

ÍNDICE DE RESERVAÇÃO A MONTANTE DE AÇUDES DO CEARÁ

Camila Cristina Souza Lira¹, Adunias dos Santos Teixeira² e Pedro Henrique Augusto Medeiros³

RESUMO: Este trabalho aborda a densa rede de açudes no Ceará, investigando como a açudagem de pequeno e médio porte a montante influencia a capacidade de armazenamento em reservatórios estratégicos. Para isso, foram utilizadas bases de dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento para estimar a capacidade de armazenamento dos reservatórios e calcular a ordem de grandeza dos corpos hídricos a montante em relação ao reservatório principal. No processo, foi necessário delimitar as bacias hidrográficas contribuintes para 37 açudes estratégicos. Constatou-se que, em 19% dos casos analisados, o volume acumulável a montante supera a própria capacidade do reservatório principal.

PALAVRAS-CHAVE: pequena açudagem, reservatórios estratégicos, características volumétricas.

RESERVATION INDEX UPSTREAM OF CEARÁ DAMAGES

ABSTRACT: This study addresses the dense network of dams in Ceará, investigating how small and medium-sized dams upstream influence the storage capacity of strategic reservoirs. To this end, remote sensing databases and geoprocessing techniques were used to estimate the storage capacity of the reservoirs and calculate the order of magnitude of the water bodies upstream in relation to the main reservoir. In the process, it was necessary to delimit the contributing river basins for 37 strategic dams. It was found that, in 19% of the cases analyzed, the accumulative volume upstream exceeds the capacity of the main reservoir itself.

KEYWORDS: small dam, strategic reservoirs, volumetric characteristics.

INTRODUÇÃO

Por muito tempo a construção de reservatórios foi a política abordada para a o controle dos impactos de secas no Nordeste Brasileiro, com isso criou-se uma extensa rede de reservatórios. O trabalho de Malveira et al. (2012), realizado na Bacia do Alto Jaguaribe, mostrou que essa região se encontra já saturada, ou seja, a construção de mais reservatórios não aumentaria a oferta hídrica da região, uma vez que os índices pluviométricos não conseguiriam suprir essa capacidade de acumulação adicional.

Campos (2003) cita o debate que se iniciou no século XIX sobre “o que seria melhor para a Região, os grandes ou os pequenos açudes?”. Inclusive, esse estudo do Campos analisa a eficiência de reservação de água a partir do balanço hídrico e do índice de evaporação da região, constatando que a partir dessa análise os reservatórios de maior capacidade seriam os mais eficientes hidrologicamente.

¹Doutoranda, Universidade Federal do Ceará, (85)981861989, camilacsirla@alu.ufc.br

²Professor, Universidade Federal do Ceará, (85) 33669760, adunias@ufc.br

³Professor, Instituto Federal do Ceará – Campos Fortaleza, (85) 33073681, phamedeiros@ifce.edu.br

Por outro lado, Krol et al. (2011) relataram que a construção de uma rede de múltiplas barragens, tanto pequenas como grandes, no Nordeste do Brasil reduziu a vulnerabilidade da região nos períodos de seca, fornecendo praticamente a única fonte de água para mais de 90% da população local. Além disso, Nascimento et al. (2019) mostram a importância dos pequenos reservatórios para a eficiência energética da região, uma vez que a existência de açudes próximos aos centros de demanda reduz a demanda de energia para bombeamento.

Nesse contexto, no trabalho aqui proposto pretende-se analisar a relevância da capacidade volumétrica de açudes a montante em comparação a reservatórios estratégicos, realizando levantamento das estruturas de montante utilizando base de dados baseada em sensoriamento remoto.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é o estado do Ceará, tendo sido analisados 37 reservatórios estratégicos. A delimitação das bacias foi realizada utilizando o modelo digital do terreno fornecido pelo USGS (2023) e com a ferramenta o TauDEM (Análise de Terreno Usando Modelos Digitais de Elevação) que possui um conjunto de funções para extrair informações hidrológicas da topografia. O TauDEM corrige o MDE através do processo de remoção das depressões, estima o caminho/direções do escoamento, assim como a área de contribuição usando métodos de direção de fluxo simples e múltiplos.

O volume dos reservatórios foi estimado pela equação proposta por Pereira et al. (2019), a qual utiliza informação acerca do espelho d'água dos reservatórios quando ele se encontra em seu nível máximo.

$$V = V_0 + A_0 \left(\frac{A - A_0}{\alpha_{mod} K_{mod}} \right)^{\left(\frac{1}{\alpha_{mod} - 1} \right)} + K_{mod} \left(\frac{A - A_0}{\alpha_{mod} K_{mod}} \right)^{\left(\frac{\alpha_{mod}}{\alpha_{mod} - 1} \right)} \quad (1)$$

Em que: V= Volume do Reservatório; V₀ = Volume mínimo de referência do método; A₀ = Área correspondente ao volume V₀. A= Área máxima do espelho d'água.

Os outros parâmetros utilizados na fórmula acima são definidos pelas seguintes equações:

$$\alpha_{mod} = 2.08 + (1.46 \times 10^1) \left(\frac{\lambda}{P_{max}} \right) + (7.41 \times 10^{-2}) \left(\frac{\lambda^2}{P_{max}} \right) - (1.36 \times 10^{-8}) \left(A_{max} \times \frac{D}{\lambda} \right) + (4.07 \times 10^{-4}) D \quad (2)$$

$$K_{mod} = 2.55 \times 10^3 + (6.45 \times 10^1) \lambda - (5.38 \times 10^1) \left(\frac{D}{\lambda} \right) \quad (3)$$

Pereira et al. (2019) ainda define os seguintes parâmetros para calcular α_{mod} e K_{mod} : $\lambda = A_{max}/P_{max}$ e $D = P_{max}/\pi$. Onde: A_{max} = área máxima do espelho d'água e P_{max} = perímetro máximo do espelho d'água.

As informações necessárias na utilização do método acima foram obtidas a partir da base de dados de máxima extensão de corpos hídricos da plataforma Global Surface Water Explorer (PEKEL

et al., 2016). A plataforma disponibiliza a extensão máxima de água com dados de todos os corpos d'água identificados entre 1984 e 2021, cobrindo 38 anos de informações sobre recursos hídricos em escala global. Esses dados estão organizados em uma grade e são apresentados em arquivos raster com resolução espacial de 10 metros. Com esses dados já pré-processados fornecidos pelo site, o raster foi convertido em polígonos, possibilitando a extração dos dados de perímetro e área máxima de cada reservatório, conforme requerido pela metodologia de Pereira et al. (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o estado do Ceará foram identificadas aproximadamente 23 mil feições referentes a corpos hídricos (Figura 1), para as quais foram estimados os volumes utilizando a metodologia proposta. A validação da metodologia proposta foi realizada com base na capacidade informada pelo portal hidrológico do Ceará, gerenciado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), utilizando 133 reservatórios dos 154 monitorados. A estimativa da capacidade dos reservatórios utilizando o método proposta por Pereira et al. (2019), apresentou um coeficiente de correlação superior a 0,9 ao ser comparada com valores reais de capacidade dos reservatórios. Contudo, as estimativas mostram-se menos precisas para reservatórios de menor capacidade, resultando em subestimações ou superestimações. No entanto ao considerar a média dos valores de capacidade para uma bacia com inúmeros reservatórios, os resultados se tornaram mais assertivos.

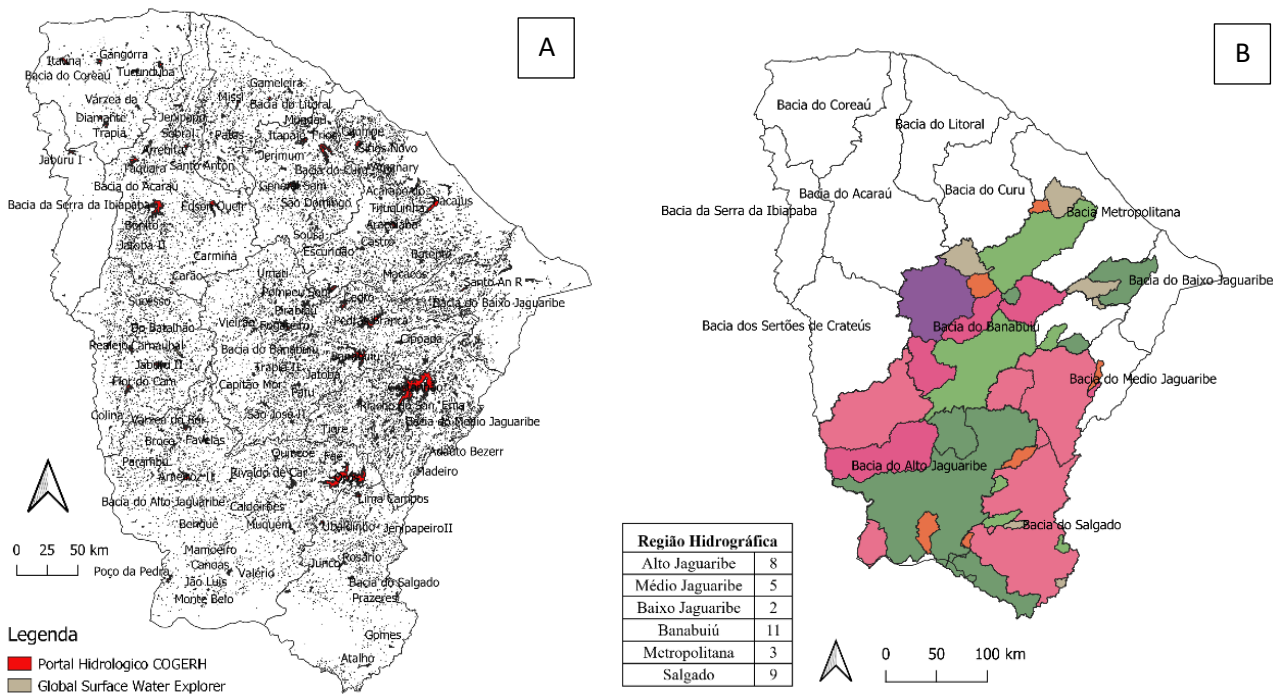


Figura 1. Espelhos d'água do estado do Ceará (A); Delimitação de bacias por regiões hidrográficas do estado do Ceará (B).

Neste trabalho foi utilizada a classificação definida por Singh (1995) para definir a escala das bacias hidrográficas, a qual classifica as bacias como pequenas para as inferiores a 100 km², médias para as com área entre 100 à 1.000 km² e grandes com área superior a 1.000 km². Foram delimitadas 37 bacias (Figura 1B) dentro dessas, 4 foram classificadas como pequenas, 17 classificadas como médias e 16 grandes. Na tabela da Figura 1B observa-se a localização do exutório para a delimitação de cada bacia por bacias hidrográficas do Ceará.

Com base nos dados georreferenciados, foi calculada a razão de acúmulo a montante, que corresponde à relação entre a capacidade total de todos os reservatórios a montante e a capacidade do reservatório principal da bacia, cujo exutório foi utilizado para a delimitação. A maioria dos valores obtidos ficou abaixo de 1, com o menor valor sendo 0,003 e o máximo 2,1 (Figura 2).

Três desses dados foram excluídos desta análise por apresentarem valores discrepantes em relação aos demais. São eles: o reservatório Caldeirão, na Bacia Alto Jaguaribe, e os reservatórios Quixeramobim e Umari, ambos na Bacia do Banabuiú, com coeficientes de 397, 53 e 7, respectivamente. Esses valores elevados refletem

o propósito específico desses reservatórios, projetados com capacidades desproporcionais em relação às suas bacias de contribuição e utilizados como reservatórios de passagem para abastecimento urbano, e não para captar água da bacia visando o aumento da disponibilidade hídrica. Dessa forma, sua capacidade é significativamente menor do que a prevista em estudos hidrológicos da bacia.

Em torno de 75% dos dados de razão de acúmulo a montante foram menores do que 1, o que significa que a capacidade do reservatório principal situado no exutório da respectiva bacia é maior do que a soma das capacidades de todos os restantes a montante.

Ainda sobre a análise volumétrica dos reservatórios, procedeu-se adimensionalização da capacidade de acumulação para se proceder a comparação entre os reservatórios estudados. Calculou-se a lâmina equivalente de acumulação do reservatório principal da bacia, que é a razão da capacidade do reservatório principal pela área da bacia, assim como a lâmina de todos os reservatórios a montante, ou seja, o valor da capacidade total de todos os reservatórios a montante pela área total da

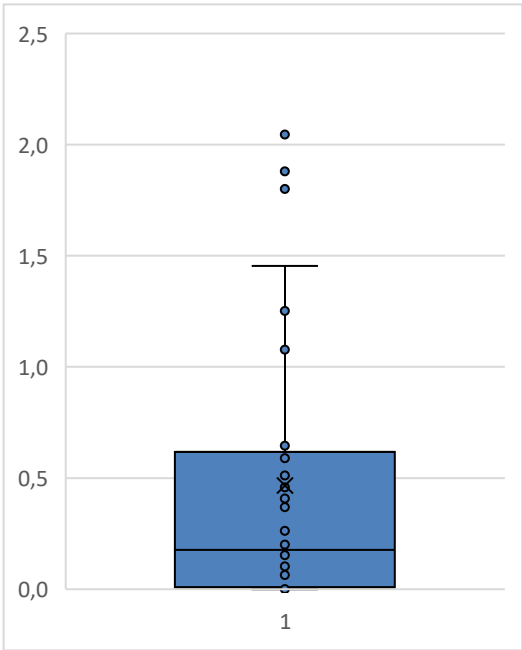


Figura 2. Boxplot dos dados de razão de acúmulo a montante.

A análise da capacidade de acumulação na rede de açudes a montante de reservatórios estratégicos demonstrou que 19% dos reservatórios analisados possuem um volume a montante superior à própria capacidade do reservatório principal. Em média, os reservatórios principais concentram 75% da capacidade de armazenamento da bacia, enquanto os reservatórios a montante representam apenas 25%, ou seja, os reservatórios de maior importância da bacia acumulam em média $\frac{3}{4}$ da água disponível.

Alguns reservatórios apresentaram comportamento destoante dos demais, uma vez que eles foram projetados com intuito diferente de captação da água escoada pela bacia para sua disponibilização, como por exemplo com o objetivo de reservatório de passagem

Observou-se ainda que em pequenas bacias, a capacidade de acúmulo dos reservatórios principais tende a ser maior do que a dos reservatórios a montante, enquanto em grandes bacias ocorre o contrário, com maior acúmulo nos reservatórios a montante. Esses resultados sublinham a influência da escala e do propósito dos reservatórios na dinâmica de armazenamento de água, indicando que a gestão de recursos hídricos deve considerar essas variações para otimizar a disponibilidade hídrica nas bacias analisadas.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C.; MARTINZ, D. D. G. et al. Contribuições ao debate sobre as eficiências de pequenos e grandes reservatórios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 31-38, 2003.

KROL, S.M.; ET AL. Sustainability of small reservoirs and large-scale water availability under current conditions and climate change. **Water Resources Management**. [25](#), 3017–3026, 2011.

MALVEIRA, V.T.C.; DE ARAÚJO, J.C.; AND GÜNTNER, A. Hydrological impact of a high-density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil. **Journal of Hydrologic Engineering**, [17](#) (1), 109–117, 2012.

NASCIMENTO, A. T. P.; CAVALCANTI, N. H. M.; CASTRO, B. P. L. et al. Decentralized water supply by reservoir network reduces power demand for water distribution in a semi-arid basin, **Hydrological Sciences Journal**, 64:1, 80-91, 2019.

PEKEL, J. F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A. S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**. 540, 418-422, 2016.

PEREIRA, B.; MEDEIROS, P. H. A.; FRANCKE, T. et al. Assessment of the geometry and volumes of small surface water reservoirs by remote sensing in a semi-arid region with high reservoir density. **Hydrological Sciences Journal**. 64:1, 66-79, 2009.

SINGH, V. P. **Computer models of watershed hydrology**. Department of Civil and Environmental Engineering. Louisiana State University. Baton Rouge, LA 70803-6405, U.S.A. Cover Designed by Water Resources Publications. ISBN Number -0-918334-91-8. U.S. Library of Congress Catalog Card Number - 94-61748, 1995.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. USGS EROS Archive -Digital Elevation -Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects>. Acesso em: 7 nov. 2023.