

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **AVALIAÇÃO DA HIDRODINÂMICA DO RESERVATÓRIO EDSON QUEIROZ, NO CEARÁ**

*Gabriel Carvalho Mesquita<sup>1</sup>; Daniel Antônio Camelo Cid<sup>2</sup>; Iran Eduardo Lima Neto<sup>3</sup> & Janine Brandão de Farias Mesquita<sup>4</sup>*

**Abstract:** Water scarcity in the semi-arid region of Ceará occurs in both quantity and quality, making reservoir monitoring a challenge, as the region's climatic conditions directly affect reservoir hydrodynamics. This study aims to evaluate the hydrodynamic patterns of the Edson Queiroz reservoir, in Ceará, using the two-dimensional hydrodynamic model CE-QUAL-W2. The study area is located in the municipality of Santa Quitéria. Simulations were performed for the period from 2016 to 2021, with the year 2018 selected to assess the impact of seasonality on hydrodynamic patterns. Model validation was performed by comparing measured and simulated water temperatures. The results indicated an average interannual water temperature of 27.31 °C, a residence time (RT) of 559 days, an average horizontal velocity of 0.012 m/s, an average vertical velocity of  $2.16 \times 10^{-5}$  m/s, and an average phosphorus decay coefficient of 0.22 year<sup>-1</sup>. For the seasonal analysis in 2018, the average water temperature was 27.01 °C during the wet season and 26.33 °C during the dry season. RT was 333 days in the wet season and 501 days in the dry season. The average horizontal velocity was 0.013 m/s in the wet season and 0.014 m/s in the dry season. Vertical circulation showed average values of  $2.44 \times 10^{-5}$  m/s in the wet season and  $2.35 \times 10^{-5}$  m/s in the dry season. The phosphorus decay coefficient was 0.29 year<sup>-1</sup> in the wet season and 0.19 year<sup>-1</sup> in the dry season. Model validation showed good agreement, with measured and simulated temperatures averaging 28.67 °C and 28.30 °C, respectively. The study concludes that seasonal variation has a significant impact on the hydrodynamics of the reservoir.

**Resumo:** A escassez hídrica no semiárido cearense ocorre em quantidade e qualidade, tornando o monitoramento dos reservatórios um desafio, pois as condições climáticas da região afetam diretamente a hidrodinâmica dos reservatórios. O objetivo geral deste trabalho é avaliar os padrões hidrodinâmicos do açude Edson Queiroz, no Ceará, modelados através do modelo hidrodinâmico bidimensional CE-QUAL-W2. A área de estudo localiza-se no município de Santa Quitéria. As simulações foram realizadas entre 2016 e 2021. O ano de 2018 foi selecionado para avaliar o impacto da sazonalidade nos padrões hidrodinâmicos. Para validação do modelo, compararam-se as temperaturas medidas e simuladas. Os resultados indicaram que a temperatura média interanual foi de 27,31 °C, tempo de residência (TR) de 559 dias, velocidade horizontal média de 0,012 m/s, velocidade vertical média de  $2,16 \times 10^{-5}$  m/s e o coeficiente de decaimento do fósforo com média de 0,22 ano<sup>-1</sup>. Já na avaliação sazonal de 2018, a temperatura média foi de 27,01 °C no período chuvoso e 26,33 °C no seco. O TR foi de 333 dias no período chuvoso e 501 dias no seco. A velocidade horizontal média foi de 0,013 m/s no período chuvoso e 0,014 m/s no seco. A circulação vertical teve valores médios de  $2,44 \times 10^{-5}$  m/s no período chuvoso e  $2,35 \times 10^{-5}$  m/s no seco. Já o coeficiente de

1) Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Bloco 713. Email: gabrielmesquita@alu.ufc.br

2) Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCENE), Av. Rui Barbosa, 1246, Aldeota, Fortaleza, Ceará. Email: daniel.cid@funceme.br

3) Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Bloco 713. Email: iran@deha.ufc.br

4) Universidade Federal do Ceará (UFC), campus Crateús: Rua Professora Machadinha Lima, SN, Crateús, Ceará. Email: janine@crateus.ufc.br

decaimento do fósforo foi de  $0,29 \text{ ano}^{-1}$  no período chuvoso e  $0,19 \text{ ano}^{-1}$  no seco. A comparação dos dados temperatura medida e simulada para a validação apresentou médias de  $28,67^\circ\text{C}$  e  $28,30^\circ\text{C}$  respectivamente, indicando um bom ajuste do modelo à realidade. Conclui- que a variação sazonal tem um grande impacto na dinâmica do reservatório.

**Palavras-Chave:** Modelagem hidrodinâmica; CE-QUAL-W2; coeficiente de decaimento.

## INTRODUÇÃO

As regiões áridas e semiáridas enfrentam problemas graves de 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).

Em lagos de regiões semiáridas, onde as temperaturas são mais elevadas, a estratificação térmica 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. Já o Tempo de Residência em período seco do ano foi mais heterogêneo devido à menor renovação hídrica, quando comparado com o período chuvoso que é mais uniforme. Além disso, o decaimento de fósforo é uma função do Tempo de Residência (Rocha et. al., 2020; Mesquita e Lima Neto, 2021).

Segundo Rocha, Mesquita & Lima Neto (2019), 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. Assim, o objetivo do trabalho é avaliar os padrões hidrodinâmicos do açude Edson Queiroz, no estado do Ceará, visando contribuir com informações que possam subsidiar estratégias de manejo e preservação do reservatório.

## 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 (Cole e Buchak, 1995). 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, o modelo adota equações médias laterais do movimento do fluido, derivadas das equações tridimensionais (Wells, 2023).

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/km<sup>2</sup>), 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 (km<sup>2</sup>) (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 ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura do ponto do orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ), velocidade do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ), direção do vento (graus), cobertura das nuvens (escala de 0 a 10), temperatura de entrada e saída ( $^{\circ}\text{C}$ ) medida no terreno e as vazões de entrada e saída do lago ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) (Mesquita et al., 2020).

Através do Tempo de Residência Hidráulico foi calculado e avaliado o decaimento do fósforo total, uma vez que o mesmo guarda relação direta com o tempo de concentração e pode ser calculado a partir do mesmo. Para Toné e Lima Neto (2020), a função que melhor se ajusta para lagos e reservatórios do nordeste é:

$$k = \frac{4}{\sqrt{\tau}}$$

Onde  $k$  é o coeficiente de decaimento do fósforo e  $\tau$  é o tempo de residência hidráulico. Portanto, a mesma foi utilizada para calcular as taxas de decaimento do fósforo do reservatório Edson Queiroz. Segundo Rocha e Lima Neto (2021), essa equação é adequada para as condições térmicas dos reservatórios do semiárido, apresentam temperaturas médias elevadas em média  $30\ ^{\circ}\text{C}$ , favorecendo maiores taxas de sedimentação e consumo de fósforo.

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,  $a = 9,3$ ,  $b = 3$ ,  $c = 2$ ,  $\text{shade} = 0,84$  e  $\text{wsc} = 0,96$ , como referência para calibração do CE-QUAL-W2 para este trabalho por se tratar do mesmo reservatório.

Após a seleção das quadrículas por segmentos e profundidades se deu com base na distribuição espacial do reservatório, em comprimento e profundidade. Foram extraídos os dados de temperatura, tempo de residência hidráulica (AGE), velocidade vertical e velocidade horizontal.

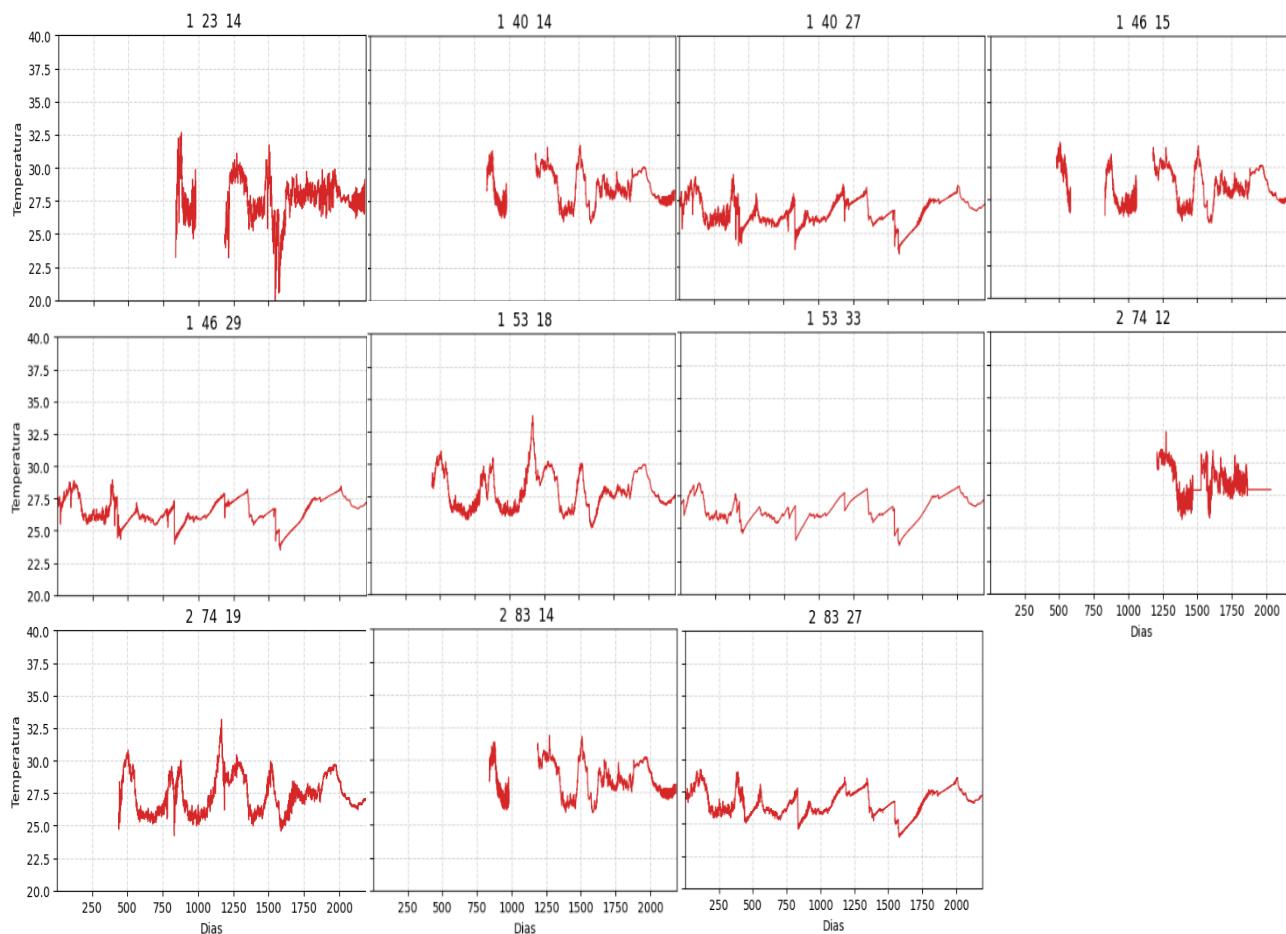
Para uma análise mais aprofundada da sazonalidade, no período chuvoso que compreende os meses de janeiro a julho; e seco, nos meses de agosto a dezembro, foi selecionado o ano com menor desvio padrão a partir da precipitação média dos 6 anos da série histórica. O ano com menor desvio foi 2018, portanto, foi selecionado para avaliar a sazonalidade da temperatura, tempo de residência hidráulico, velocidades e coeficiente de decaimento do fósforo.

## RESULTADOS

Ao analisar a temperatura da série interanual que compreende os anos de 2016 a 2021, a temperatura média no reservatório foi de  $27,31\ ^{\circ}\text{C}$ , mínima de  $19,45\ ^{\circ}\text{C}$  e máxima de  $33,70\ ^{\circ}\text{C}$ , portanto a temperatura no reservatório variou  $14,25\ ^{\circ}\text{C}$  ao longo dos 6 anos analisados.

A figura 2 ilustra a variação da temperatura por dias julianos da série de dados de 2016 a 2021 o título das figuras o primeiro número representa o segmento do reservatório, o segundo a coluna e o terceiro a profundidade.

Figura 2 – Temperatura (°C) por dias julianos da série de dados dos anos de 2016 a 2021 dos afluentes, segmentos e profundidade do reservatório Edson Queiroz, Ceará.



Fonte: Autores, 2025.

Em média o tempo de residência hidráulico no reservatório Edson Queiroz foi de 559,03 dias, enquanto a mínima foi de 0,013 e a máxima foi de 1365,63 dias. Isso se deve ao fato da coluna d'água do reservatório em dias de alta vazão sofrer mistura das camadas, o que diminui o tempo de residência. Já em períodos de baixa vazão se torna mais homogêneo (Mesquita e Lima Neto, 2022).

Na análise da velocidade horizontal houve diferenças significativas: a velocidade média foi de 0,012 m/s, a velocidade horizontal máxima foi de 0,3047 m/s e a mínima foi de  $1,164 \times 10^{-6}$  m/s, nesta última a água estava praticamente estagnada na camada.

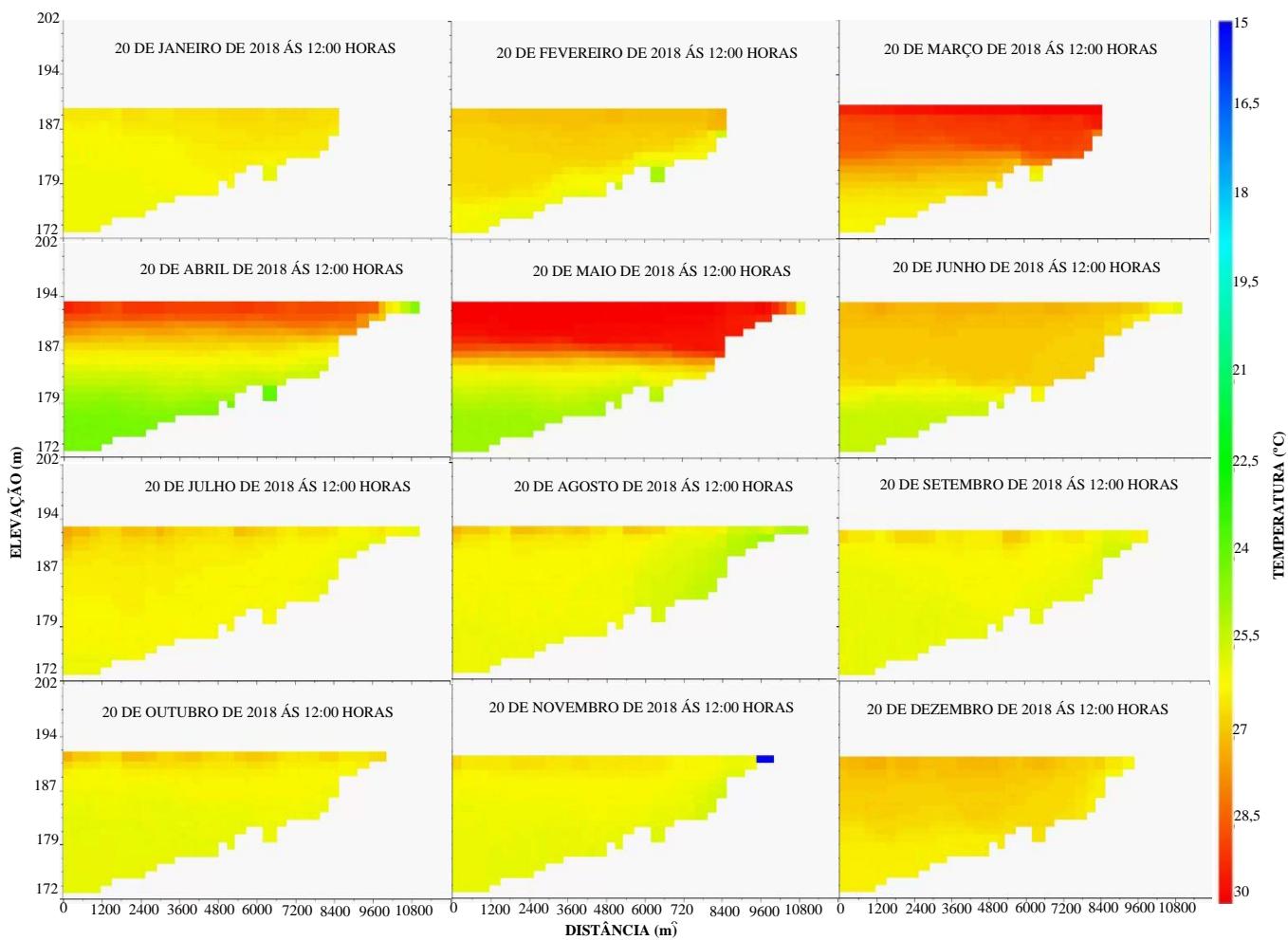
A análise da velocidade vertical foi extremamente baixa, os valores encontrados foram: velocidade média  $2,1594 \times 10^{-5}$  m/s, velocidade mínima  $5,777 \times 10^{-10}$  m/s e velocidade máxima  $4,923 \times 10^{-4}$  m/s, portanto a velocidade vertical média é quase nula, indicando fluxo predominantemente horizontal.

O coeficiente de decaimento do fósforo ( $k$ ) para a série interanual revelou grande variação com máximo de  $34,0625 \text{ ano}^{-1}$ , mínimo de  $0,1082 \text{ ano}^{-1}$  e a média  $0,2247 \text{ ano}^{-1}$ . Para Mesquita (2021) e

Mesquita e Lima Neto (2022), que estudaram um lago tropical urbano no município de Fortaleza, Ceará, atribuíram a variação à sazonalidade da precipitação.

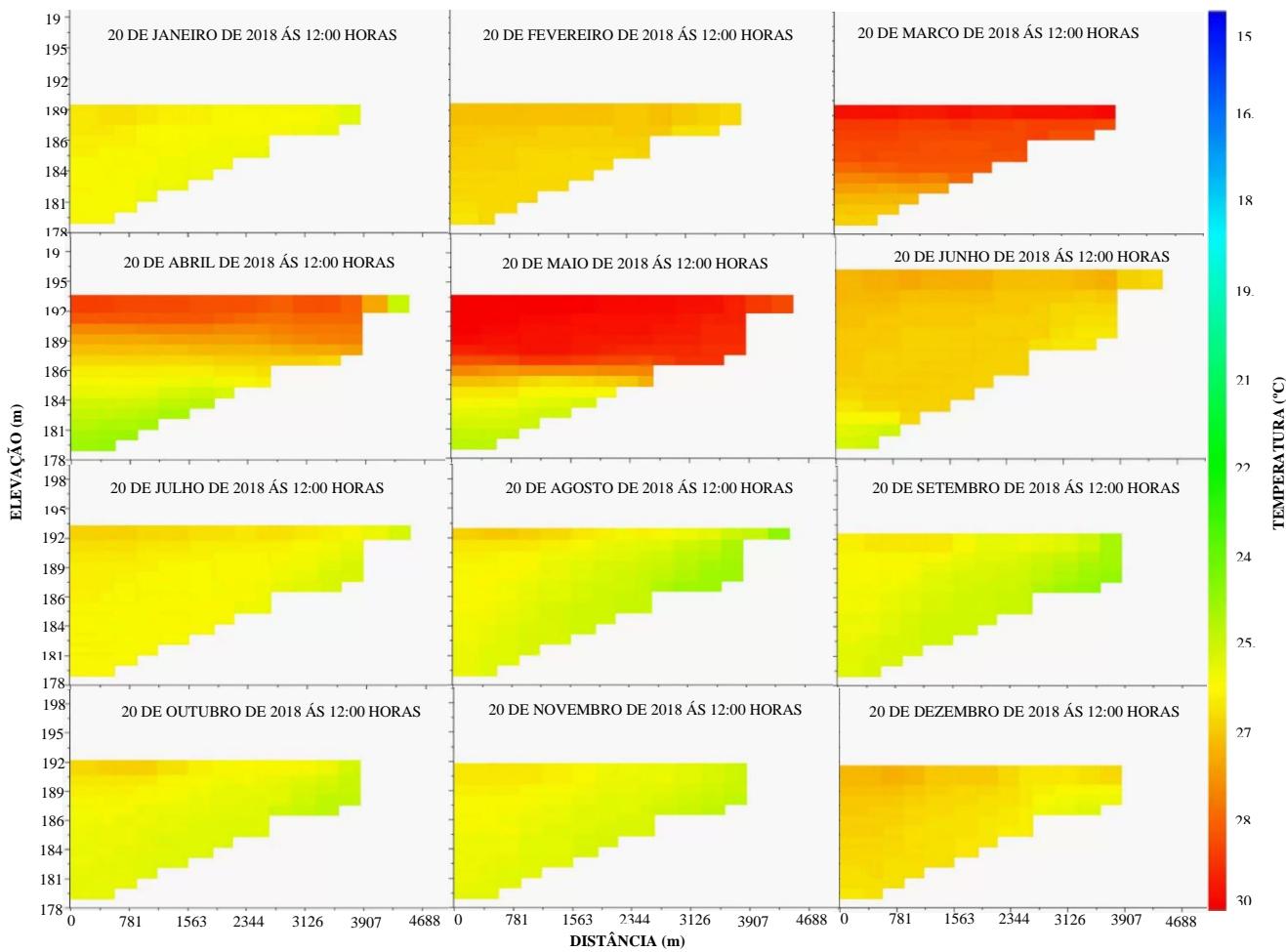
As Figuras 3 e 4 representam a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), distribuída através da distância e elevação dos afluentes 1 e 2 respectivamente.

Figura 3 - Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) distribuída através da distância e elevação no segmento 1 do reservatório Edson Queiroz, Ceará.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 4- Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) distribuída através da distância e elevação no segmento 2 do reservatório Edson Queiroz.



Fonte: Autores, 2025.

A comparação da temperatura da água no reservatório entre os períodos chuvoso (janeiro a julho) e seco (agosto a dezembro) do ano de 2018 revelou diferenças importantes. Durante o período chuvoso a temperatura média foi de  $27,01^{\circ}\text{C}$ , variando entre  $23,24^{\circ}\text{C}$  e  $32,65^{\circ}\text{C}$ . Já no período seco a média foi ligeiramente menor que a do período chuvoso  $26,33^{\circ}\text{C}$ , com mínima de  $24,63^{\circ}\text{C}$  e máxima de  $29,86^{\circ}\text{C}$ .

Isso sugere, conforme Rocha et. al. (2024) que durante o período chuvoso, o reservatório tende a apresentar estratificação térmica mais persistente, associada à entrada de águas mais quentes do que a água armazenada no reservatório, criando gradientes de densidade favorecendo a estratificação da coluna de água. Já o período seco contrasta como o período chuvoso, pois, há menor influência das vazões de entrada e ação do vento promovendo ciclos diários de estratificação e mistura, resultando em uma menor estabilidade térmica ao longo do dia. Portanto, por mais que o período chuvoso tenha maior aporte hídrico, isso não necessariamente resulta em uma mistura, mas sim maior estabilidade térmica também observadas por Rocha et. al. (2022) e também conforme pode-se observar na figura 3 e 4.

O TR avaliado entre os períodos chuvosos e seco do ano de 2018 teve variações significativas na renovação da água no reservatório. Em média no período chuvoso a água permaneceu 333,49 dias

no reservatório, com mínimo extremamente baixo 0,0159 dias e um máximo de 503,67 dias. Já no período seco a média foi consideravelmente maior 501,07 dias, com um tempo mínimo de permanência de 5,70 dias e um máximo de 612,20 dias.

Essa diferença significativa está diretamente associada ao aumento da vazão de entrada no reservatório em abril, que atingiu 395,58 m<sup>3</sup>/s. Em contraste, no mês anterior (março), a vazão de entrada foi de apenas 20,05 m<sup>3</sup>/s, resultando em um tempo de residência superior a 520 dias.

Essa diferença significativa está diretamente associada ao aumento da vazão de entrada no reservatório em abril, que atingiu 395,58 m<sup>3</sup>/s. Em contraste, no mês anterior (março), a vazão de entrada foi de apenas 20,05 m<sup>3</sup>/s, resultando em um tempo de residência superior a 520 dias. A análise temporal da velocidade horizontal no reservatório, durante o período chuvoso a velocidade horizontal média foi de 0,01317 m/s, com valores variando entre  $1,1640 \times 10^{-6}$  m/s e um máximo de 0,2520 m/s. Já no período seco a velocidade média foi ligeiramente superior, 0,01390 m/s, com valores entre  $3,65413 \times 10^{-6}$  m/s e 0,061565 m/s. Apesar das médias próximas, observou-se uma diferença expressiva nos valores máximos entre os períodos.

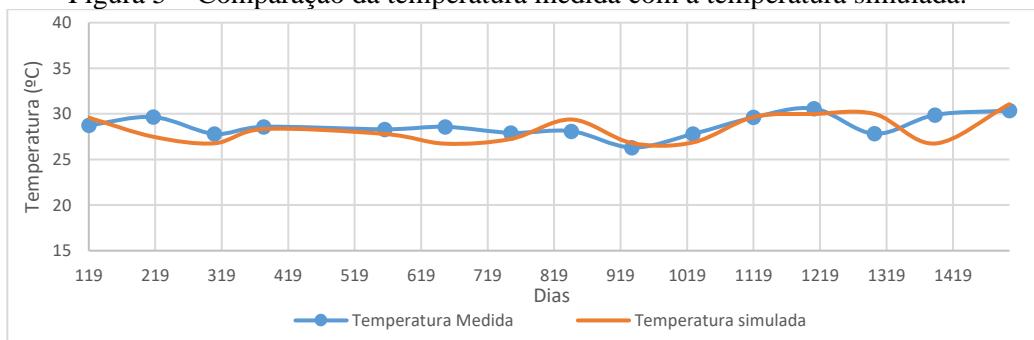
A velocidade vertical apresentou variações entre os períodos chuvoso e seco de 2018, refletindo mudanças hidrodinâmicas sazonais que influenciam na circulação da água no reservatório. Durante o período chuvoso a velocidade vertical média foi de  $2,4391 \times 10^{-5}$  m/s, com valores variando entre  $5,77749 \times 10^{-10}$  m/s e 0,00049 m/s. Já no período seco, a média foi ligeiramente menor,  $2,34658 \times 10^{-5}$  m/s, com valores entre  $3,65413 \times 10^{-8}$  m/s e 0,000169397 m/s.

Embora a velocidade média tenha sido similar nos dois períodos, a diferença entre máxima e mínima foi maior na estação chuvosa, como o observado no mês de fevereiro e abril. Já os valores máximos, o registrado no período chuvoso foi consideravelmente superior ao máximo do período seco.

Na comparação dos coeficientes de decaimento do fósforo (K) a taxa média do período chuvoso foi de 0,29 ano<sup>-1</sup>, com valores variando entre 0,19 ano<sup>-1</sup> e 31,70 ano<sup>-1</sup>. Já no período seco que compreende os meses de agosto a dezembro de 2018 a média foi de 0,19 ano<sup>-1</sup> com mínima de 0,16 ano<sup>-1</sup> e máxima de 1,67 ano<sup>-1</sup>. Já Mesquita (2021), encontrou para um lago urbano no município de Fortaleza os coeficientes de decaimento de fósforo de 21,53 anos<sup>-1</sup> no período chuvoso e 12,76 anos<sup>-1</sup>. Essa diferença entre os resultados para o reservatório Edson Queiroz e o lago Santo Anastácio está diretamente relacionada com o tempo de residência hidráulico que no ano de 2018 foi de 32,83 para o lago Santo Anastácio e de 417,23 para o reservatório Edson Queiroz. Isso pode estar relacionado à maior taxa de renovação da água no período e a consequente redução das concentrações de fósforo no reservatório devido à diluição da água bem como com a dinâmica interna do reservatório com a ocorrência de estratificação térmica e as condições anóxidas do reservatório.

Para avaliar o modelo, foi realizada a comparação entre as temperaturas medidas *in loco* e simuladas, conforme demonstra a figura 5:

Figura 5 – Comparação da temperatura medida com a temperatura simulada.



Fonte: Autores, 2025.

A temperatura média medida foi de 28,67 °C e a simulada foi de 28,30 °C, enquanto a média da diferença entre as duas temperaturas foi 1,39 °C. Portanto, o modelo se ajustou bem ao reservatório Edson Queiroz, fazendo simulações confiáveis quanto a temperatura que é uma das variáveis mais importantes da hidrodinâmica.

## CONCLUSÃO

Após a calibração do modelo hidrodinâmico CE-QUAL-W2, conclui-se que a modelagem apresentou boa aderência aos dados observados. Isso permitiu a reprodução mais precisa e confiável dos padrões hidrodinâmicos no reservatório Edson Queiroz, conforme demonstrado na comparação da temperatura medida com a temperatura simulada.

Constatou-se, a partir da análise da estratificação térmica e do tempo de residência hidráulico, que a variação sazonal tem um grande impacto na dinâmica do reservatório. Observou-se também uma mistura completa na coluna d'água durante a quadra chuvosa nos meses de janeiro, fevereiro e março. Além disso, houve ocorrência de uma estratificação térmica nos meses de abril e maio. O tempo de residência foi maior no período seco, principalmente nos meses de outubro, novembro e dezembro, o que torna evidente a necessidade de considerar tais fatores na gestão hídrica.

A avaliação do coeficiente de decaimento do fósforo total demonstrou que o tempo de residência tem um papel muito importante na dinâmica do nutriente, conforme esperado. Foi possível observar que no período seco, onde a renovação da água é reduzida, que o fósforo tende a permanecer por mais tempo no reservatório, o que pode aumentar o risco de eutrofização. Tais análises ressaltam a necessidade de monitoramento contínuo, seja *in loco* ou por meio de modelagem computacional, para evitar impactos adversos ao meio ambiente.

Por fim, a avaliação dos padrões hidrodinâmicos do reservatório Edson Queiroz permitiu compreender melhor a ação da temperatura, velocidade do vento, ponto de orvalho e temperatura do afluente bem como sazonalidade influenciam sua dinâmica. Esses resultados reforçam a importância da modelagem matemática na gestão de recursos hídricos, possibilitando prognósticos mais precisos e auxiliando na tomada de decisão para a conservação e para o uso sustentável dos reservatórios no semiárido brasileiro.

## AGRADECIMENTOS

À FUNCEME, por meio do Projeto MMCQual - Melhoria da Gestão Hídrica em Ambientes Semiáridos: Monitoramento, Modelagem e Cenarização da Qualidade da Água (Chamada Universal CNPq - Processo No: 409204/2023-4).

## 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.

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 hidrodinâmica 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.

TONÉ, Arthur J. A., and Iran e Lima Neto. **Modelagem Simplificada Do Fósforo Total Em Lagos E Reservatórios Brasileiros Simple Modelling of Total Phosphorus in Brazilian Lakes and Reservoirs.** Revista DAE , vol. 68, no. 221, 2020, pag. 221–142.

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.