

## **IMPACTO DA EVAPORAÇÃO NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO RESERVATÓRIO FOGAREIRO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA ABORDAGEM COM O MODELO VYELAS**

**JOSIANA DO NASCIMENTO ALVES FEITOSA<sup>1</sup>; JOYCE SHANTALA FERNANDES DE OLIVEIRA SOUSA<sup>2</sup>; TOMAZ ALEXANDRE DA SILVA NETO<sup>3</sup>; GABRIELA DOMINGOS LIMA<sup>4</sup> E JOSÉ BRENNO CARNEIRO DE LIMA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFC, Campus do Pici, Av. Mister Hull, s/n, Pici, CEP 60455-760, Fortaleza, CE, Brasil, josinascimento1997@gmail.com; ORCID (<https://orcid.org/0009-0005-7695-2280>).

<sup>2</sup>Departamento de Pós-Graduação em Geologia, UFC, Campus do Pici, (86) 9 9591-8111, Av. Mister Hull, s/n, Pici, CEP 60455-760, Fortaleza, CE, Brasil, joyceshantala@gmail.com; ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-7833-2748>).

<sup>3</sup>Departamento de Pós-Graduação em Geologia, UFC, Campus do Pici, (86) 9 9591-8111, Av. Mister Hull, s/n, Pici, CEP 60455-760, Fortaleza, CE, Brasil, tomaz.neto@alu.ufc.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-2779-4248>).

<sup>4</sup>Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFC, Campus do Pici, Av. Mister Hull, s/n, Pici, CEP 60455-760, Fortaleza, CE, Brasil, gabrieladomingos@alu.ufc.br, ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9981-7226>).

<sup>5</sup> Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFC, Campus do Pici, Av. Mister Hull, s/n, Pici, CEP 60455-760, Fortaleza, CE, Brasil, jbcarneiro@alu.ufc.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-5895-7356>).

### **1 RESUMO**

As mudanças climáticas e o uso desordenado do solo afetam os recursos hídricos no semiárido, e as simulações são cruciais para prever o impacto na disponibilidade de água em açudes. Nesse sentido, o objetivo do estudo foi avaliar o impacto da evaporação na disponibilidade hídrica do açude Fogareiro em cenário de mudança climática utilizando o modelo VYELAS. O *output* do modelo forneceu vazões regularizadas como  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{98}$ , que para o cenário atual foram iguais a  $23,12 \text{ hm}^3.\text{ano}^{-1}$ ,  $19,56 \text{ hm}^3.\text{ano}^{-1}$  e  $16,84 \text{ hm}^3.\text{ano}^{-1}$ , respectivamente, enquanto que o cenário futuro apresentou uma redução de 0,67% a 4,11% nas vazões de garantia em função do acréscimo de 4% na evaporação média do período seco. Esse cenário mostrou que o incremento na taxa de evaporação acarretaria na redução do abastecimento de água de aproximadamente  $5.379 \text{ habitantes.ano}^{-1}$  e na diminuição da irrigação de cerca de 34 hectares de milho. $\text{ano}^{-1}$ . Conclui-se que as mudanças climáticas, refletidas no aumento da evaporação, têm um impacto direto e significativo na disponibilidade hídrica do açude Fogareiro.

**Palavras-chave:** balanço hídrico, semiárido, gestão hídrica

**FEITOSA, J. N. A.; SOUSA, J. S. F. O.; SILVA NETO, T. A.; LIMA, G. D.; LIMA, J. B. C.**

**ANALYSIS OF INCREASED EVAPORATION ON WATER AVAILABILITY IN THE FOGAREIRO RESERVOIR, CEARÁ**

## 2 ABSTRACT

Climate change and unregulated land use impact water resources in semiarid regions, making simulations crucial for predicting their effects on water availability in reservoirs. In this context, the present study aimed to assess the impact of evaporation on the water availability of the Fogareiro Reservoir under a climate change scenario via the VYELAS model. The model output provided regulated flow rates, such as  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$ , and  $Q_{98}$ , which, for the current scenario, were  $23.12 \text{ hm}^3.\text{year}^{-1}$ ,  $19.56 \text{ hm}^3.\text{year}^{-1}$ , and  $16.84 \text{ hm}^3.\text{year}^{-1}$ , respectively. In contrast, the future scenario indicated a 0.67% to 4.11% reduction in guaranteed flows due to a 4% increase in average evaporation during the dry period. This scenario demonstrated that an increase in evaporation rates would lead to a decrease in the water supply for approximately 5,379 inhabitants per year and a reduction in the irrigation capacity of approximately 34 hectares of maize per year. It is concluded that climate change, reflected in increased evaporation rates, has a direct and significant effect on the water availability of the Fogareiro Reservoir.

**Keywords:** VYELAS, evaporation, water balance

## 3 INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas e o uso desordenado do solo no semiárido brasileiro impactam diretamente a qualidade da água, as variações de escoamento e a evapotranspiração, levando a inundações repentinas frequentes e elevação do nível do mar, exigindo estratégias de gestão e mitigação dos recursos hídricos (Abbas; Zhao; Wang, 2022; Nascimento; Borges; Melo, 2023).

Nessa perspectiva, a realização de simulações é vista como um estudo fundamental para avaliar o impacto das mudanças climáticas na disponibilidade de água em açudes, pois possibilitam prever o comportamento futuro dos sistemas hídricos em diferentes cenários, como aumento da temperatura e alterações no regime pluviométrico (Gil *et al.*, 2020; IPCC, 2021; Nascimento; Borges; Melo, 2023). Essa avaliação sob a perspectiva de disponibilidade hídrica é particularmente importante na região semiárida brasileira, onde o suprimento de água depende diretamente dos reservatórios (Rodrigues *et al.*, 2024) que, já estão sujeitos a perda de qualidade e quantidade de água por

assoreamento (Araújo *et al.*, 2023; Medeiros; Sivapalan, 2020).

Estudos realizados na região nordeste do Brasil indicam que não há uma tendência temporal clara sobre os valores de evaporação, há detecção tanto de aumento quanto de redução (Rodrigues *et al.*, 2021). Isso sugere que as particularidades locais desempenham um papel determinante nesse comportamento.

O cenário se torna ainda mais desafiador quando incorporamos as incertezas das mudanças climáticas, visto que os modelos de circulação global não apresentam consenso sobre o prognóstico de tendências (Rodrigues *et al.*, 2024).

Nesse contexto, o presente estudo objetiva avaliar o impacto da evaporação na disponibilidade hídrica do açude Fogareiro, Ceará, frente das mudanças climáticas (aumento da taxa de evaporação) através do modelo VYELAS.

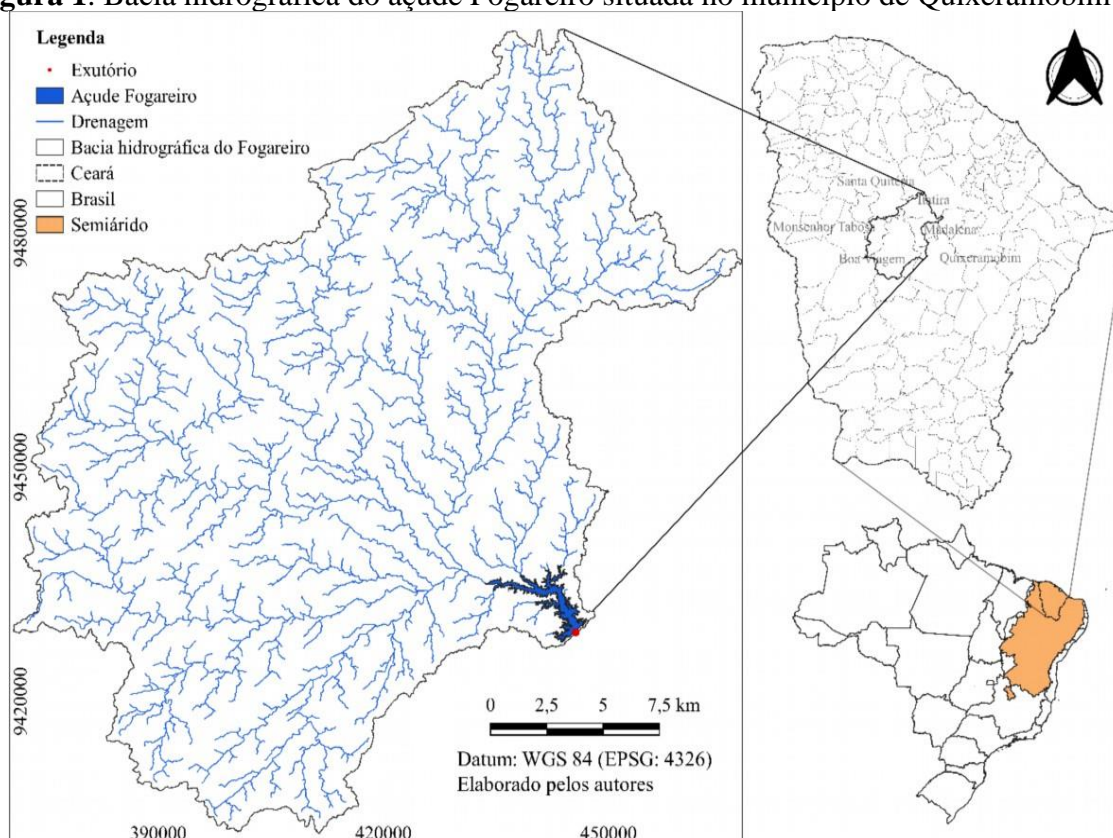
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Reservatório Fogareiro, reservatório estratégico, monitorado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará

(COGERH), que integra o sistema do Banabuiú e está situado no município de Quixeramobim (Figura 1), que apresenta clima tropical quente semiárido, com pluviosidade média anual na ordem de 700 mm e temperaturas médias variando de 26° a 28°C com chuvas concentradas entre os meses de fevereiro a abril (Governo do Estado do Ceará, 2017). Conforme Fundação Cearense de Meteorologia e

Recursos Hídricos (FUNCEME, 2024), o reservatório possui uma bacia hidrográfica de aproximadamente 5 mil km<sup>2</sup> e capacidade de 118 hm<sup>3</sup> (COGERH, 2024). Os principais usos do reservatório são destinados ao abastecimento humano (0,35 L.s<sup>-1</sup>) e à irrigação (0,29 L.s<sup>-1</sup>), conforme apresentado no documento de Diagnóstico da Região do Banabuiú.

**Figura 1.** Bacia hidrográfica do açude Fogareiro situada no município de Quixeramobim (CE)



Para o cálculo da disponibilidade hídrica utilizou-se o modelo Volume-Yield Elasticity - VYELAS (Araújo; Güntner; Bronstert, 2006), que calcula o balanço hídrico em passo anual com base nas seguintes variáveis: vazão afluente média anual; coeficiente de variação do deflúvio afluente (Equação 1); coeficiente de forma do reservatório (Equação 2); evaporação no período seco (calculada pelo método de Penman); capacidade de armazenamento (máxima capacidade do reservatório);

volume mínimo operacional (considerado 10% da capacidade máxima do reservatório); volume no início da simulação (considerado a média do volume dos 5 primeiros anos estudados); valores máximo (considerou-se igual a vazão afluente média anual) e mínimo (o menor valor possível) de vazões regularizáveis simuladas; número de vazões regularizáveis simuladas e número de simulações do procedimento estocástico.

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{V}{h^3} \quad (2)$$

Em que:  $C_v$  – coeficiente de variação do deflúvio afluente;  $S$  – desvio padrão dos volumes afluentes ( $\text{hm}^3$ );  $\bar{x}$  – média dos volumes afluentes ( $\text{hm}^3$ );  $\alpha$  – coeficiente de forma do reservatório (adimensional);  $V$  – volume do reservatório ( $\text{m}^3$ );  $h$  – cota do reservatório medida a partir do fundo (m).

Para o cenário base utilizou-se os dados de vazões e volumes do reservatório obtidos na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME. 2024), para os anos de 2004 a 2024, enquanto a evaporação foi calculada pelo método de Penman (1948) utilizando dados da Estação de Quixeramobim para os últimos 10 anos com dados. Para o cenário simulado (perspectiva de aumento de evaporação) foram utilizados os mesmos dados de entrada, exceto a evaporação no período seco (junho-dezembro), considerada 4% a mais do que o observado. Definiu-se essa porcentagem com base nos estudos de Fernandes *et al.* (2017), que avaliaram as implicações das mudanças climáticas na disponibilidade de água de grandes

reservatórios do semiárido para a metade e final do século XXI.

Os cenários foram comparados por meio das vazões de regularização para diferentes garantias ( $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{98}$ ), visto que são as vazões de referência estabelecidas na Resolução CONERH n°08/2022 (Teixeira; Campelo, 2022) para o estado do Ceará.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados de precipitação e evaporação no período seco (Tabela 1) revelou uma significativa variabilidade interanual ao longo dos 10 anos avaliados (2008-2016 e 2019). A precipitação anual variou entre 270,2 mm (2012) e 1.107,5 mm (2009), evidenciando a irregularidade do regime pluviométrico característico de regiões semiáridas. No que se refere à evaporação, os valores oscilaram entre 1.404,94  $\text{mm.ano}^{-1}$  (2011) e 1.578,81  $\text{mm.ano}^{-1}$  (2012), com uma média de 1.495,58  $\text{mm.ano}^{-1}$  ao longo do período analisado. O aumento da evaporação em anos de menor precipitação sugere um efeito amplificado da seca sobre a disponibilidade hídrica do reservatório, o que pode comprometer significativamente as vazões regularizadas.

**Tabela 1.** Precipitação total anual e evaporação no período seco (2008 a 2019)

Ano	P(mm)	E(mm.ano <sup>-1</sup> )	Ano	P(mm)	E(mm.ano <sup>-1</sup> )
2008	723,3	1.558,16	2013	682,7	1.464,70
2009	1.107,5	1.450,90	2014	401,6	1.505,67
2010	706,4	1.503,83	2015	421,7	1.541,76
2011	1021,8	1.404,94	2016	394,6	1.493,19
2012	270,2	1.578,81	2019	664,9	1.453,80

O estudo de Rodrigues *et al.* (2021) destaca que a evaporação é um fator crítico na gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil. Os autores apontam que a evaporação pode representar uma perda significativa nos balanços hídricos de reservatórios,

especialmente em cenários de mudanças climáticas que tendem a intensificar esse processo. A análise da Tabela 1 corrobora essa preocupação, mostrando que, mesmo em anos com precipitação elevada, as altas taxas de evaporação podem reduzir substancialmente a disponibilidade hídrica.

A redução da disponibilidade hídrica não se restringe ao semiárido brasileiro. Gonzalez *et al.* (2023), ao analisarem os impactos das mudanças climáticas em uma bacia localizada no estado de São Paulo, observaram que os parâmetros meteorológicos influenciam significativamente a oferta de água. Os resultados destacam a necessidade de estratégias de adaptação e planejamento integrado para assegurar a sustentabilidade hídrica na região.

Estes resultados corroboram a necessidade de estratégias de gestão hídrica adaptativas, considerando não apenas a variabilidade da precipitação, mas também a intensificação da evaporação em cenários de mudanças climáticas. Rodrigues *et al.* (2024), analisando os efeitos potenciais das mudanças climáticas nos recursos hídricos do nordeste do Brasil, projetam que, até o final do século, as taxas de evaporação durante a estação seca podem aumentar entre 2% e 6% em alguns cenários, enquanto em outros podem diminuir em 2%. Essas variações podem resultar em uma redução de

até 80% na capacidade dos reservatórios de fornecer água com alta confiabilidade. Observando que o reservatório Fogareiro já enfrenta desafios significativos devido à alta variabilidade na precipitação anual e às elevadas taxas de evaporação, as projeções de Rodrigues *et al.* (2024) sugerem que esses desafios podem se intensificar no futuro, especialmente se as taxas de evaporação aumentarem conforme previsto em alguns cenários. Isso poderia comprometer ainda mais a disponibilidade hídrica do reservatório, afetando o abastecimento de água na região.

A Tabela 2 apresenta os dados de entrada (*input*) para o modelo VYELAS, cuja a vazão afluente média, obtida a partir da série histórica (2004-2024), correspondeu a  $47,78 \text{ hm}^3.\text{ano}^{-1}$  com um coeficiente de variação de 93% e parâmetro  $\alpha$  de 5565. Esses valores produziram como *output* as vazões de regularização para diferentes garantias, sendo a  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{98}$  iguais a  $23,12 \text{ hm}^3.\text{ano}^{-1}$ ,  $19,56 \text{ hm}^3.\text{ano}^{-1}$  e  $16,84 \text{ hm}^3.\text{ano}^{-1}$ , respectivamente.

**Tabela 2.** Dados de entrada do reservatório Fogareiro para o modelo VYELAS

<b>Dados de entrada (<i>Input</i>)</b>	
Vazão afluente média anual ( $\text{hm}^3.\text{ano}^{-1}$ )	47,78
Coeficiente de variação do deflúvio afluente ( $C_v$ )	0,93
Coeficiente de forma do reservatório ( $\alpha$ )	5565
Evaporação no período seco ( $\text{m}.\text{ano}^{-1}$ )	1,5
Capacidade de armazenamento ( $\text{hm}^3$ )	118
Volume mínimo operacional ( $\text{hm}^3$ )	11,8
Volume no início da simulação ( $\text{hm}^3$ )	81,03
Número de vazões regularizáveis simuladas	100
Rendimento mínimo de vazões regularizáveis simuladas ( $\text{hm}^3.\text{ano}^{-1}$ )	8,0
Rendimento máximo de vazões regularizáveis simuladas ( $\text{hm}^3.\text{ano}^{-1}$ )	47,78
Número de simulações do procedimento estocástico	10.000

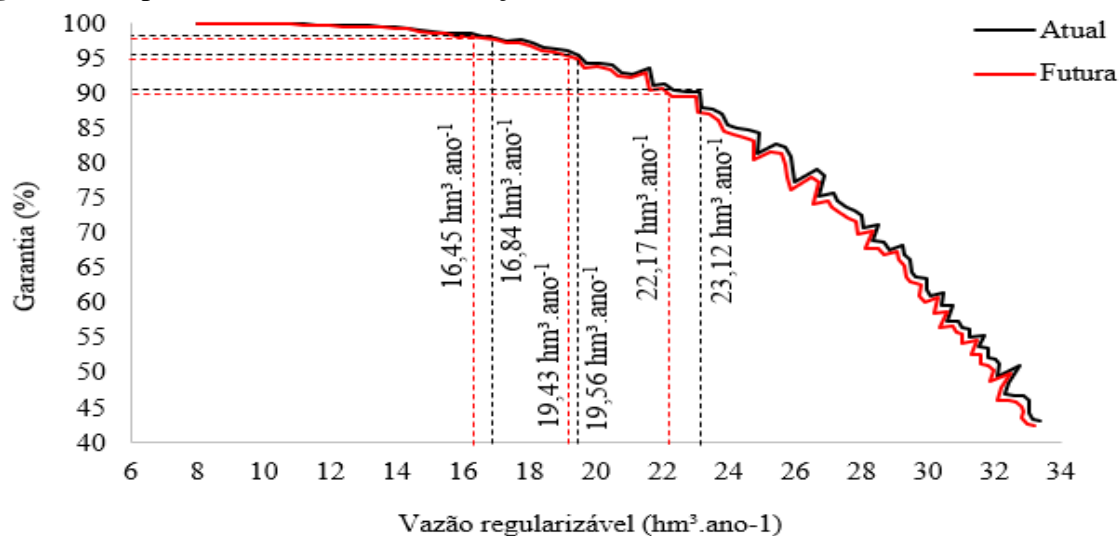
Para a análise dos impactos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica, utilizou-se os mesmos dados de entrada, exceto a evaporação no período seco que correspondeu a  $1,56 \text{ m}.\text{ano}^{-1}$  (aumento de 4%). Essa elevação implicou na redução de 0,67% a 4,11% das vazões de

regularização, sendo a  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{98}$  iguais a  $22,17 \text{ hm}^3.\text{ano}^{-1}$ ,  $19,43 \text{ hm}^3.\text{ano}^{-1}$  e  $16,45 \text{ hm}^3.\text{ano}^{-1}$ , respectivamente. A Figura 2 mostra graficamente a redução da disponibilidade de água, em que se pode notar que para maiores garantias a variação na disponibilidade de água entre os cenários

é menor, sendo mais pronunciada em menores garantias. Isso indica que a influência da evaporação é mais significativa

em contextos de baixa confiabilidade hídrica (Rodrigues, 2023).

**Figura 2.** Disponibilidade hídrica em função do nível de confiabilidade anual do reservatório.



As curvas representam uma taxa de evaporação para a média dos últimos 10 anos e para um futuro de mudanças climáticas da metade para o final do século XXI

Considerando que a  $Q_{98}$  é a vazão de alta garantia, que comumente está associada ao abastecimento humano, os resultados indicam que caso esse cenário se concretize, haverá uma redução no suprimento de água suficiente para abastecer aproximadamente 5.379 habitantes. $\text{ano}^{-1}$ , considerando um consumo per capita de 200 L.habitantes.dia $^{-1}$ .

O cenário torna-se mais complexo quando falamos da agricultura irrigada, uma vez que a  $Q_{80}$  está relacionada à irrigação de culturas agrícolas. Dessa forma, o incremento na taxa de evaporação acarretaria na redução de 34 hectares de milho. $\text{ano}^{-1}$ , considerando que a cultura necessita de 600 mm. $\text{ano}^{-1}$  (Pegorare *et al.* 2009). Esse decréscimo na área irrigada pode comprometer a oferta de alimento à população.

A perda de água por evaporação em reservatórios é um fenômeno comum em ambientes semiáridos (Medeiros; Sivapalan, 2020), tornando necessárias medidas de manejo eficiente dos recursos hídricos para minimizar as perdas e aumentar a

confiabilidade dos reservatórios (Brasil; Medeiros, 2020).

É importante evidenciar que a evaporação no período seco igual a 1,5 m. $\text{ano}^{-1}$  pode ser um valor superestimando, uma vez que o método utilizado foi o de Penman (Feitosa; Araújo; Barros, 2021). Apesar disso, é a metodologia mais utilizada e confiável na estimativa de evaporação em reservatórios (Althoff; Rodrigues; Silva, 2019; Vieira *et al.*, 2016).

Por fim, destaca-se que a redução da disponibilidade hídrica do açude Fogareiro pode ser maior que 4,11% ao se considerar o assoreamento. Esse fenômeno tem se intensificado pelos processos de uso do solo, que contribuem para degradar esse recurso e aumentar a produção de sedimentos (Duraes; Mello; Beskow, 2016; Feitosa; Araújo, 2016), os quais são depositados em reservatórios, resultando em uma diminuição da oferta de água (Araújo, 2003; Araújo; Landwehr; Alencar, 2023; Gil; Araújo; Montenegro, 2020). Essa situação representa um paradoxo em relação ao principal objetivo dos reservatórios, que é

garantir o abastecimento hídrico (Medeiros; Sivapalan, 2020).

## 6 CONCLUSÕES

Conclui-se que as mudanças climáticas, refletidas no aumento da evaporação, têm um impacto direto e significativo na disponibilidade hídrica do açude Fogareiro. A análise com o modelo VYELAS revelou que uma elevação de 4% na taxa de evaporação durante o período seco resulta em uma diminuição nas vazões de regularização ( $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{98}$ ) de até 4,11%, comprometendo a oferta de água.

Esse cenário ressalta a necessidade de medidas de adaptação e gestão sustentável dos recursos hídricos para mitigar os efeitos da variabilidade climática, especialmente em regiões onde a dependência de açudes é fundamental para o abastecimento e atividades econômicas locais. Assim, é necessário que toda a sociedade (poder público, pesquisadores e comunidades locais) trabalhe de forma conjunta na formulação de medidas mitigadoras. Para garantir a segurança hídrica da região é importante a diversificação das fontes de abastecimento, o monitoramento dos níveis de água e o uso consciente dos recursos disponíveis.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo de Pesquisa Hidrossedimentológica do Semiárido (HIDROSED) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará pela estrutura fornecida para a realização deste trabalho, além da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## 8 REFERÊNCIAS

- ABBAS, M.; ZHAO, L.; WANG, Y. Perspective Impact on Water Environment and Hydrological Regime Owing to Climate Change: A Review. **Hydrology**, Basileia, v. 9, n. 11, p. 1-22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology9110203>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5338/9/11/203>. Acesso em: 2 fev. 2025.
- ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Evaluating Evaporation Methods for Estimating Small Reservoir Water Surface Evaporation in the Brazilian Savannah. **Water**, Basileia, v. 11, n. 9, p. 1-17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11091942>. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1113607/1/LINEUEvaluatingevaporationmethodsforestimating.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2025.
- ARAÚJO, J. C. Assoreamento em reservatórios do semi-árido: modelagem e validação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 39-56, 2003. Disponível em: [https://abrbrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/36/9210142588c4088d166ac2ec5306e7c3\\_c192853e58309dba434a41918b6b205b.pdf](https://abrbrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/36/9210142588c4088d166ac2ec5306e7c3_c192853e58309dba434a41918b6b205b.pdf). Acesso em: 26 nov. 2024.
- ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. "Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil". **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 51, n. 1, p. 157-170, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1623/hysj.51.1.157>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1623/hysj.51.1.157?needAccess=true>. Acesso em: 29 nov. 2024.

- ARAÚJO, J. C.; LANDWEHR, T.; ALENCAR, P. H. L.; PAULINO, W. D. Water Management causes increment of reservoir silting and reduction of water yield in the semiarid State of Ceará, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 121, article 104102, p. 1-10, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104102>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981122003881?via%3Dihub#section-cited-by>. Acesso em: 24 nov. 2024.
- BRASIL, P.; MEDEIROS, P. NeStRes—model for operation of Non-Strategic Reservoirs for irrigation in drylands: model description and application to a semiarid basin. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 34, n. 1, p. 195-210, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02438-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-019-02438-x>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- DURAES, M. F.; MELLO, C. R.; BESKOW, S. Sediment yield in Paraopeba river basin – MG, Brazil. **International Journal of River Basin Management**, Londres, v. 14, n. 4, p. 367-377, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/15715124.2016.1159571>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15715124.2016.1159571>. Acesso em: 1 dez. 2024.
- FEITOSA, G. P.; ARAÚJO, J. C.; BARROS, M. U. G. Different methods for measuring evaporation in a tropical reservoir: the case of the Gavião reservoir in the state of Ceará. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 34, n. 2, p. 410-421, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n217rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/bhSn3WgFvskXv6CDKXbqh7f/?lang=en>. Acesso em: 26 nov. 2024.
- FEITOSA, L. S.; ARAÚJO, J. C. Water- and sediment-yield Assessment in an area of degraded Caatinga. **Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 10, n. 1, p. 85-95, 2016.
- FERNANDES, R. O.; STUDART, T. M. C.; LIMA, M. C. G.; SILVA, F. D. Implicações das mudanças climáticas na disponibilidade de água de grandes reservatórios do semiárido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017. p. 1-8.
- FUNCEME. **Portal Hidrológico do Ceará**. Volume Armazenado – Reservatórios. Fortaleza: FUNCEME, 2024. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/>. Acesso em: 27 out. 2024.
- GIL, M. M. L.; ARAÚJO, J. C.; MONTENEGRO, S.; LIMA, M. G., VALENÇA, J.; SOBREIRA, M. D. M. Increase in water-scarcity risk in a brazilian dry-region reservoir. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 4, p. 1025-1036, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n418rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/KXNzZdpbDnbDb7SXCX84Rmm/?lang=en>. Acesso em: 26 nov. 2024.
- GONZALEZ, A. M. O.; SAAD, J. C. C.; ROMÁN, R. M. S. Sustentabilidade dos recursos hídricos na bacia do alto Paranapanema-SP: um enfoque de dinâmica de sistemas. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 4, p. 602-613, 2023. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2023v28n4p602-613>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4561/3621>. Acesso em: 02 fev. 2025.



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ.  
**Perfil Municipal 2017 Quixeramobim.**

Cidade: Editora, 2017. Disponível em:  
<https://acervo.fortaleza.ce.gov.br/download-file/documentById?id=e23cc919-a75d-4443-9c0f-7e2ca8c2df8c>. Acesso em: 02 fev. 2025.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis.** Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

MEDEIROS, P.; SIVAPALAN, M. From hard-path to soft-path solutions: slow-fast dynamics of human adaptation to droughts in a water scarce environment.

**Hydrological Sciences Journal**, Londres, v. 65, n. 11, p. 1803-1814, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1770258>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2020.1770258>. Acesso em: 4 fev. 2025.

NASCIMENTO, R.; BORGES, V.; MELO, D. Implications of climate change on water availability in a seasonally dry tropical forest in the Northeast of Brazil. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 70, n. 3, p. 1-11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370030001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/nccMwtYvjv3YSgNbRb8FqMN/?lang=en>. Acesso em: 1 dez. 2024.

PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 262-271, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/zy9jJydJKjtWqhLgMVRgW6K/?lang=pt>. Acesso em: 4 fev. 2025.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **The Royal Society**, Londres, v. 193, n. 1032, p. 120-145, 1948. Disponível em: <http://soilphysics.okstate.edu/teaching/soil-6583/references-folder/penman%201948.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2024.

RODRIGUES, G. P. **Evaporative losses in a dry tropical region: direct measurements, remote sensing assessment and impact of climate change on water availability in Ceará, Brazil.** 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

RODRIGUES, G. P.; BROSINSKY, A.; RODRIGUES, Í. S.; MAMEDE, G. L.; ARAÚJO, J. C. Impact of reservoir evaporation on future water availability in north-eastern Brazil: a multi-scenario assessment. **Hydrology and Earth System Sciences**. Göttingen, v. 28, n. 14, p. 3243-3260, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-28-3243-2024>. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/28/3243/2024/>. Acesso em: 5 fev. 2025.

RODRIGUES, I. S.; COSTA, C. A. G.; LIMA NETO, I. E.; HOPKINSON, C. Trends of evaporation in Brazilian tropical reservoirs using remote sensing. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 598, article 126473, p. 1-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126473>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169421005205?via%3Dihub>. Acesso em: 4 fev. 2025.

TEIXEIRA, F. J. C.; CAMPELO, C. M. J. **Resolução CONERH n°08/2022.** Dispõe sobre as vazões regularizadas de referência dos reservatórios monitorados pela COGERH. Fortaleza: CONERH, 2022.

Disponível em:

<https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2023/01/4-RESOLUCAO-CONERH-08-2022-DE-16-DEZEMBRO-DE-2022.-DISPOE-SOBRE-AS-VAZOES-REGULARIZADAS-DE-REFERENCIA-DOS-RESERVATORIOS-MONITORADOS-PELA-COGERH.pdf>.

Acesso em: 27 out. 2024.

VIEIRA, N. P. A.; PEREIRA, S. B.; MARTINEZ, M. A.; SILVA, D. D.;

SILVA, F. B. Estimativa da evaporação nos reservatórios de Sobradinho e Três Marias usando diferentes modelos. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Ribeirão Preto, v. 36, n. 3, p. 433-448, 2016. DOI:

<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p433-448/2016>.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/eagri/a/p44hFcSSDqs35vckjmW8pBs/?lang=pt>. Acesso em: 29 nov. 2024.