

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ACOPLAMENTO DE MODELOS E O IMPACTO DA HIDROLOGIA NA HIDRODINÂMICA DE UM LAGO RASO

Janine Brandão de Farias Mesquita¹ & Iran Eduardo Lima Neto²

RESUMO - A modelagem integrada bacia-lago pode se constituir como uma ferramenta essencial para analisar diversos processos e respostas na hidrodinâmica. O presente trabalho objetivou analisar o impacto dos extremos hidrológicos na hidrodinâmica de um lago raso, localizado em Fortaleza, Ceará, Brasil. Para este fim, utilizaram-se o Storm Water Management Model (SWMM) e o modelo hidrodinâmico bidimensional CE-QUAL-W2. Selecionaram-se três anos, de acordo com as características pluviométricas, de uma série temporal de 20 anos: 2013 (seco), 2018 (típico) e 2019 (chuvoso). Após a calibração e validação dos modelos, realizou-se a simulação hidrológica no SWMM e acoplaram-se as séries temporais de vazões ao modelo CE-QUAL-W2. Constatou-se uma leve variação das características hidrodinâmicas com o aumento da precipitação anual, tais como o aumento da temperatura média da água (comparando-se 2013 e 2019) e uma diminuição do tempo de residência hidráulico. Estas tendências também são observadas quando se analisa a sazonalidade (período chuvoso e seco), exceto para a temperatura da água nos anos de 2018 e 2019. Uma correlação estatisticamente significativa entre a precipitação e o tempo de residência hidráulico também foi obtida (R^2 de 0,79), apontando para a predominância da influência da vazão de entrada nos padrões hidrodinâmicos do lago raso.

ABSTRACT - Integrated basin-lake modeling can be an essential tool to analyze different processes and responses in hydrodynamics. This work aimed to analyze the impact of hydrological extremes on the hydrodynamics of a shallow lake, located in Fortaleza, Ceará, Brazil. For this purpose, the Storm Water Management Model (SWMM) and the two-dimensional hydrodynamic model CE-QUAL-W2 were used. Three years were selected, according to the rainfall characteristics, of a 20-year time series: 2013 (dry), 2018 (typical) and 2019 (rainy). After calibrating and validating the models, the hydrological simulation was performed in the SWMM and the flow time series was coupled to the CE-QUAL-W2 model. There was a slight variation in the hydrodynamic characteristics with the increase in annual precipitation, such as the increase in the average water temperature (comparing 2013 and 2019) and a decrease in the hydraulic residence time. These trends are also observed when analyzing the seasonality (rainy and dry period), except for the water temperature in the years 2018 and 2019. A statistically significant correlation between precipitation and the hydraulic residence time was also obtained (R^2 of 0.79), pointing to the predominance of the influence of the inflow in the shallow lake hydrodynamic patterns.

Palavras-Chave –SWMM, CE-QUAL-W2, Modelagem integrada.

1) Professora Assistente. Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus Crateús. Rodovia BR-226, Km 04, s/n, São Vicente, CEP: 63700-000. Crateús, CE, Brasil. Fone/Fax: +55 88 3691-9700. E-mail: janine@crateus.ufc.br

2) Professor Associado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Bloco 713. Pici. CEP: 60455-900. Fortaleza, CE, Brasil. Fone/Fax: +55 85 3366-9776. E-mail: iran@deha.ufc.br

1. INTRODUÇÃO

As alterações no uso do solo são fatores marcantes do processo de urbanização (Seidl *et al.*, 2019; Mesquita *et al.*, 2020b). Diversos impactos na hidrologia podem estar relacionados diretamente à urbanização sem planejamento (Araújo & Lima Neto, 2018; Araújo *et al.*, 2019; Mesquita *et al.*, 2020a; Fraga *et al.*, 2020), como o aumento das vazões de pico e a diminuição do tempo de concentração das bacias (Campos *et al.*, 2020).

Estudos relacionados à modelagem hidrológica-hidráulica são essenciais para a representação dos processos físicos nas bacias hidrográficas, notadamente em bacias urbanas (Mesquita *et al.*, 2017; Mesquita & Lima Neto, 2019; Mesquita *et al.*, 2020). Ademais, a modelagem permite a análise de cenários, otimizar custos, bem como a proposição de medidas mitigatórias (Lima *et al.*, 2018; Mesquita *et al.*, 2020b). Dessa forma, as ferramentas de modelagem podem subsidiar os tomadores de decisão (Lima, 2016).

Já a modelagem hidrodinâmica de lagos e reservatórios possibilita a analisar os padrões de circulação e as diversas forçantes as quais os corpos hídricos estão submetidos (Lemos, 2015; Rocha *et al.*, 2020). Tal permite avaliar impactos e compreender variáveis físicas, químicas e biológicas nos corpos hídricos (Deus *et al.*, 2013). Nesse sentido, a modelagem integrada bacia-lago pode se constituir como uma ferramenta essencial para analisar diversos processos e respostas em ambos os sistemas (bacia e lago). Portanto, a análise de características hidrológicas da bacia e hidrodinâmicas do lago permitiria uma avaliação holística dos parâmetros físicos do corpo hídrico.

Na literatura, diversos trabalhos acoplaram modelos hidrológicos a modelos hidrodinâmicos (Brito *et al.* 2018; Firoozi *et al.*, 2020; Wei *et al.*, 2020). No entanto, não foram identificados trabalhos que acoplassem especificamente o modelo *Storm Water Management Model - SWMM* (Rossman, 2015) ao modelo *CE-QUAL-W2* (Cole & Wells, 2018). Tampouco foram identificadas correlações empíricas que expliquem a dominância dos processos físicos sobre a hidrodinâmica dos corpos hídricos. Assim, este trabalho objetiva analisar o impacto dos extremos hidrológicos de uma bacia urbana nas características hidrodinâmicas de um lago raso, através do acoplamento de um modelo hidrológico a um modelo hidrodinâmico bidimensional.

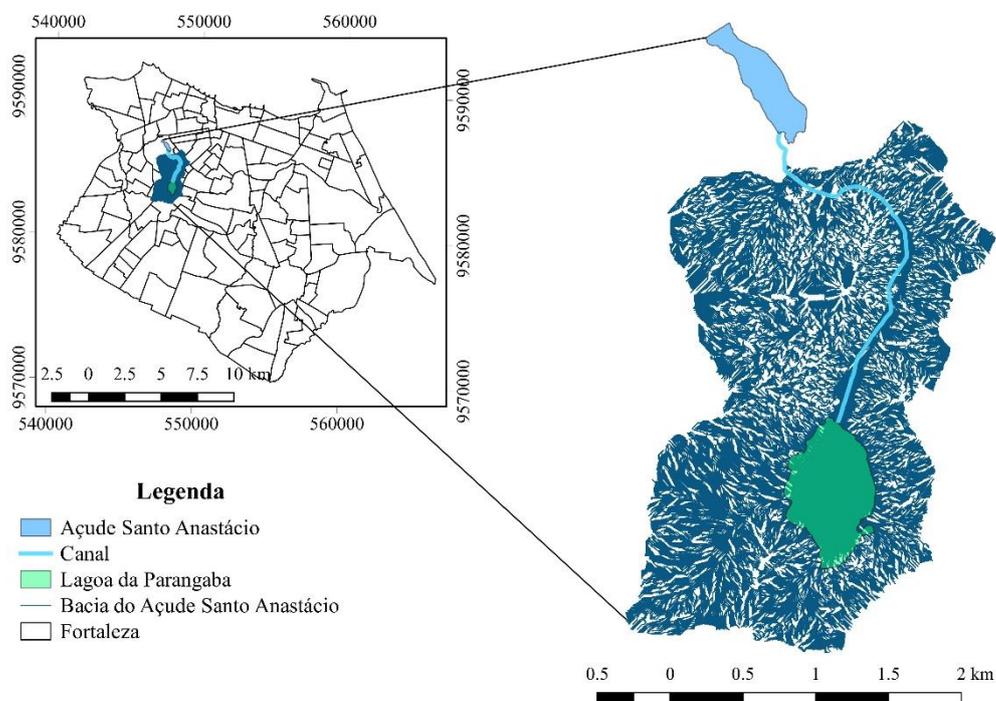
2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A área de estudo deste trabalho é o lago Santo Anastácio (Figura 1), localizado em Fortaleza, estado do Ceará, Brasil, com coordenadas de exutório na latitude -3.74 S, longitude -38.57 W,. Fortaleza é uma cidade localizada na região litorânea, com precipitação média anual de 1338 mm concentrada predominantemente de janeiro a maio, com duas estações definidas (período chuvoso e

seco) e clima Tropical Quente Sub-úmido. A principal afluência do lago é um canal retangular de drenagem urbana com seção de 5 m de largura e extensão de 2,5 km. A montante do canal localiza-se uma lagoa, denominada Parangaba.

Figura 1 – Localização do açude Santo Anastácio em Fortaleza, Ceará, Brasil



Foram utilizados dados meteorológicos da estação meteorológica do Pici, tais como temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$), velocidade ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e direção dos ventos (graus) e nebulosidade (escala de 0 a 10)]. Além disso, mediram-se as vazões dos fluxos afluentes e efluentes ao lago nos anos de 2013, 2014, 2018 e 2019, bem como a temperatura da água.

2.2. Modelos aplicados e acoplamento

Foi utilizado o modelo computacional *Storm Water Management Model* (SWMM) para a modelagem hidrológica e hidráulica da bacia do lago Santo Anastácio, *software* amplamente utilizado para bacias urbanas, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency* - EPA), dos Estados Unidos (Rossman, 2015). O SWMM foi selecionado para a realização deste trabalho, pois é um *software* livre e amplamente utilizado (*e.g.* Mesquita *et al.*, 2017; Mesquita *et al.*, 2020b). Os processos de calibração e validação foram realizados comparando-se os dados de vazão medidos na estrada do lago Santo Anastácio e modelados pelo SWMM. As análises estatísticas realizadas foram o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (CNS), coeficiente de determinação

(R²) e desvio médio em relação ao ajuste perfeito do modelo. Os dados utilizados para a calibração foram as vazões medidas em 2013 e 2014 e, para a validação, em 2018 e 2019.

Já para a modelagem hidrodinâmica no lago Santo Anastácio foi aplicado o modelo CE-QUAL-W2. Este modelo foi calibrado e validado por Mesquita *et al.* (2020a). Trata-se de um modelo hidrodinâmico bidimensional (2D), nesse caso, considera as variações na longitudinal e na vertical, desprezando as variações nas laterais (Cole & Wells, 2018). Foram inseridos no modelo CE-QUAL-W2 os dados meteorológicos mencionados anteriormente; temperatura dos fluxos afluente e efluente (°C), medida em campo; vazão de entrada (m³.s⁻¹), modeladas pelo SWMM; e vazão de saída do lago (m³.s⁻¹), obtidas por meio de correlação linear entre os dados medidos em 2013 (entrada e saída do lago) e extrapolados com os dados de vazão simulados pelo SWMM para todos os anos analisados.

A base computacional do SWMM e CE-QUAL-W2 foi concebida para os anos de 2013, 2018 e 2019 e acopladas. O processo de acoplamento consistiu na simulação das precipitações durante os referidos anos (2013, 2018 e 2019), de modo a reproduzir as condições hidrológicas da bacia no SWMM. Posteriormente, geraram-se séries temporais de vazões para os períodos correspondentes e inseriu-se como dado de entrada no CE-QUAL-W2. Dessa forma, foi possível analisar os processos hidrodinâmicos no açude Santo Anastácio, considerando as diferentes respostas hidrológicas oriundas de sua bacia de contribuição. Foram analisados os padrões hidrodinâmicos para os anos considerados seco, típico e chuvoso (2013, 2018 e 2019, respectivamente) através das seguintes variáveis: estratificação térmica, velocidade horizontal e tempo de residência hidráulica. Foram verificadas diferentes profundidades, tais como na superfície da água, à 2,8 m e à 5 m e compararam-se ao regime de mistura completa. Adicionalmente, correlacionaram-se o tempo de residência hidráulica a variáveis hidroclimáticas, para a obtenção de correlações empíricas que expliquem a influência das forçantes externas sobre esse parâmetro hidráulico.

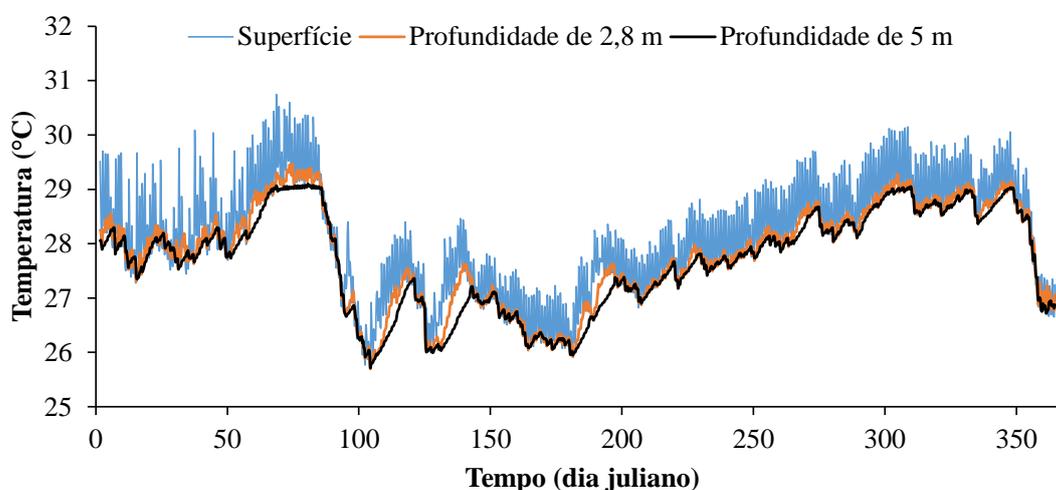
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da calibração dos parâmetros do modelo, obteve-se um coeficiente NSE de 0,87, coeficiente R² de 0,96, desvio médio de 29%. O processo de validação do SWMM, com dados do ano 2018 e 2019, para as mesmas variáveis estatísticas, resultaram em um coeficiente NSE de 0,92, coeficiente R² de 0,94 e desvio médio de 38%. Pesquisas anteriores realizadas com o SWMM obtiveram valores de NSE de 0,927, em Fortaleza, Brasil (Mesquita *et al.*, 2020b). Em relação ao desvio médio, Mesquita *et al.* (2020b) obtiveram valores variando entre 6,8 e 54%. Portanto, o presente trabalho apresenta valores dentro das faixas reportadas pela literatura, atestando a representatividade do modelo chuva-vazão utilizado para a bacia do lago em estudo.

3.1. Perfil térmico

A Figura 2 apresenta as séries temporais de temperatura, de acordo com a profundidade no lago Santo Anastácio, resultante da modelagem hidrodinâmica utilizando o modelo CE-QUAL-W2 no ano de 2018, como demonstração do padrão geral. Percebe-se que a variação diária da temperatura entre a superfície e a camada mais profunda (5 m) tende a manter o padrão geral praticamente durante no ano inteiro, com estratificações térmicas diárias de até 2 °C. Conforme esperado, a temperatura decresce com o aumento da profundidade (2,8 m e 5 m), sendo notória a influência da sazonalidade.

Figura 2 – Distribuição da temperatura na coluna de água do lago Santo Anastácio em diferentes profundidades (superfície, 2,8 m e 5 m) no ano de 2018, típico



A temperatura da água no lago tende a ser maior no período chuvoso (média de 28,2 °C), com uma redução na metade no ano, em vista das menores temperaturas do ar característica deste período; e aumenta gradativamente no período seco, devido às maiores temperaturas do ar observadas na região (Mesquita *et al.*, 2020a). Porém, as temperaturas do lago no período seco (média de 27,7 °C) ainda são levemente inferiores ao período chuvoso para o ano de 2013 (seco), denotando a predominância da influência da vazão de entrada no padrão de temperatura do lago. No ano típico (2018) a temperatura da água no período seco é maior (28,16 °C) que o chuvoso (27,57 °C), acompanhando a tendência da temperatura do ar. Já em 2019 (ano chuvoso) não há diferenças significativas entre as temperaturas da água no período seco (28,51 °C) e chuvoso (28,48 °C). Sabe-se que a velocidade do vento é superior no período seco (Mesquita *et al.*, 2020a), o que possivelmente contribui para a redução da temperatura devido ao processo de mistura da coluna de água. Nesse sentido, a temperatura pode afetar o padrão geral de circulação do lago e, conseqüentemente, as demais propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente em estudo (Deus *et al.*, 2013; Woolway *et al.*, 2021), apesar da pequena profundidade do lago. Adicionalmente, pode apontar para

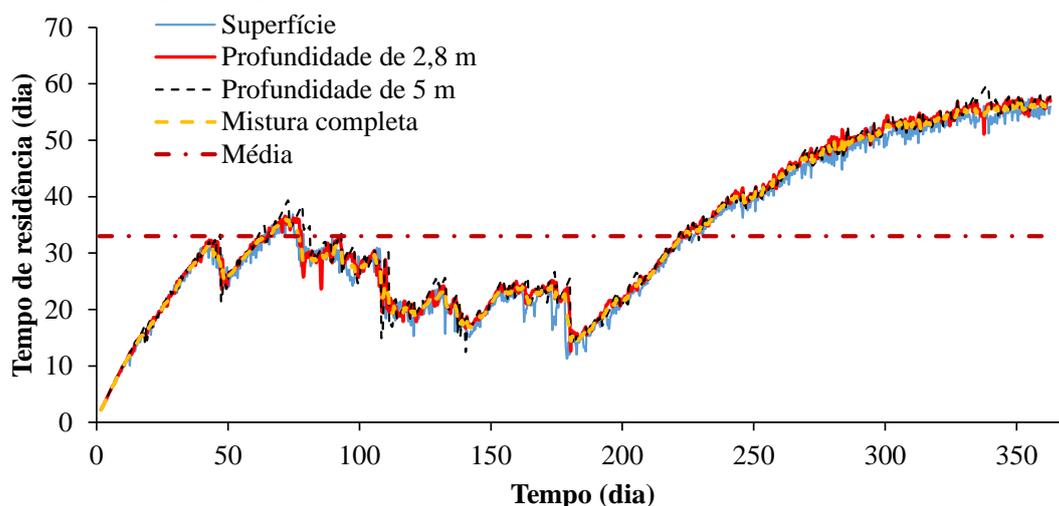
a necessidade de compreensão da distribuição térmica da coluna de água, notadamente em reservatórios mais profundos, como os verificados na região semiárida do Nordeste brasileiro. Reservatórios sujeitos a períodos longos de seca, com menores profundidades, tendem a possuir menores estratificações térmicas e, conseqüentemente, podem apresentar um padrão polímitico. Ou seja, com eventos mais frequentes de mistura da massa de água (Souza Filho *et al.*, 2006; Lemos, 2015). A temperatura da água também está sujeita, a longo prazo, aos efeitos das mudanças climáticas (Woolway *et al.*, 2021), podendo impactar severamente o meio biótico (Dokulil *et al.*, 2021).

Ademais, a vazão de entrada no lago afeta a velocidade horizontal da água, conforme esperado, com média de 0,002 e 0,001 m.s⁻¹ durante o período chuvoso e seco, respectivamente. No entanto, não foram identificadas diferenças significativas na velocidade horizontal interanualmente. Os valores de velocidade horizontal modelados estão dentro das faixas reportadas por Rocha *et al.* (2020) no lago Santo Anastácio, bem como por Lemos (2015) no açude Pereira de Miranda, em Pentecoste, Ceará, Brasil. Ressalta-se que as forçantes hidrodinâmicas analisadas neste estudo possuem ações interdependentes na determinação da hidrodinâmica do sistema lacustre.

3.2. Tempo de residência hidráulico

Já as séries temporais do tempo de residência obtidas para o lago Santo Anastácio através do CE-QUAL-W2, durante o ano de 2013 está ilustrada na Figura 3 como demonstração do padrão geral.

Figura 3 – Comparação entre o tempo de residência em diferentes profundidades e considerando o regime de mistura completa da coluna de água no lago Santo Anastácio em 2013



O valor do Tr médio é de 33,01; 32,83 e 31,93 dias para o ano de 2013, 2018 e 2019, respectivamente. Verifica-se que o Tr médio tende a diminuir, levemente, com o aumento da precipitação anual. Além disso, observa-se que o Tr varia entre 0,5 e 36 dias, média de 23,71 dias; e 14, 48 e 56,95 dias, média de 39,45 dias, no primeiro e segundo semestre dos anos analisados,

respectivamente. Esses valores estão dentro das faixas reportadas por Rocha *et al.* (2020). Dessa forma, evidencia-se a influência da sazonalidade, notadamente da precipitação, no padrão de circulação do lago, conforme esperado. Além disso, pode-se ainda constatar através da Figura xx que há pequena diferença entre o Tr das camadas mais profundas do lago (2,8 e 5 m) em comparação ao Tr da superfície (média de 3%). Quando se compara todas as camadas (superfície, 2,8 e 5 m) ao Tr do regime de mistura completa, observa-se uma diferença de 1 e 2%, respectivamente. Portanto, o fator predominante para a variação dos valores de Tr de lagos rasos é a variabilidade das vazões afluentes, provavelmente em vista da pequena profundidade do lago. Por outro lado, em reservatórios mais profundos, a afluência também é determinante para os valores de Tr. Sabe-se que estes diminuem quanto maior as vazões de entrada (Deus *et al.*, 2013; Toné & Lima Neto, 2020). Deus *et al.* (2013) estimou o tempo de residência de 46 dias do reservatório Tucuruí, no Pará, Brasil, que possui profundidade máxima de 72 m. Apontaram que o baixo valor é em decorrência das grandes vazões afluentes ao reservatório. Assim, a variabilidade hidrológica é determinante para o padrão geral de circulação da água e, portanto, para as características hidrodinâmicas.

Adicionalmente, a correlação entre a precipitação mensal (mm) e o Tr mensal (dias) para o açude Santo Anastácio para os mesmos anos em análise (2013, 2018 e 2019) apresentou uma função do tipo potência, com coeficiente R^2 de 0,79. Através desta, infere-se que há uma influência direta da variabilidade hidrológica, notadamente da precipitação, sobre as condições hidrodinâmicas do lago. Conforme dito, o Tr depende diretamente da vazão de entrada; da forma do reservatório; da estratificação térmica; e das velocidades horizontais e verticais (Li *et al.*, 2013; Deus *et al.*, 2013). Todas estas variáveis são determinantes aos padrões hidrodinâmicos e, portanto, à circulação geral no reservatório, definindo o tempo de permanência e renovação de suas águas. Assim, a referida correlação aponta para um fator preponderante, sendo a precipitação, que é convertida em escoamento afluente ao lago, coerente com o padrão esperado de transformação chuva-vazão. Infere-se ainda que o grau de impermeabilização da bacia (Seidl *et al.*, 2019), além da pequena profundidade do lago em questão (média 2 m), possa favorecer esse fenômeno. Apesar disso, as variabilidades hidrológicas interanuais não afetaram significativamente o padrão de estratificação térmica, velocidade e o coeficiente de decaimento nas diferentes profundidades analisadas, conforme demonstrado. É importante destacar que essa correlação pode apontar também para uma interferência direta na qualidade da água, já que o coeficiente de decaimento do fósforo depende do TR (Araújo *et al.* 2019; Toné & Lima Neto, 2020; Rocha *et al.*, 2020).

4. CONCLUSÃO

Realizou-se no presente trabalho a modelagem integrada bacia-lago para avaliação do impacto da hidrologia na hidrodinâmica de um lago raso. Através do acoplamento do modelo SWMM com o CE-QUAL-W2, constatou-se uma leve variação das características hidrodinâmicas com o aumento da precipitação anual, tais como o aumento da temperatura média da água (comparando-se 2013 e 2019) e uma diminuição do tempo de residência hidráulico. Estas tendências também são observadas quando se analisa a sazonalidade (período chuvoso e seco), exceto para a temperatura da água nos anos de 2018 e 2019. Além disso, verificou-se uma correlação estatisticamente significativa entre a precipitação e o tempo de residência hidráulico, apontando para a predominância da influência da vazão de entrada nos padrões hidrodinâmicos do lago raso. Conclui-se que o acoplamento de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos se constitui de uma ferramenta robusta para o auxílio na gestão de recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (edital PROEX 20/2016), e pela Fundação de Pesquisa do Estado do Ceará - FUNCAP (edital PNE-0112-00042.01.00 / 16).

5. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, G. M., LIMA NETO, I. E., BECKER, H. (2019). *Phosphorus dynamics in a highly polluted urban drainage channel shallow reservoir system in the Brazilian semiarid*. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 91(3). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920180441>
- ARAÚJO, G. M.; LIMA NETO, I. E. (2018). *Removal of organic matter in stormwater ponds: a plug flow model generalisation from waste stabilisation ponds to shallow rivers*. Urban Water Journal, 15(9), 918-924. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1581231>
- BRITO, D.; RAMOS, T. B.; GONÇALVES, M. C.; MORAIS, M.; NEVES, R. (2018). *Integrated modelling for water quality management in a eutrophic reservoir in south-eastern Portugal*. Environmental Earth Sciences, v. 77, n. 2, p. 1-20. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-017-7221-5>.
- CAMPOS, J. N. B.; RABELO, U. P.; LIMA NETO, I. E. (2020). *The Bell-Shaped Unit Hydrograph for Overland Planes*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 146(5), 1-6. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001465
- COLE, T. M.; WELLS, S. A. (Eds.). (2018). *CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 4.1*. Portland State University, Portland.
- DEUS, R.; BRITO, D.; MATEUS, M.; KENOV, I.; FORNARO, A.; NEVES, R.; ALVES, C. N. (2013). *Impact evaluation of a pisciculture in the Tucuruí reservoir (Pará, Brazil) using a two-dimensional water quality model*. Journal of Hydrology, v. 487, p.1-12, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.022>.
- DOKULIL, M. T.; EYTO, E.; MABERLY, S. C.; MAY, L.; WEYHENMEYER, G. A.; WOOLWAY, R. I. (2021). *Increasing maximum lake surface temperature under climate change*. Climatic Change, v. 165, n. 3-4, p. 1-17. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-021-03085-1>.

- FIROOZI, F.; ROOZBAHANI, A.; BAVANI, A. R. M. (2019). *Developing a framework for assessment of climate change impact on thermal stratification of dam reservoirs*. International Journal Of Environmental Science And Technology, v. 17, n. 4, p. 2295-2310. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-019-02544-8>.
- FRAGA, R. F.; ROCHA, S. M. G.; LIMA NETO, I. E. *Impact of flow conditions on coliform dynamics in an urban lake in the Brazilian semiarid*. Urban Water Journal, 17 (1), p. 43-53, 2020. DOI: 10.1080/1573062X.2020.1734948
- LEMOS, Wictor Edney Dajtenko. (2015). *Previsão climática sazonal do regime térmico e hidrodinâmico de reservatório*. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 165f.
- LI, D.; WAN, J.; MA, Y.; WANG, Y.; HUANG, M.; CHEN, Y. (2015). *Stormwater Runoff Pollutant Loading Distribution and their Correlation with Rainfall and Catchment Characteristics in a Rapidly Industrialized City*. Plos One, p. 01-17.
- LIMA, B. P.; MAMEDE, G. L.; LIMA NETO, I. E. (2018). *Monitoramento e modelagem da qualidade de água em uma bacia hidrográfica semiárida*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 1, p. 125-135. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018167115>.
- LIMA, Berthyer Peixoto. (2016). *Enquadramento de corpos d'água no Nordeste brasileiro como instrumento de gestão e sustentabilidade ambiental: o caso da bacia hidrográfica Acarape do Meio – CE*. 272 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- MESQUITA, J. B. F.; LIMA NETO, I. E.; RAABE, A.; DE ARAÚJO, J. C. (2020a). *The influence of hydroclimatic conditions and water quality on evaporation rates of a tropical lake*. Journal of Hydrology, 590, 125456. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125456>.
- MESQUITA, J. B. F.; PEREIRA, S. P.; LIMA NETO, I. E. (2017). *Modelagem matemática da qualidade da água integrando drenagem urbana e hidrodinâmica costeira*. In: Anais do CONGRESSO ABES/FENASAN 2017, São Paulo, 2017.
- MESQUITA, J. B. F.; PEREIRA, S. P.; LIMA NETO, I. E. (2020b). *Modelagem da drenagem urbana e avaliação das cargas bacteriológicas na Vertente Marítima de Fortaleza, Ceará*. Engenharia Sanitária e Ambiental, 25(1), 205-216. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020189161>
- MESQUITA, J. B. F.; LIMA NETO, I. E. (2019). *Poluição em sistemas de drenagem urbana*. In: Terra - Habitats Urbanos e Rurais. Org por: Giovanni Seabra. 1ed.Ituiutaba: Barlavento, p. 2260-2272.
- ROCHA, S. M. G.; MESQUITA, J. B. F.; LIMA NETO, I. E. (2020). *Modelagem hidrodinâmica e avaliação do decaimento do fósforo em um lago urbano hipereutrófico*. Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica, v. 13, n. 2, p. 530-545, 2020. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.2.67679>.
- ROCHA, S. M. G.; MESQUITA, J. B. F.; LIMA NETO, I. E. (2019). *Análise e modelagem das relações entre nutrientes e fitoplâncton em reservatórios do Ceará*. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 54, p. 134-147. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190536>
- ROSSMAN, L. A. (2015). *Storm Water Management Model – User Manual Version 5.1*. Environmental Protection Agency (EPA): Office of Research and Development. EPA- 600/R-14/413b.
- SEIDL, M.; HADRICHS, B.; PALMIER, L.; PETRUCCI, G.; NASCIMENTO, N. (2019). *Impact of urbanisation (trends) on runoff behaviour of Pampulha watersheds (Brazil)*. Environmental Science And Pollution Research, v. 27, n. 13, p. 14259-14270. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-019-06029-6>.
- SOUZA FILHO, F. A.; MARTINS, E. S. P. R.; PORTO, M. (2006). *O Processo de Mistura em Reservatórios do Semi-Árido e sua Implicação na Qualidade da Água*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 11, n. 4, p. 109-119. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v11n4.p109-119>
- TONÉ, A. J. A.; LIMA NETO, I. E. (2020). *Modelagem simplificada do fósforo total em lagos e*

reservatórios brasileiros. Revista DAE, v. 67, p. 142-156.

WEI, Y.; YUANXI, L.; YU, L.; MINGXIANG, X.; LIPING, Z.; QIULIANG, D. (2020). *Impacts of rainfall intensity and urbanization on water environment of urban lakes*. Ecohydrology & Hydrobiology, v. 20, n. 4, p. 513-524. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.06.006>.

WOOLWAY, R. I.; SHARMA, S.; WEYHENMEYER, G. A.; DEBOLSKIY, A.; GOLUB, M.; MERCADO-BETTÍN, D.; PERROUD, M.; STEPANENKO, V.; TAN, Z.; GRANT, L. (2021). *Phenological shifts in lake stratification under climate change*. Nature Communications, v. 12, n. 1, p. 1-12. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-021-22657-4>.