AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA MODELADA DO RESERVATÓRIO EDSON QUEIROZ, NO CEARÁ COM DIFENTES CORRELAÇÕES DE ENTRADA

Gabriel Carvalho Mesquita [1]; Janine Brandão de Farias Mesquita[2]; Daniel Antônio Camelo Cid[3]; & Iran Eduardo Lima Neto[4]

RESUMO – A temperatura da água de entrada do reservatório é um parâmetro essencial na modelagem hidrodinâmica, influenciando diretamente a dinâmica física, química e biológica do corpo hídrico. Este estudo avaliou o comportamento térmico do reservatório Edson Queiroz, no estado do Ceará, por meio da aplicação do modelo bidimensional CE-QUAL-W2. Foram comparadas duas equações para estimar a temperatura de entrada dos afluentes através da temperatura do ar: a correlação clássica de Stefan et al. (1993), desenvolvida para lagos de clima temperado, e uma correlação empírica local, ajustada com base em medições *in loco*. Os resultados demonstraram que a correlação local apresentou melhor desempenho, com menor erro médio de 0,93 ºC e maior proximidade da temperatura medida que foi 28,67 ºC em relação à correlação clássica o erro médio foi de 1,39 ºC. A adoção de correlações adaptadas às condições regionais é essencial para melhorar a precisão das simulações térmicas, contribuindo para o monitoramento e a gestão eficiente dos recursos hídricos em regiões semiáridas.

ABSTRACT – The inflow water temperature of a reservoir is an essential parameter in hydrodynamic modeling, directly influencing the physical, chemical, and biological dynamics of the water body. This study evaluated the thermal behavior of the Edson Queiroz reservoir, located in the state of Ceará, through the application of the two-dimensional CE-QUAL-W2 model. Two equations were compared to estimate the inflow temperature based on air temperature: the classical correlation by Stefan et al. (1993), developed for temperate-climate lakes, and a local empirical correlation, calibrated based on in situ measurements. The results showed that the local correlation performed better, with a lower mean error of 0.93 ºC and closer approximation to the measured temperature of 28.67 ºC, whereas the classical correlation presented a mean error of 1.39 ºC. The adoption of correlations adapted to regional conditions is essential to improve the accuracy of thermal simulations, contributing to the monitoring and efficient management of water resources in semi-arid regions.

Palavras-Chave – Modelagem hidrodinâmica; CE-QUAL-W2; equações empíricas.

1) Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Bloco 713. Email: gabrielmesquita@alu.ufc.br
2) Universidade Federal do Ceará (UFC), campus Crateús: Rua Professora Machadinha Lima, SN, Crateús, Ceará. Email: janine@crateus.ufc.br
3) Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), Av. Rui Barbosa, 1246, Aldeota, Fortaleza, Ceará. Email: daniel.cid@funceme.br
4) Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Bloco 713. Email: iran@deha.ufc.br

1 INTRODUÇÃO

A temperatura é um dos parâmetros chaves para avaliação hidrodinâmica, pois através dela se determina possessos físicos, químicos e biológicos do ambiente aquático e dos ecossistemas (Silva, 2023). Com a intensificação das mudanças climáticas, uma analise mais detalhada é capaz de avaliar e compreender melhor as condições hidráulicas e meteorológicas que impactam a temperatura dos rios, o que é fundamental para uma modelagem de qualidade da água e gestão mais eficientes (Graf, et. al., 2019)

Esse tipo de análise ganha mais relevância diante da intensificação das mudanças climáticas, que intensificam problemas nas regiões áridas e semiáridas de graves escassez de água doce, em decorrência da má distribuição no tempo e no espaço. As precipitações no semiárido nordestino se concentram de janeiro a maio, ocasionando um contraste, uma vez que o período seco se concentra de julho a dezembro (Mesquita et al, 2020). Esse padrão de sazonalidade afeta diretamente, a estratificação térmica que pode ocorrer tanto no período seco quanto no chuvoso, dependendo das condições hidrodinâmicas e meteorológicas locais (Rocha et al., 2024).

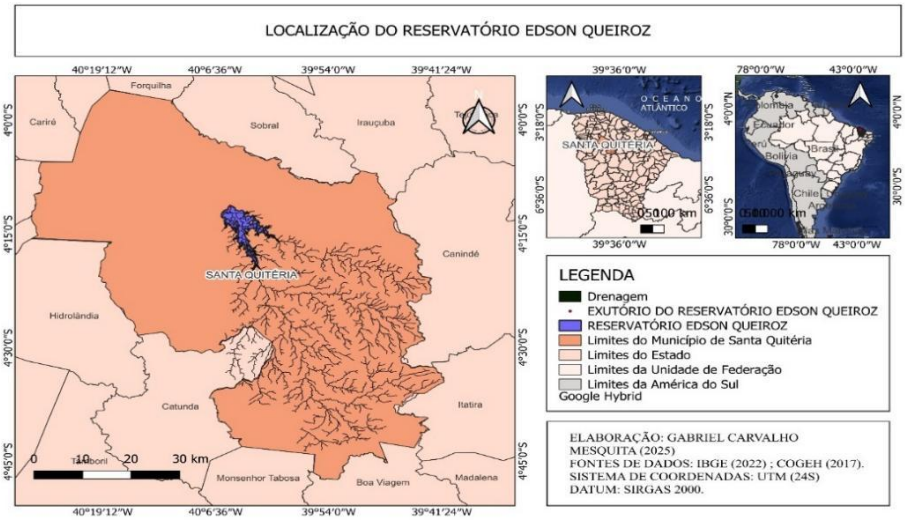
Em alguns reservatórios como o Castanhão, observou-se uma estratificação térmica mais persistente durante o período chuvosos, estando associada à entrada de águas quente no reservatório e a maior estabilidade da coluna d´água, enquanto que no período seco predomina ciclos diários de estratificação e desestratificação induzidos por vento e radiação solar (Rocha et. al., 2020; Mesquita e Lima Neto, 2021).

Segundo Rocha, Mesquita & Lima Neto (2020), reservatórios localizados no semiárido e com grande capacidade, apresentam níveis de contaminação menores comparado com reservatórios urbanos, definindo o meio como fator influenciador dos parâmetros de qualidade da água. Para o monitoramento podem ser utilizados os modelos de qualidade da água que são ferramentas que retratam as ações físicas que ocorrem nos reservatórios, rios, lagos e canais. Eles auxiliam no monitoramento e controle, desempenhando excelentes resultados na elaboração de prognósticos e diagnósticos de qualidade da água e auxiliando nas tomadas de decisões de gestão para manutenção e preservação desses reservatórios (Rocha et al., 2020, Mesquita e Lima Neto, 2021). Portanto, o presente trabalho busca atender a necessidade de compreender o comportamento hidrodinâmico do reservatório Edson Queiroz, localizado no estado do Ceará, considerando sua importância para o abastecimento hídrico. Por meio da aplicação do modelo CE-QUAL-W2. Foram comparadas duas abordagens de estimativa da temperatura de entrada do reservatório: uma com base na correlação clássica de Stefan et al. (1993), e outra com uma correlação empírica local. A partir dessa comparação, buscou-se verificar qual das abordagens apresenta melhor desempenho para as condições regionais, contribuindo com informações técnicas que subsidiem a gestão eficiente dos recursos hídricos da região.

2 METODOLOGIA

O objeto do estudo é o reservatório Edson Queiroz, localizado na bacia hidrográfica do Acaraú que se encontra no noroeste do Ceará, limitando-se a oeste com a bacia do Coreaú, a sudoeste com a bacia da Ibiapaba e Crateús a leste com a do Litoral e sudeste com a bacia do Curu conforme a Figura 1.

Figura **1** – Mapa de localização do reservatório Edson Queiroz



Fonte: Autores, 2025.

O reservatório é fruto do barramento do rio Groaíras, localizado no município de Santa Quitéria, pertencente à região de planejamento do Sertões de Crateús, na Mesorregião do Noroeste Cearense e na Microrregião de Santa Quitéria, com as seguintes coordenadas geográficas Latitude(S): 4°19’55” e longitude (WGr): 40°09’24”, com uma distância em linha reta a capital de 198 Km (IPECE, 2017).

O CE-QUAL-W2 é um modelo hidrodinâmico bidimensional, longitudinal e vertical com média de largura. O modelo trabalha com as seguintes condições de contorno: entrada, saídas e a temperatura de entrada da água. Além disso, são levados em consideração variáveis meteorológicas como a umidade relativa do ar, ventos, temperatura, radiação solar líquidas de ondas curtas e cobertura de nuvens (Ji et al., 2022). Segundo Wells (2023), o modelo adota equações médias laterais do movimento do fluido, derivadas das equações tridimensionais.

Os dados necessários e o passo a passo desenvolvido pela FUNCEME requerido pelo CE-QUAL-W2 para geração dos dados sobre o reservatório são:

- Modelo Digital do Terreno, disponibilizado pela NASA através *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 metros disponível gratuitamente para download no site http://earthexplorer.usgs.gov ou através das imagens do satélite japonês ALOS o MDE ALOS-PALSAR com resolução de 30 metros disponível para download gratuitamente no site https://search.asf.alaska.edu/
- Batimetria do reservatório elaborada e fornecida pela COGERH, onde os dados fornecidos na batimetria são: cota do sangradouro (m), pontos coletados, densidade de pontos (pontos/km²), nível de água no dia da batimetria (m), diferença do nível de água para o sangradouro (m), profundidade máxima medida (m) e área da bacia hidráulica (km²) (Lima, 2021);
- Eixos do reservatório definido a partir do fluxo de drenagem do rio barrado, que pode ser obtido a partir do processamento do raster MDT no software QGIS, obtido gratuitamente no site https://qgis.org/ (Molinas et al., 2011);
- Determinação da geometria das seções em coordenadas cartesianas X e Y do reservatório poderão ser obtidas através do ambiente SIG (Molinas et al., 2011);
- Dados meteorológicos como velocidade e direção do vento, temperatura do ar, nebulosidade e temperatura do ponto de orvalho, que podem ser obtidas a partir das estações meteorológicas

do Instituto Nacional de Meteorologia e da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Mesquita, 2021);

Para avaliação da estratificação térmica foi inserida a batimetria do reservatório já revisada, adequada e dados meteorológicos que serviram para a modelagem dos parâmetros, sendo eles: temperatura do ar (ºC), temperatura do ponto do orvalho (ºC), velocidade do vento (ms^{-1}), direção do vento (graus), cobertura das nuvens (escala de 0 a 10), temperatura de entrada e saída (ºC) medida no terreno e as vazões de entrada e saída do lago (m^3s^{-1}) (Mesquita et al., 2020).

Para comparação da influência das correlações que calculam a temperatura de entrada do reservatório com base na temperatura do ar, foram feitas duas simulações a primeira com a correlação descrita por Stefan et. al. (1993):

$$T_w(t) = 5 + 0{,}75T_\alpha(t - \delta) \quad (1)$$

Onde o tempo t e o atraso de tempo estão em dias e as temperaturas em ºC.

A segunda com uma correlação empírica traçando os dados de temperatura medida e temperatura do ar, aferidas localmente e ao mesmo tempo:

$$T_w(t_{ar}) = 0{,}6863t_{ar} + 8{,}2157 \quad (2)$$

Para a calibração do modelo foram adotados os parâmetros dos estudos e simulações realizadas por Cid e Lima (2024) para o reservatório Edson Queiroz. A partir dos resultados obtidos de um total de 119 simulações, onde a temperatura foi a principal variável de interesse, escolheram os parâmetros, a = 9,3, b = 3, c = 2, shade = 0,84 e wsc = 0,96, como referência para calibração do CE-QUAL-W2 para este trabalho por se tratar do mesmo reservatório.

A seleção das quadrículas por segmentos e profundidades se deu com base no local e profundidade que realizaram a aferição da temperatura em campanhas.

3 RESULTADOS

Para avaliar o modelo, foi realizada a comparação entre as temperaturas medidas *in loco* e simuladas, conforme demonstra a quadro 1 e figura 2:

Quadro 1 – Comparação da temperatura medida com as temperaturas simuladas.

Dia	Cota	Temperatura Medida	Temperatura simulada - Correlação de Stefan	Temperatura simulada - Correlação Local
119	186	28.74	29.58	30.12
216	186	29.65	27.49	27.486
308	185	27.8	26.77	28.038
382	184	28.58	28.34	28.016
564	191	28.31	27.8	28.287
655	190	28.58	26.73	28.154
754	189	27.92	27.25	28.206
845	193	28.1	29.38	29.19
936	192	26.31	26.8	28.036

1028	191	27.8	26.87	28.173
1119	190	29.61	29.65	29.478
1210	194	30.58	29.99	29.196
1301	195	27.82	29.99	27.484
1392	194	29.88	26.75	27.072
1504	193	30.36	31.06	29.402
Média		28.67	28.30	28.42

Figura 2 – Comparação da temperatura medida com as temperaturas simuladas.



Fonte: Autores, 2025.

A temperatura média medida ao longo da série histórica foi de 28,67 ºC. Quando comparada às simulações, a correlação 1 Stefan et al., (1993), desenvolvida para lagos de clima temperado, produziu uma temperatura média simulada de 28,30 ºC, enquanto a correlação 2, resultou em uma média de 28,42 ºC. A diferença entre as médias das duas simulações foi de apenas 0,12 ºC.

O erro absoluto médio da correlação 2 foi de 0,93 ºC, inferior ao observado com a correlação 1, que apresentou um erro médio de 1,39 ºC. Isso indica que, embora ambas as correlações tenham apresentado médias próximas à temperatura medida, a dispersão dos erros individuais é menor na correlação 2 que é local.

4 CONCLUSÃO

A estimativa da temperatura de entrada dos afluentes é uma etapa essencial na modelagem hidrodinâmica com o CE-QUAL-W2, principalmente onde há escassez de medições diretas. Este estudo comparou o desempenho da correlação clássica de Stefan et al. (1993), desenvolvida para lagos temperados, com uma correlação ajustada especificamente para a região do reservatório Edson Queiroz.

Os resultados demonstraram que a correlação local apresentou desempenho superior em todos os critérios de avaliação. O erro absoluto médio da correlação local foi de 0,93 ºC, contra 1,39 ºC da correlação de Stefan. Da mesma forma, a média das temperaturas simuladas pela correlação local

28,42 ºC esteve mais próxima da temperatura medida 28,67 ºC do que a simulação da correlação temperada 28,30 ºC. Além disso, observou-se uma menor dispersão nas diferenças absolutas, indicando maior estabilidade na representação térmica ao longo do tempo.

Esses resultados reforçam a importância da adaptação de parâmetros empíricos à realidade regional para garantir maior precisão na modelagem. A utilização de correlações genéricas, embora comum, pode induzir a erros significativos nas simulações. Assim, recomenda-se fortemente a construção ou calibração de correlações locais sempre que possível, sobretudo quando as correlações são de regiões climáticas distintas como é o caso da correlação da temperatura do ar e da água para regiões temperadas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Brasil, Edital Chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 44/2024 - UNIVERSAL, processo nº404286/2025-9 e através do Projeto MMCQual (Chamada Universal CNPq - Processo No: 409204/2023-4). Agradecemos à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) pela concessão de dados de entrada do modelo CE-QUAL-W2 e à Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH) pela disponibilidade de dados de qualidade da água. Agradeço à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap) pela concessão da bolsa de mestrado, fundamental para a dedicação e conclusão desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

CID, Daniel Antônio Camelo; LIMA, Luciana Cesar Torres Melo. **Calibração do modelo hidrodinâmico CE-QUAL-W2 para o Reservatório Edson Queiroz.** XVII SRHNE - Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa. Paraíba.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil Municipal de Santa Quitéria 2017**. Fortaleza: IPECE, 2017.

SILVA, Carmen Gonçalves de Macedo e. Modelo para determinação da temperatura de água em rios. *Engineering & Technology Scientific Journal*, Salvador, v. 1, n. 1, p. e023008, 2023. DOI: 10.55977/etsjournal.v01i01.e023008.

GRAF, Wolfgang; KAUFMANN, Thomas; ZAMPOUKAS, Nikolaos. Effect of hydromorphological alterations on the ecological status of European rivers. *Journal of Environmental Management*, [S.l.], v. 247, p. 809–817, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.06.104.

JI, Qianfeng, et al. **Effect of Floating Photovoltaic System on Water Temperature of Deep Reservoir and Assessment of Its Potential Benefits, a Case on Xiangjiaba Reservoir with Hydropower Station.** Renewable Energy, vol. 195, Ago. 2022, pag. 946–956.

LIMA, Luciana Cesar Torres Melo. **Definição e implementação de estratégia para internalização da metodologia de modelagem da qualidade da água para reservatórios do Estado do Ceará**, 2021.

MESQUITA, J. B. F., LIMA NETO, I. E. RAABE, A. & ARAÚJO, J. C. **The influence of hydroclimatic conditions and water quality on evaporation rates of a tropical lake.** Journal of Hydrology, 590, 2020.

MESQUITA, Janine Brandão de Farias & LIMA NETO, Iran Eduardo. **Coupling Hydrological and Hydrodynamic Models for Assessing the Impact of Water Pollution on Lake Evaporation**. Sustainability, vol. 14, n. 20, 19 Out. 2022, p. 13465.

MESQUITA, Janine Brandão de Farias. **Relações entre hidroclimatologia, hidrodinâmica, qualidade da água e taxas de evaporação em um lago tropical urbano**. 2021. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2021.

MOLINAS, Ernesto. **Modelagem Numérica Bidimensional Da Hidrodinâmica E Qualidade Da Água Em Reservatório: Pré-Processador Para O Modelo CE-QUAL-W2 Aplicado Ao Reservatório Pereira de Miranda.** Rev. Tecnol. Fortaleza, V, vol. 32, no. 1, 2011, pp. 31–47.

ROCHA, M. A. M. et al. **Diel and seasonal mixing patterns and water quality dynamics in a multipurpose tropical semiarid reservoir**. Environmental Science and Pollution Research, v. 31, p. 43309–43322, 2024.

ROCHA, S. M. G.; LIMA NETO, I. E. **Modeling flow-related phosphorus inputs to tropical semiarid reservoirs.** Journal of Environmental Management, v. 295, p. 113123, 2021.

ROCHA. S. M. G.; MESQUITA, J. B. F.; LIMA NETO, I. E. **Modelagem hidrodinåmica e avaliação do decaimento do fósforo em um lago urbano hipereutrófico**. Revista Aidis de Ingenieria y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica, v. 13. n. 2. pag. 530-545. 2020.

WELLS, S. A**. CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 4.5 User Manual Part 2: Hydrodynamic and Water Quality Model Theory**. 2023.

STEFAN, H. G.; PREUDHOMME, E. B.; FANG, X. Stream temperature estimation from air temperature. *Journal of the American Water Resources Association*, Washington, v. 29, n. 1, p. 27–45, 1993. DOI: 10.1111/j.1752-1688.1993.tb01502.x.