,4	245,9
Alto Sertão	Sta. Inês	730,0	44,3	88,7	177,4	266,1	-116,3	-71,9	16,8	105,5
Alto Sertão	Sousa	978,0	59,4	118,8	237,6	356,5	-101,2	-41,8	77,0	195,9

Observa-se que para um telhado de 75 m², o volume aproveitável de águas pluviais não consegue suprir totalmente a demanda mensal, no entanto o aproveitamento é válido, pois durante um ano deixaria de ser consumido aproximadamente 50 m³ de água tratada. Resultado similar ao estudo realizado por Fernandes e Alves (2013) em Quissamã, RJ.

Para uma moradia com 150 m² de telhado o potencial de captação segue o mesmo padrão do potencial de 75 m², em que somente a região do Litoral apresenta valores superiores ao necessário de consumo, decrescendo conforme adentra as regiões do interior do Estado. Mesmo com potencial menor, esta capacidade já apresenta grande contribuição na diminuição do consumo de água do sistema de abastecimento, representando economia financeira e também suprimindo a falta de água no abastecimento público. O armazenamento só será viável na região do Litoral com menor potencial adentrando as regiões do interior.

Para residências com telhados de 300 e 450 m² de captação de água, dos municípios extraídos como exemplos, Picuí localizado na região do Curimataú, apresenta o menor valor de potencial para telhados de 300 m². No entanto para o telhado de 450 m², o município de Picuí apresenta-se próximo ao mínimo estipulado por este trabalho, e os demais municípios ultrapassam o valor mínimo. Para o potencial de armazenamento, a região do Litoral, Brejo e Agreste apresentam os maiores valores, já a região do Sertão somente para telhados de 450 m² é que apresenta valores satisfatórios de captação e armazenamento.

Os resultados demonstram que, maiores áreas de captação e maiores volumes de reservatórios seriam necessários para o abastecimento pleno da demanda anual de água, resultado similar ao observado por Batista (2021).

O aproveitamento de água de chuva se torna mais viável quando o consumo de água não potável é elevado, caso de indústrias, edifícios públicos, escolas, universidades e entre outros, acarretando uma economia significativa de água tratada. Outro fator que contribui são as áreas de captação geralmente grandes, que proporcionam um maior volume de água potencialmente coletável (Hagemann, 2009).

4 Conclusão

Observou-se por este trabalho que, o geoprocessamento se mostrou uma ferramenta eficiente e rápida juntamente com o uso da interpolação que apresentou resultados satisfatórios no uso da modelagem por b-spline multinível.

A maior ocorrência de chuvas, em sua média, está localizada nos municípios da faixa Litorânea adentrando ao Agreste até a região do Brejo, em que segue o melhor potencial de captação e armazenamento de água de chuva.

Existe o potencial de captação de água em todo o Estado da Paraíba, no entanto, nas regiões do Cariri/Curimataú e Sertão a captação pode estar disponível somente para uso mínimo recomendável de água, e, portanto, não estando disponível para armazenamento para uso posterior.

Telhados acima de 300 m² de superfície pode garantir a captação necessária para o consumo de água em todo o Estado.

Recomenda-se o uso de cisternas para reserva do excedente da água pluvial captada.

Referências

- AESA. Agência de Águas do Estado da Paraíba. 2023. Chuvas. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=2023-12-21&produto=municipio&periodo=anual>. Acesso em: 11 de março de 2023.
- Bastos, F.P. 2007. Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV. 135f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória.
- Batista, L.M. 2021. Água de chuva, uma alternativa para comunidades rurais no Estado do Pará. 28f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Energias Renováveis). Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém.
- Brandão, W. 2001. Utilização de métodos geoestatísticos de krigagem ordinária e krigagem por indicação na interpolação de dados geoquímicos de solos: uma comparação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, Foz do Iguaçu, 2001. Anais...INPE, Foz do Iguaçu.
- Cano, É.V. 2022. Métodos de interpolação da batimetria adquirida por veículo de superfície não tripulado. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais, Geoprocessamento Aplicado). Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande.
- Carvalho, R.S. de. 2010. Potencial econômico do aproveitamento de águas pluviais: análise da implantação de um sistema para a região urbana de Londrina. 53f. (Especialização em Construção de Obras Públicas). Universidade Federal do Paraná. Apucarana.
- Christofidis, D. 2006. Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil. (Relatório Técnico). PROÁGUA. 18p.
- Dias, I.C.S. 2007. Estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residências na cidade de João Pessoa. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: dezembro de 2023.
- Fanti, C.E. 2016. Reconstrução de superfícies tridimensionais utilizando B-splines com peso associado à redução do número de pontos de controle. 125f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.
- Fernandes, P.A.M.; Alves, M. da G. 2013. Utilização das águas pluviais no município de Quissamã, RJ. Perspectivas da Ciência e Tecnologia 5(1/2) 12-17.
- Fewkes, A.; Butler, D. 1999. The sizing of rainwater stores using Behavioural models. In: Simpósio Brasileiro de Captação de Água da Chuva, 2, Conferência Internacional sobre Sistemas de Captação de Água da Chuva, 9, 1999, Petrolina. Anais...Petrolina.
- Francisco, D.P.M.; Farias, S.A.R.; Francisco, P.R.M.; Cabral, J.H. de A.; Silva, E.A. de A. 2017. Potencial de captação de água pluvial do município de Sousa-PB. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 4, 2017, Belém. Anais...Belém.
- Francisco, P.R.M.; Ayres, G.D.J.; Silva, V.F.; Oliveira, F.P. de; Santos, D.; Pedroza, J.P. 2021. Dinâmica temporal da cobertura e uso da terra da região do médio curso do rio Paraíba. In: (Org). Francisco, P.R.M.; Silva, V.F.; Santos, D.; Ribeiro, G. do N. Tecnologias aplicadas às pesquisas: GEO 21. EPTEC. 130p.
- Francisco, P.R.M.; Mello, V. da S.; Bandeira, M.M.; Macedo, F.L. de; Santos, D. 2016a. Discriminação de cenários pluviométricos do estado da Paraíba utilizando distribuição Gama Incompleta e Teste Kolmogorov-Smirnov. Revista Brasileira de Geografia Física 9(1) 47-61.
- Francisco, P.R.M.; Pedroza, J.P.; Bandeira, M.M.; Silva, L.L. da; Santos, D. 2016b.

- Mapeamento da insolação do estado da Paraíba utilizando krigagem. *Revista de Geografia* 33(1) 248-262.
- Francisco, P.R.M.; Santos, D. 2017. *Climatologia do Estado da Paraíba*. 1ª ed. Campina Grande: EDUFPG. 75p.
- Francisco, P.R.M. 2010. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Santos, D.; Matos, R.M. de. 2015. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(4) 1006-1016.
- Ghisi, E. 2006. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment* 41(11) 1544-1550.
- Ghisi, E.; Bressan, D.L.; Martini, M. 2007. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Building and Environment* 42(4) 1654–1666.
- Gonzaga, F. de A. da S.; Barbosa, M.P.; Francisco, P.R.M. 2012. Estudo de campo integrado com imagem LANDSAT para indicar áreas favoráveis a captação de águas subterrâneas. *Revista Brasileira de Geografia Física* 5 1145-1158.
- Hagemann, S.E. 2009. Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.
- Hunka, P.G. 2006. Diagnóstico socioambiental e dos usos dos recursos hídricos na bacia do rio Guajú–PB/RN. 130f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.
- IBGE. Diretoria de Geociências, Coordenação de Meio Ambiente, Áreas Urbanizadas do Brasil 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de dezembro de 2023.
- INSA. Instituto Nacional do Semiárido. 2012. Disponível em: <http://www.insa.gov.br>. Acesso em: 25 de julho de 2015.
- Jakob, A.A.E. 2002. A krigagem como método de análise de dados demográficos. In: Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 13, 2002, Ouro Preto. Anais...Ouro Preto.
- Jalfim, F.T. 2001. Considerações sobre a viabilidade técnica e social da captação e armazenamento da água da chuva em cisternas rurais na região semiárida brasileira. In: Simpósio Brasileiro de Captação de água de Chuva no Semiárido. Campina Grande, 3, 2001, Petrolina. Anais...Petrolina.
- Jiang, Y.; Zhang, N. 2013. Applications of scattered interpolation with multilevel B-splines to magnetic anomaly data. *Near Surface Geophysics* 11(5) 579- 585.
- Kaya, H.; Hardy, D.J.; Skeel, R.D. 2021. Multilevel summation for periodic electrostatics using B-splines. *Journal Chemical Physics* 154(14) 4105.
- Lee, B.G.; Lee, J.J.; Yoo, J. 2005. An efficient scattered data approximation using multilevel B-splines based on quasi-interpolants. In: International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, 5, 2005, Ottawa. Anais...Ottawa.
- Lee, B.G.; Lee, J.J.; Kwon, K.R. 2005. Quasi-interpolants Based Multilevel B-Spline Surface Reconstruction from Scattered Data. In: Gervasi, O. et al. Computational Science and Its Applications – ICCSA 2005. ICCSA 2005. Lecture Notes in Computer Science, v. 3482. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lee, S.; Wolberg, G.; Shin, S. 1997. Scattered data interpolation with multilevel bsplines.

- IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 3(3) 228–244.
- Lima, J.A.; Dambros, M.V.R.; Antonio, M.A. P.M. de; Janzen, J.G.; Marchetto, M. 2011. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental* 16(3) 291-298.
- Lyche, T.; Manni, C.; Speleers, H. 2018. Foundations of Spline Theory: B-Splines, Spline Approximation, and Hierarchical Refinement. In: Lyche, T.; Manni, C.; Speleers, H. (eds) *Splines and PDEs: From Approximation Theory to Numerical Linear Algebra*. Mathematics, v.2219. Springer, Cham.
- Maciel, A.C.; Medeiros, R.M. 2010. Prognóstico para armazenamento de águas pluviais de acordo com a variabilidade anual da precipitação pluvial em União, Piauí. In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, 5, 2010, Maceió. *Anais...Maceió*.
- Maia, A.G.; Santos, A.L. dos; Oliveira Filho, P.C. de. 2011. Avaliação da economia de água potável com a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva: estudo de caso no município de Irati, Paraná. *Ambiência Guarapuava* 7(1) 51-63.
- Matheron, G. 1963. Les principes de la geostatistique. CG, Ecole des Mines de Paris. Rapport 88.
- Matheron, G. 1971. The theory of regionalized variables and its applications. Paris, Le Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu. 211p.
- Melo L.F.S.E.; Medeiros, R.M. 2005. Prognóstico para armazenamento de águas pluviais de acordo com a variabilidade anual da precipitação pluvial em Pedro II, PI. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 5, 2005, Teresina. *Anais...Teresina*.
- Molden, D. 2007. Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture. London: Earthscan: International Water Management Institute.
- Moon, S.; Ko, K. 2018. A point projection approach for improving the accuracy of the multilevel B-spline approximation. *Journal of Computational Design and Engineering* 5 173–179.
- Nascimento, T.V. do; Fernandes, L.L.; Yoshino, G.H. 2016. Potencial de aproveitamento de água de chuva na Universidade Federal do Pará – Belém/PA. *Revista Monografias Ambientais* 15(1) 105-116.
- Noël, L.; Schmidt, M.; Messe, C.; Evans. J. A.; Maute, K. 2020. Adaptive level set topology optimization using hierarchical B-splines. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 62 1669–1699.
- ONU. Organização das Nações Unidas. United Nations World Water Assessment Programme (WWAP). World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris: UNESCO; 2015b. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/naturalsciences/environment/water/wwap/wwdr/2015-waterfor-a-sustainable-world/>. Acesso em: 05 de abril 2021.
- Osorio, D.S.Á.; León, J.C.M.; Contreras, A.C. 2011. Bathymetric digital models generated by interpolation methods IDW, Kriging, Shepard and B-Spline in the archipelago of Rosario islands. *Revista Geomática* 5 3-14.
- PARAÍBA. 2014. Secretaria de Infraestrutura, Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Camargo Schubert Engenheiros Associados. Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior, ATECEL. Atlas eólico: Paraíba. Campina Grande: ATECEL/UFCG. 104p.
- Polizelli Junior, V. 2008. Métodos implícitos para reconstrução de superfícies a partir de nuvens de pontos. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional). Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação. Universidade de São Paulo. São Carlos.
- Rocha, M.M.; Lourenço, D.A.; Leite, C.B.B. 2007. Aplicação de krigagem com correção do efeito de suavização em dados de potenciometria da cidade de Pereira Barreto-SP. *Geologia* 7(2) 37-48.
- Sabino, S.M.L.; Macedo, D.R. 2019. Relação entre dados pluviométricos primários e modelos geoestatísticos interpolados em escala global. In: Simpósio Brasileiro de

- Sensoriamento Remoto, 19, 2019, Santos. Anais...Santos.
- Santos, L.J.V. dos; Medeiros, R.M. de; Kassar, C.; Francisco, P.R.M.; Lima, R. da C.C. 2012. Variabilidade anual da precipitação pluvial e condições de captação e armazenamento de água no município de Floriano-PI. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 8, 2012, Campina Grande. Anais...Campina Grande.
- Silvestre, A.L. 2007. Análise de dados e estatística descritiva. Escolar Editora.
- Siqueira, M. da S. de; Ribeiro, G. do N.; Francisco, P.R.M.; Barbosa, R.R.; Ramos, I. de O. 2015. Ocorrência e caracterização de sistemas de captação hídrica em um trecho do rio Pedra Comprida, Sumé-PB. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2, 2015, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- Tomaz, P. 2001. Economia de água para empresas e residências: um estudo atualizado sobre o uso racional da água. São Paulo: Navegar Editora.
- UN DESA. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World population prospects: the 2008 revision, highlights. New York, 2009. (Working paper, ESA/P/WP.210).
- UNESCO-WWAP. 2003. The World Water Development Report: Water for People, Water for Life. Executive Summary. 35p.
- Varejão-Silva, M.A.; Braga, C.C.; Aguiar, M.J.N.; Nietzsche, M.H.; Silva, B.B. 1984. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande.
- Villela, S.M.; Mattos, A. 1980. Hidrologia aplicada. v. 2. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.