

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **MODELAGEM HIDRODINÂMICA DO LAGO PARANOÁ A PARTIR DO USO DO PROGRAMA DELFT3D**

*Giulia Yasmin Ramos Palmeira <sup>1</sup>; Alice Rocha Pereira <sup>2</sup> & Sergio Koide <sup>3</sup>*

**Abstract:** Lake systems such as Lake Paranoá offer very important ecosystem benefits to their communities; these are environments that must be preserved. Lake Paranoá has a variety of uses, including landscape composition, recreation, electricity generation, reception of treated effluents and, recently, it has come to be used as a water source for human consumption. In order to better understand how this system works, it was necessary to use mathematical modeling. Modeling is a tool used to represent reality in a simplified way, therefore, in this work it is used to describe Lake Paranoá's hydrodynamic behaviors. Delft3D was used to perform simulations for a short period, January and February 2024, with the aim of testing and evaluating the prospects (difficulties and benefits) of using the program in the hydrodynamic simulation of a lake system. The water levels of the reservoir reported by the model were observed and compared to the CEB measurements at the Dam without an active temperature model, and the influence of several parameters, such as the Dalton number, Stanton number, wind drag coefficient, etc., on the calibration of the lake temperature at certain monitoring points under the influence of the Delft3D temperature model were analyzed. The water levels in the model diverged from the measured levels. For the simulations with the temperature model active, the parameters and values used could not closely represent Lake Paranoá's stratification state in the months of analysis.

**Resumo:** Sistemas lacustres como o lago Paranoá oferecem benefícios ecossistêmicos muito importantes para sua comunidade; trata-se de ambientes que devem ser conservados. O lago Paranoá exibe uma multiplicidade de usos, entre eles a composição paisagística, a recreação, a geração de energia elétrica, a recepção de efluentes tratados e, recentemente, o uso como manancial para abastecimento humano. De forma a buscar uma melhor compreensão sobre o funcionamento desse sistema, faz-se necessário o uso de modelagem matemática. A modelagem é uma ferramenta utilizada para representar, de maneira simplificada, a realidade, portanto, neste trabalho é utilizada para descrever os comportamentos hidrodinâmicos do lago Paranoá. Foi utilizado o Delft3D para realizar simulações por um curto período, janeiro e fevereiro de 2024, com o objetivo de testar e avaliar as perspectivas (dificuldades e benefícios) de utilização do programa na simulação hidrodinâmica do sistema lacustre. Foram observados os níveis d'água do reservatório reportados pelo modelo em comparação às medições da CEB na Barragem sem um modelo de temperatura ativo e foram analisadas as influências de diversos parâmetros, como o número de Dalton, de Stanton, o coeficiente de arraste do vento, etc., na calibração da temperatura do lago em pontos de monitoramento sob a influência do modelo de temperatura do Delft3D. Os níveis d'água no modelo divergiram das cotas medidas. Para as simulações com o modelo de temperatura ativo, os parâmetros e valores utilizados não resultaram em uma boa representatividade do estado de estratificação do lago Paranoá nos meses de análise.

**Palavras-Chave** – “Simulação hidrodinâmica” “Lago Paranoá” “Delft3D”

1) Giulia Yasmin Ramos Palmeira; giuliyasmin@gmail.com

## INTRODUÇÃO

Lagos e reservatórios apresentam grande relevância ambiental local e oferecem serviços ecossistêmicos importantes para a sociedade adjacente e seres vivos diversos. Pode-se citar como benefícios a recepção e decomposição de resíduos, a amenização de secas ou enchentes, a recreação da população e a melhoria da paisagem local (Baron *et al*, 2002). Portanto, tem-se grande interesse humano em proteger esses sistemas lacustres, para tanto, deve-se, inicialmente, compreender os mecanismos hidrodinâmicos que regem esses ambientes.

Lagos são ambientes lênticos, ou semi-lênticos, logo, apresentam movimento hidrodinâmico reduzido quando comparado a rios, dessa forma, os lagos têm longo tempo de residência hidráulico e, portanto, podem apresentar maior vulnerabilidade a mudanças ambientais repentinas (Martin e McCutcheon, 1998). A hidrodinâmica descreve o movimento das águas de um sistema, o qual é observado por meio da entrada e saída de fluxos, pelo impacto da radiação solar no ambiente aquático e em processos como o de estratificação e mistura das camadas verticais de um lago.

A modelagem matemática é capaz de oferecer interpretações confiáveis sobre o funcionamento de sistemas complexos por meio de simplificações (Edwards e Hamson, 1989). O modelo Delft3D, desenvolvido pela empresa holandesa Deltares, possibilita a modelagem de sistemas lacustres e oferece módulos de hidrodinâmica, qualidade de água, morfologia, entre outros, para auxiliar na descrição do sistema como um todo (Deltares, 2021).

Dessa forma, nesse trabalho o modelo Delft3D foi aplicado para a simulação de um corpo hídrico extremamente relevante a sua região: o lago Paranoá, no Distrito Federal. De origem artificial, é um reservatório, que se formou a partir do barramento do rio Paranoá e conta com contribuição de alguns dos principais cursos d'água do Distrito Federal (Sema, 2024). O Lago foi planejado para servir a região a partir de uma multiplicidade de usos, incluindo a composição paisagística, a regulação do microclima, geração de energia elétrica, recreação da população e, recentemente, como manancial de abastecimento de água potável (Distrito Federal, 2020).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar preliminarmente as dificuldades de implementação do modelo Delft3D no lago Paranoá considerando os efeitos de ventos para a simulação de temperatura em um curto período. Na continuação da pesquisa serão realizadas simulações contínuas com séries de tempo maiores.

## METODOLOGIA

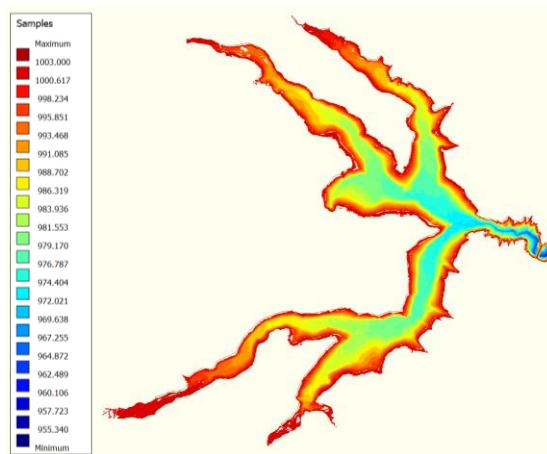
Foram realizadas simulações, para o período de janeiro e fevereiro de 2024, para verificar os níveis de água do Lago sem a influência de temperatura, simulações com os parâmetros padrão, “*default*”, do programa e com parâmetros alterados para checar o desempenho do modelo em relação à temperatura da água do Lago. A alteração manual dos parâmetros “*default*” do programa foi realizada para analisar, de maneira simplificada, as dificuldades de calibração do modelo. Os parâmetros alterados se referem ao número de Dalton, de Stanton, o coeficiente de rugosidade de Manning, coeficiente de arraste do vento e difusividade turbulenta horizontal uniforme. Após as simulações, realizou-se a análise dos resultados a partir dos dados observados de temperatura proveniente de monitoramento feito pelos autores.

## Dados utilizados

Os dados necessários para as simulações são de caráter morfométrico, hidrológico e climatológico em escala temporal diária. Para a morfometria, foram utilizados os dados proporcionados pelo Convênio nº 01/2017 intitulado “Estudo Multidisciplinar do Estado Físico do Lago Paranoá: Topo-Batimetria” resultado da parceria realizada entre a Adasa e o Instituto de

Geociências da Universidade de Brasília (Adasa, 2019a). Esse estudo foi utilizado previamente por Teixeira (2019) para criar a batimetria do Lago Paranoá, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Batimetria do lago Paranoá (Adaptada: Convênio N° 01/2017 – Adasa-UnB; Teixeira, 2019)



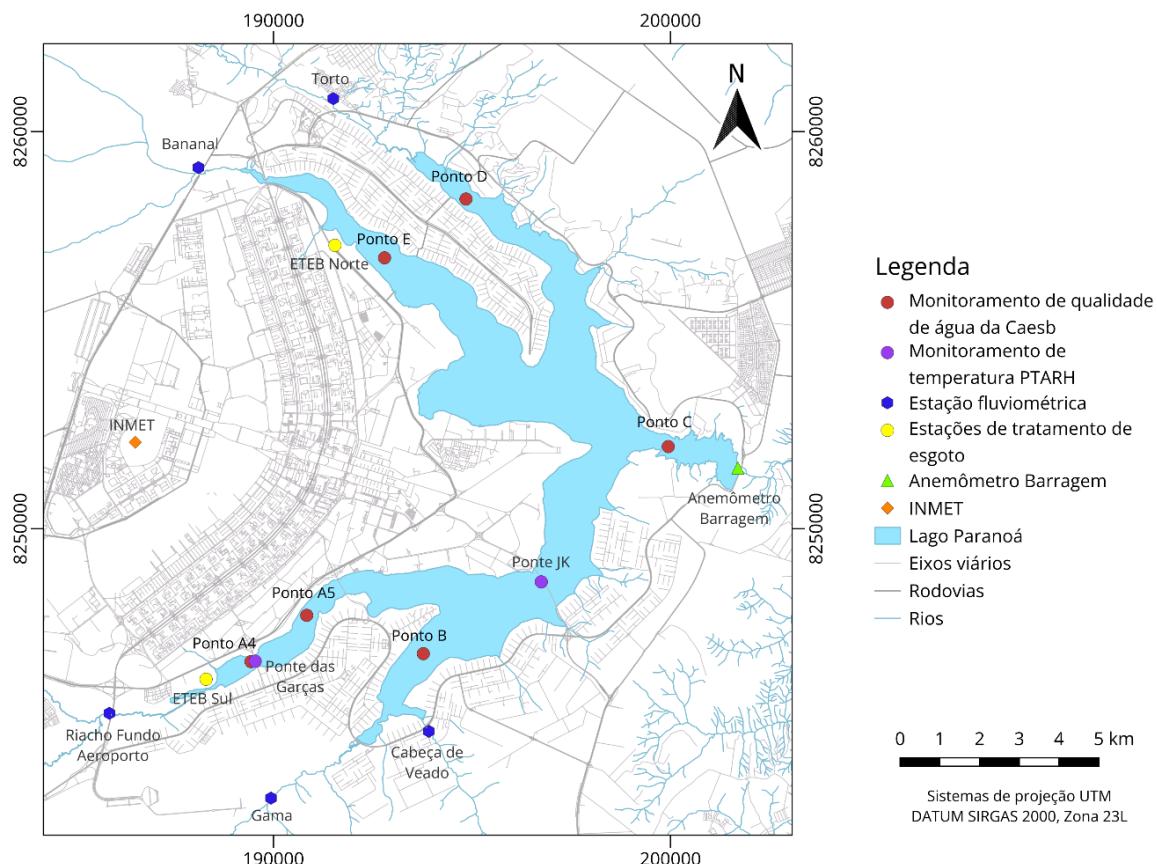
No que se refere aos dados hidrológicos, inclui-se as contribuições pelos principais rios tributários ao Lago, o Ribeirão do Torto, o Córrego Bananal, o Riacho Fundo, o Ribeirão do Gama e o Córrego Cabeça de Veadão (Adasa, 2019b). As informações podem ser encontradas pelo portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA). A frequência dos dados utilizada é diária, com falhas, portanto, foi realizado o preenchimento das séries e análise de consistência. Há, também, a contribuição dos efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) do Lago pela ETE Brasília Norte (ETEB Norte) e Brasília Sul (ETEB Sul).

Quanto às contribuições difusas, cita-se a entrada de volume pela drenagem das sub-bacias que aportam ao Lago Paranoá. Há o aporte pela drenagem direta vindo pela região do Plano Piloto e a contribuição pela vertente leste do lago. As vazões de contribuição de áreas não monitoradas são estimadas a partir da vazão específica de sub-bacias com grau de urbanização semelhante, conforme a metodologia de Nunes (2016). Para as saídas de água do sistema, se utiliza os dados do fluxo pela barragem, pelo vertedor e pela turbina, operada pela CEB. Os dados utilizados, cedidos pela CEB, também são diários.

Por fim, os dados climatológicos utilizados são parte do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e parte obtidos em projeto de pesquisa do PTARH. São utilizados os seguintes dados diários: umidade relativa, temperatura do ar, nebulosidade e radiação solar da estação de Brasília, código 83377, INMET. Os dados do PTARH utilizados foram as informações de velocidade e direção de vento medidos na Barragem e temperaturas em profundidade para a ponte JK e ponte das Garças.

As séries dos afluentes também contam com a informação de temperatura para a simulação com modelo de temperatura ativo. Os dados de temperatura foram medidos e cedidos pela Caesb. Na Figura 2 são apresentados os locais relevantes para o estudo incluindo os pontos A5, B, C, D e E, onde são medidas características de qualidade pela Caesb.

Figura 2 - Locais de coleta de dados e monitoramento da área do entorno, afluentes e do lago Paranoá (Elaborado pela autora).



## Modelo Delft3D

A montagem do modelo no programa consistiu, inicialmente, na inserção da malha de 47.468 nós produzida por Teixeira (2019), inserção da batimetria e interpolação à malha. Foi definido o uso de 10 camadas do tipo sigma ( $\sigma$ ) na dimensão vertical. As camadas sigma são flexíveis e se adaptam a morfometria. Em seguida, foram adicionados os pontos de observação A5, B, C, D e E (Figura 2) e definidas as seções de observação nos locais desses pontos de observação.

A temperatura inicial foi definida como uma média dos valores medidos nos 5 pontos de observação (A5, B, C, D e E) para o mês de janeiro. Foram efetuadas simulações sem e com a influência da temperatura. Nesse segundo caso, foram considerados os dados meteorológicos (umidade relativa, temperatura do ar, nebulosidade e radiação solar).

## Simulações hidrodinâmicas realizadas

Foi realizada uma simulação hidrodinâmica sem modelo de temperatura ativado para se observar os níveis de água no sistema do dia 01/01/2024 até o dia 29/02/2024. Após essa primeira simulação, foram feitas as simulações com o modelo de temperatura ativo. Com temperatura, foi realizada uma simulação sem calibração e duas em tentativas de calibração do modelo.

Com a simulação sem calibração (definições da Tabela 1, na coluna “Sem calibração”) foram comparados os perfis de temperatura do ponto de observação C, da ponte JK e das Garças. As calibrações foram iniciadas com os parâmetros da coluna “Calibração 1” na Tabela 1. Em seguida, foi feita uma simulação com os parâmetros utilizados por Teixeira (2019) (coluna “Calibração 2” na

Tabela 1). Para visualizar os resultados se utilizou do software QuickPlot. Se utilizou da métrica de quantificação de erro RMSE (Raiz do Erro Quadrático Médio) para avaliar o desempenho do modelo.

Tabela 1 - Definições aplicadas para as simulações do lago Paranoá com o Delft3D

Grupo no Delft3D	Categoria	Definição/Valor			unidade
		Sem calibração	Calibração 1	Calibração 2	
Condições iniciais	Nível da água	999,86			m
	Temperatura	26,5	26,5	25	
Parâmetros físicos	Rugosidade	Coeficiente de rugosidade (Manning)	0,023	0,025	0,025 $m^{-1/3}/s$
	Viscosidade	Difusividade turbulenta horizontal uniforme	0,1	0,001	0,001 $m^2/s$
	Temperatura	Número de Stanton	0,0013	0,001	0,007 -
		Número de Dalton	0,0013	0,0006	0,003 -
Vento	Tipo de coeficiente de arraste		Smith & Banks – 2 break points	Constante	Constante -
	Coeficiente de arraste		0,00063	0,005	0,005 -
			0,00723		

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação sem modelo de temperatura ativo não requer a inserção dos dados meteorológicos. Portanto, o objetivo dessa simulação é observar os níveis da água mediante as entradas e saídas do sistema. Na Tabela 2 são comparadas as cotas registradas pela CEB com os resultados das cotas simuladas pelo programa para os dias 07, 15 e 31 de janeiro e para o dia 29 de fevereiro de 2024.

Tabela 2 - Comparação dos níveis de água reais medidos na Barragem e simulados.

	Cota na Barragem (Fonte: CEB) (m)	Cota na Barragem simulação (m)	Erro (m)	Métricas	Tempo de processamento
01/01/2024	999,86	999,86	0	$R^2 = 0,889$ RMSE = 1,581	13 horas e 17 minutos
07/01/2024	1000,40	999,63	0,77		
15/01/2024	1000,30	999,31	0,99		
31/01/2024	1000,05	998,68	1,37		
29/02/2024	999,93	997,37	2,56		

Os resultados apontam uma divergência com os níveis de água registrados pela CEB na Barragem. Os níveis de água do modelo decrescem consistentemente com a passagem do tempo, o que pode ser indício da falta de calibração adequada ou de alguma inconsistência dos dados de vazão de entrada e/ou saída. O erro chegou a 2,56 metros e a tendência é de aumentar para maiores períodos adotados. O  $R^2$  (coeficiente de determinação) encontrado foi de 0,889 e o RMSE (Raiz do Erro Quadrático Médio) de 1,581.

Dessa forma, recomenda-se verificar o balanço de massa, contabilizando todas as entradas e saídas do sistema do Lago com o intuito de averiguar o desbalanço hídrico. É importante, também, investigar a influência da evaporação sobre o lago e as incertezas incluídas na estimativa do escoamento de base de áreas adjacentes contribuintes ao lago, como a área de drenagem direta e a vertente leste, e as contribuições diretas provindas de galerias.

A simulação com temperatura ativa e sem calibração necessitou de um tempo de processamento extenso de 24 horas e 45 minutos. Para essa simulação, foram comparados os dados monitorados no ponto C aos perfis de temperatura desse local nos dias em que os dados foram coletados pela Caesb,

23/01/2024 e 29/02/2024, e apresentados o RMSE para se quantificar o erro do modelo (Figura 5.1). Há uma variação RMSEs de 1,01 até 2,24 °C (1,23 °C de diferença).

Figura 3 - Comparação dos perfis de temperatura (observados e calculados) com a aplicação do Delft3D na simulação do Ponto C do lago Paranoá no dia 23/01/2024 (a) e 29/02/2024 (b) com os dados da Caesb.

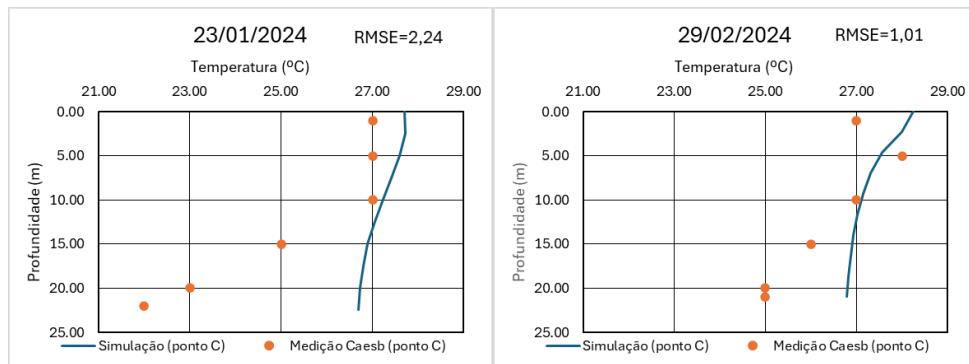


Figura 4 - Comparações dos perfis de temperatura (observados e calculados) com a aplicação do Delft3D na simulação do lago Paranoá com os dados do PTARH para a ponte JK.

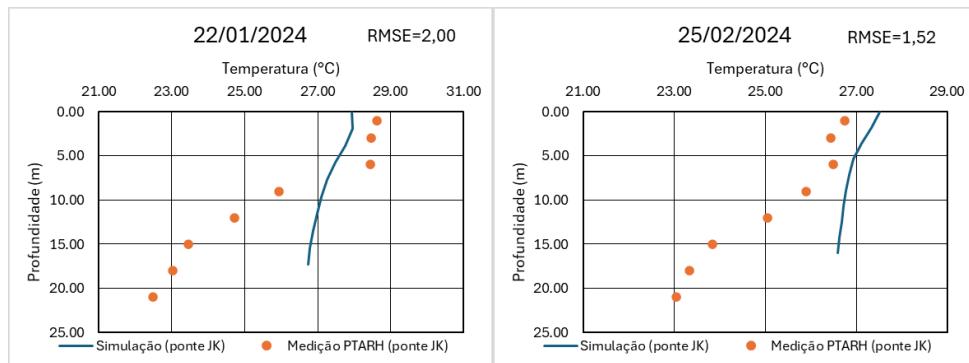
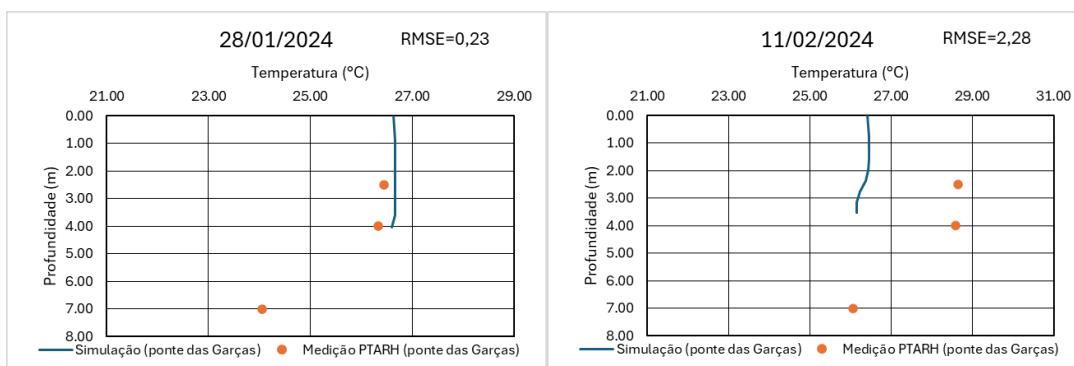


Figura 5 - Comparação dos perfis de temperatura (observados e calculados) com a aplicação do Delft3D na simulação do lago Paranoá com os dados do PTARH para a ponte das Garças.



Os dados de temperatura fornecidos pelo PTARH são referentes às medições localizadas na ponte JK e na ponte das Garças. Essas informações são comparadas, respectivamente, nas Figura 4 e Figura 5. Para a ponte JK, houve uma variação dos RMSEs de 1,52 até 2,00 °C (0,48 °C de diferença). Na ponte das garças, a variação de RMSEs foi de 0,23 até 2,28 °C (2,05 °C de diferença).

Constatou-se, pelos perfis da Figura 5, que o modelo liberou resultados com profundidades bem menores do que as observadas, o que, provavelmente, está associado à definição e configuração das profundidades verticais de observação onde o modelo libera os valores resultantes da simulação, tais profundidades são definidas pelas camadas sigma ( $\sigma$ ) utilizadas pelo modelo. Os perfis de temperatura

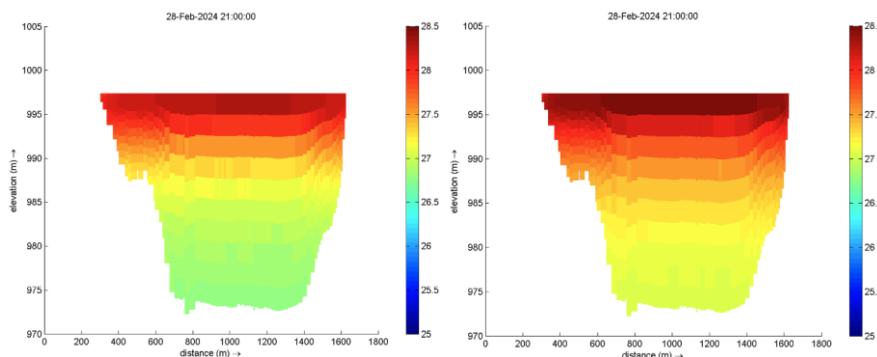
simulados, por sua vez, demonstram um estado majoritariamente de mistura do lago Paranoá, no entanto, os dados das medições apontam que, para o período de estudo, o Lago se encontra estratificado.

A seguir, realizou-se a alteração dos parâmetros da Tabela 1 para simular tentativas de calibração do modelo. Ao se observar como o lago passou pouco tempo estratificado nas simulações com parâmetros padrões, buscou-se reduzir o valor do número de Dalton, para, ao diminuir as taxas de evaporação, se diminuir a liberação de energia e assim haver melhor retenção de energia na superfície. Da mesma forma, diminui-se o número de Stanton para reduzir a taxa de fluxo de calor convectivo e haver menos transferência de calor na água.

Também foi alterado o coeficiente de arraste do vento de 0,0006 para 0,0005, com o objetivo de diminuir a força de mistura do vento e, por fim, aumentou-se o coeficiente de rugosidade de Manning, que está relacionado a tensão no leito do lago, com seu aumento busca-se regular a tensão de cisalhamento exercida pelo fundo. A difusividade turbulenta uniforme não foi alterada.

A combinação de todas as alterações mencionadas não teve o resultado pretendido. Ao invés de estratificação, houve um aumento constante da temperatura para toda a coluna d'água, uma média de aumento de 0,24 °C para o ponto C ao fim do período de simulação. Exemplifica-se essa situação na Figura 6 (a) e (b), uma comparação das temperaturas na seção do ponto de observação C antes e depois dessa tentativa de calibração.

Figura 6 - Comparação das temperaturas (observadas) com a aplicação do Delft3D na simulação do lago Paranoá na seção do ponto C com valores default (a) e valores alterados (b)



Atenta-se ao fato de as datas nas seções da Figura 6 serem do dia 28/02/2024, 21h e não 29/02/2024. Tal fato ocorre provavelmente devido a um problema de processamento do modelo. Houve esse erro constantemente para as simulações com período maior a um mês. Os resultados só eram lançados até a vigésima nona hora do penúltimo dia do período. Logo, são comparados esse último resultado (28/02/2024, 21h) com o último dia do período (29/02/2024).

Em seguida, foi realizada uma simulação utilizando os parâmetros da calibração por Teixeira (2019). Ressalta-se, porém, que a calibração de Teixeira (2019) considerou diferentes dados em suas simulações, o que pode ser um ponto de discordância na calibração atual. Na simulação anterior se utilizou a temperatura inicial de 26,5°C, mas como os resultados indicaram um aumento de temperatura geral, nesta simulação com os dados de Teixeira (2019), se adota uma temperatura inicial constante de 25°C.

A combinação dos parâmetros utilizados por Teixeira (2019) e a temperatura inicial estabelecida resultou em uma temperatura geral, nos dois meses, mais fria do que as duas simulações anteriores. Na maioria do período o lago estava em estado misturado, por exceção do fim de fevereiro. Pelo curto período de simulação não é possível afirmar que os resultados não poderiam fazer parte de

um período de aquecimento do modelo, todavia, é possível buscar valores de calibração que se adequam mais rapidamente.

Apresenta-se as comparações dos perfis de temperatura no ponto C para a presente simulação com as medições pela Caesb na Figura 7. Na Figura 8 se apresenta comparações dos perfis de temperatura na ponte JK com os dados cedidos pelo PTARH, onde houve uma variação dos RMSEs de 1,89 até 2,46 °C (0,57 °C). Nesses perfis é possível observar diferenças na temperatura superficial de aproximadamente 3°C indicando a necessidade de aquecimento do modelo e adequação dos valores iniciais, devendo ser inseridos de forma espacializada, principalmente na vertical.

Figura 7 - Comparação dos perfis de temperaturas (observados e calculados) com a aplicação do Delft3D na simulação do lago Paranoá no ponto C com as medições da Caesb nos dias 23/01/2024 (a) e 29/02/2024 (b).

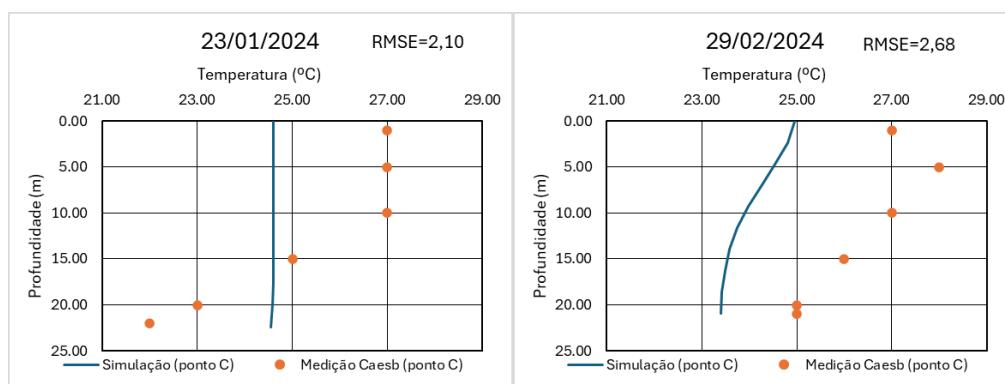
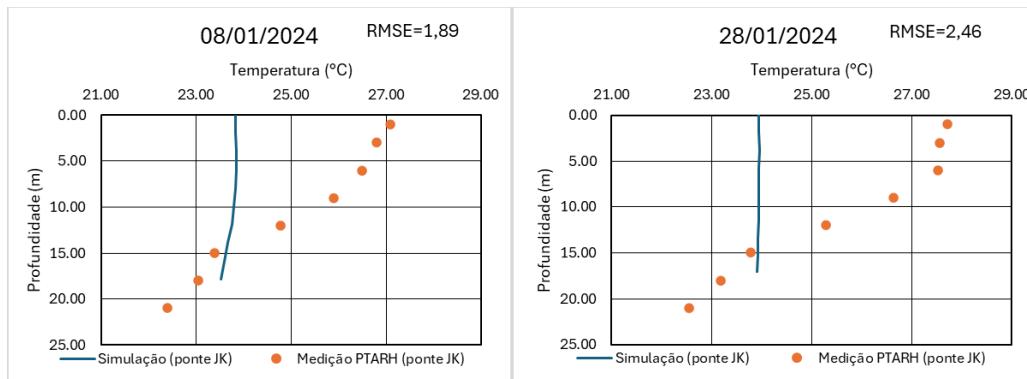


Figura 8 - Comparações dos perfis de temperatura (observados e calculados) com a aplicação do Delft3D na simulação do lago Paranoá na ponte JK com as medições do PTARH.



Os valores resultantes de RMSEs de todas as simulações mostram pouca previsibilidade dos erros registrados. Para a mesma simulação sem calibração tem-se uma variação de 1,23 °C do menor e maior RMSEs para o ponto C, 0,58 °C para a ponte JK e 2,05 °C para a ponte das Garças. Já a simulação utilizando os valores de Teixeira (2019) teve variação de 0,57 °C apenas, apesar de a visualização dos resultados pela Figura 5.7, apontar como a simulação não descreveu bem a realidade do lago de janeiro e fevereiro de 2024.

Por fim, ressalta-se os tempos de processamento utilizados para as simulações nessas tentativas de calibração. A primeira necessitou de 19 horas e 50 minutos e a segunda de 36 horas e 21 minutos, uma expressiva diferença, considerando o mesmo período total de análise. O ajuste dos parâmetros pode ter causado uma instabilidade numérica na resolução das equações hidrodinâmicas e por isso o tempo de processamento ter subido. Portanto, para se acelerar o processamento, é recomendado reduzir a discretização da malha utilizada e assim diminuir a quantidade de iterações realizadas pelo programa.

## CONCLUSÃO

Esse trabalho mostrou tentativas preliminares de utilização do modelo Delft3D na simulação do lago Paranoá utilizando-se dados reais de vento e realizando-se a calibração manual dos dados de temperatura.

As tentativas não levaram ainda a valores razoáveis de calibração dos parâmetros e, logo, os valores das temperaturas simuladas não se encontram próximos aos de temperatura observada. A obtenção de menores valores de erro envolve testar a espacialização dos dados de temperatura inicial e a melhora da calibração, mediante o teste de diferentes valores para os parâmetros: número de Dalton, de Stanton, o coeficiente de rugosidade de Manning, coeficiente de arraste do vento e difusividade turbulenta horizontal uniforme.

Além disso, mediante os extensos tempos de processamento para todas as simulações realizadas e a necessidade do aquecimento do modelo, recomenda-se a redução do número de células/nós da malha utilizada, de forma a viabilizar a simulação e calibração para maiores períodos.

## REFERÊNCIAS

- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa). (2019a). “Relatório anual de atividades 2019”. Disponível em: <[https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area\\_de\\_atuacao/recursos\\_hidricos/monitoramento/Relatorio\\_Annual\\_Atividades\\_2019.pdf](https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/monitoramento/Relatorio_Annual_Atividades_2019.pdf)>. Acesso em: 05/10/2024.
- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa). (2019b). “Elaboração do Plano de Recursos Hídricos do Distrito Federal”. Disponível em: <[https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/consultas\\_publicas/CP\\_006-2019/Elaboracao\\_plano\\_recursos\\_hidricos.pdf](https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/consultas_publicas/CP_006-2019/Elaboracao_plano_recursos_hidricos.pdf)>.
- Baron, JS. Poff, NL. Angermeier, PL. Dahm, CN. Gleick, PH. Hairston, NG. *et al.* (2002). “Meeting ecological and societal needs for freshwater”. *Ecol Appl*. 2002; 12: 1247–1260
- Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan). (2014). “Síntese de Informações Socioeconômicas e Geográficas 2014”. Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Disponível em: <<https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/S%C3%ADntese-de-Inform%C3%A7%C3%A3o%C3%A7%C3%9Ces-Socioecon%C3%B3micas-e-Geogr%C3%A3ficas-2014.pdf>>. Acesso em: 07/10/2024
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb). (2022). “Plano de Expansão – Volume 1 Tomo 3”. Brasília: Caesb, 2022. Disponível em: <[https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/legislacao/Res\\_ADASA/2022/Tomo/Tomo%203%20-%20Plano%20de%20Expans%C3%A3o.pdf](https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/legislacao/Res_ADASA/2022/Tomo/Tomo%203%20-%20Plano%20de%20Expans%C3%A3o.pdf)>. Acesso em: 08/10/2024
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb). (2024b) “Relatório de Indicadores de Desempenho”. Brasília: Caesb, 2024. Disponível em: <<https://s3.caesb.df.gov.br/www/prod/site1/2024/07/Relatorio-Indicadores-Desempenho2024.pdf>>. Acesso em: 24/03/2025.
- Costa, M. E. L. (2022). “Poluição difusa na bacia do Lago Paranoá”. 143 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/45551>>. Acesso em: 23/03/2025

Deltas. (2021). “About Delft3D”. Disponível em: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/about>. Acesso em: 10/09/2024

Distrito Federal. Secretaria de Estado de Obras e Infraestrutura. (2020). “*Plano Distrital de Saneamento Básico*”. 282 p. Disponível em: <<https://www.so.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/03/Plano-Distrital-de-Saneamento-B%C3%A1sico.pdf>>. Acesso em: 09/10/2024

Edwards, D. e Hamson, M. (1989). “*Guide to Mathematical Modelling*”. Macmillan Education UK. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-10042-2>.

Martin, J.L. e Mccutcheon, S.C. (1998). “*Hydrodynamics and transport for water quality modeling*”. Florida, Estados Unidos <https://doi.org/10.1201/9780203751510>. da América: CRC Press, Inc.

Nunes, G. (2016). “*Aplicação do modelo SWAT no estudo hidrológico e de qualidade de água da Bacia Hidrográfica do lago Paranoá – DF*”. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM - 185/2016, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, (148p).

Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA). (2024). “*Mapa Hidrográfico do Distrito Federal*”. Secretaria do Meio Ambiente do Distrito Federal”. Disponível em: <https://www.sema.df.gov.br/mapa-hidrografico-do-df/>.

Teixeira, T. M. de N. (2019). “*Modelagem Hidrodinâmica Tridimensional do Lago Paranoá para Análise dos Efeitos da Operação do Reservatório*”. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM - 219/2019, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 143p