

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE DISPERSÃO DE ÓLEO NO RIO GUAÍBA/RS

Cassiano Ribeiro Michelin¹; Bianca dos Santos Von Ahn¹; Eduardo Puhl¹; Elírio E. Toldo Jr²;

Rafael Manica¹

Abstract: The Guaíba River is one of the most important rivers in Rio Grande do Sul (RS), serving as water supply for cities and industries, as well as a leisure area and navigation. This last one can bring some environmental risk in the case of accidents or incidents. Then, in the present work, numerical modeling (SISBAHIA) was used to simulate a hypothetical spill of 1403 m³ of oil in the winter season, where the flow rate of the Guaíba River is 2400 m³/s. Because the river has a large discharge, the oil slick moved quickly, following the center and the left bank of the river. 96 hours after the spill, the oil arrived at Lagoa dos Patos, presenting an area of 100% probability of occurrence in the Guaíba River equal to 205,585 km². The results presented on the simulations help on the key information about oil spill in the Guaíba River. In fact, this type of result aid decision making to minimize the environmental impacts resulting from an accident/incident of this kind of magnitude.

Resumo: O Rio Guaíba é um dos rios mais importantes do Rio Grande do Sul (RS). Serve de abastecimento para cidades e indústrias, como área de lazer e para a navegação. Essa última sujeita a acidentes/incidentes que podem trazer riscos ambientais nesse corpo hídrico. No presente trabalho, a modelagem numérica (SISBAHIA) foi utilizada para simular um derrame hipotético de 1403 m³ de óleo na época de inverno, onde a vazão do Rio Guaíba apresenta 2400 m³/s. Pelo rio apresentar uma grande vazão, a mancha de óleo se deslocou rapidamente, seguindo pelo centro e pela margem esquerda do rio. Após 96 horas do derrame, o óleo chegou à Lagoa dos Patos, apresentando uma área de probabilidade de ocorrência de 100% no Rio Guaíba de 205.585 km². Os resultados apresentados nas simulações auxiliam nas principais informações sobre o derramamento de óleo no rio Guaíba. E, este tipo de resultado auxilia a tomada de decisão para minimizar os impactos ambientais decorrentes de um acidente/incidente desta magnitude.

Palavras-Chave - Simulação Numérica, Dispersão de óleo, Rio Guaíba/RS.

INTRODUÇÃO

O Rio Guaíba é considerado o corpo hídrico mais importante do estado do Rio Grande do Sul (RS) em termos de navegação e abastecimento de água para a população e indústrias (Andrade *et al.*, 2017). Possui 496 km² de área superficial, cerca de 50 km de comprimento e largura máxima de 20

1) Graduando em Engenharia Hídrica, Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Brasil. E-mail: cassianormichelon@gmail.com

2) Graduanda em Engenharia Hídrica, Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Brasil. E-mail: b.vonahn@hotmail.com

3) Professor Associado, Departamento de Hidromecânica e Hidrologia, Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Brasil. E-mail: eduardo.puhl@ufrgs.br

4) Professor Titular, Centro de Estudos de Geologia e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Brasil. E-mail: toldo@ufrgs.br

5) Professor Associado, Departamento de Hidromecânica e Hidrologia, Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Brasil. E-mail: manica@iph.ufrgs.br

km, com profundidade média de 2 m, podendo chegar a 12 m no canal de navegação. Na margem leste são 85 km de terra (70 km no município de Porto Alegre), e na margem oeste são 100 km (DMAE, c2023).

O Rio Guaíba está inserido na Região Hidrográfica de mesmo nome, que corresponde a 30% da área do estado, abrangendo 251 municípios no centro e nordeste do RS, entre eles Porto Alegre e concentrando 61% da população (Andrade *et al.*, 2019). Recebe afluência de 8 bacias hidrográficas, área de aproximadamente 85 mil km², representadas principalmente pelos rios Jacuí, Taquari, Sinos, Caí e Gravataí (Andrade Neto *et al.*, 2012). O rio Jacuí é o maior contribuinte do rio Guaíba, sendo responsável por cerca de 85% da vazão afluente. Já os Rios Caí, Sinos e Gravataí são responsáveis por cerca de 5%, 7% e 2,5%, respectivamente, da vazão de entrada (Jobim, 2012).

Segundo Nicolodi (2007), o regime hidrodinâmico do rio Guaíba é considerado complexo tanto em épocas de cheia, quanto em épocas de estiagem e com base nos múltiplos fatores que intervêm no seu escoamento (dando destaque para a influência do vento), indicou que o Guaíba “não é só um canal de extensão dos seus tributários, mas um tipo de reservatório, intimamente ligado à Laguna dos Patos”. Dentre as condicionantes que determinam a sua dinâmica (e as variáveis associadas), estão: geometria (batimetria, comprimento, largura), correntes (velocidade, direção), ondas (altura, direção, frequência), sedimentos (granulometria, distribuição, ressuspensão) e nível d’água (variações).

Devido a constante navegação nas suas águas, eventos de derramamento de óleo oriundo dos navios pode ser um importante desastre ambiental. Entender como esse corpo hídrico responde a um evento catastrófico dessa natureza é fundamental para que os danos causados sejam minimizados. Classicamente, o óleo derramado em corpos d’água sofre o espalhamento inicial no momento em que encontra a água. Esse espalhamento natural do óleo ocorre devido as propriedades físicas e químicas do óleo, devido a ação das forças gravitacionais e de tensões superficiais. Após o derrame, a mancha sofre um grande espalhamento devido um conjunto de processos naturais que se relacionam entre si e variam ao longo do tempo. Além de dependerem das condições climáticas e ambientais, do tipo de óleo, sua composição química, das suas propriedades como fluido e das condições do derramamento o óleo ainda está sujeito ao transporte devido à circulação do vento e das correntes de água (advecção) (Belloli, 2022).

Uma maneira de compilar todas as informações descritas acima para avaliar e reproduzir fenômenos ambientais é através da modelagem numérica, a qual se mostra como uma ferramenta versátil pela sua facilidade de aplicação e de baixo custo de aplicação. É considerada como uma ferramenta essencial em estudos e projetos ambientais e cada vez mais requisitada como obrigatória por órgãos governamentais para empreendimentos ambientais. Com a utilização da modelagem numérica é possível simular diversos eventos de derrame de óleo, com diversas características e diferentes espaços de tempo, obtendo resultados do comportamento da dispersão e trajetória do óleo no ambiente aquático e assim, minimizar os impactos de um eventual derramamento.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a dispersão da mancha de óleo no Rio Guaíba/RS devido um derrame hipotético ocorrido nos meses de inverno. Para tanto será aplicada a modelagem numérica como a principal ferramenta de avaliação dessa dispersão, onde serão reproduzidos cenários de condições de volume de óleo derramado, vazão e nível d’água e de vento correspondentes as épocas de cheia desse corpo hídrico.

METODOLOGIA

A área de interesse do estudo para o derrame de óleo foi o ponto mais a jusante da poligonal do Porto de Porto Alegre (Figura 1). Localizado na margem leste do Rio Guaíba, próximo ao Delta

do Jacuí, o Porto de Porto Alegre não se encontra na rota direta de transporte de petróleo e seus derivados, entretanto diversos óleos são utilizados como combustíveis das embarcações, não podendo ser descartada a possibilidade de ocorrência de incidentes de derramamentos. O Porto possui 8 km de cais acostável, divididos entre os cais Mauá, Navegantes e Marcílio Dias. Desde 2005 as atividades se concentram no Cais Navegantes, com capacidade para operação de até três navios de longo curso de forma simultânea (Belloli, 2022).

Figura 1 – Mapa da poligonal da área do Porto Organizado de Porto Alegre indicando o ponto do estudo do derramamento hipotético de óleo. Fonte: Adaptado de Belloli, 2022.



Para viabilizar o estudo da dispersão da mancha de óleo no Rio Guaíba, o presente trabalho utilizou o modelo numérico Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBaHiA). O SisBaHiA é um sistema profissional de modelos computacionais desenvolvido na Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica do Programa de Engenharia Oceânica, e na Área de Banco de Dados do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, ambos da COPPE/UFRJ (Barroso Júnior, 2009), e que já foi adotado em dezenas de estudos envolvendo modelagem de corpos de água naturais.

Para as análises feitas neste trabalho foram usados o modelo hidrodinâmico e o modelo de transporte Lagrangeano-Probabilístico. No primeiro modelo, obteve-se as correntes geradas no Rio Guaíba pela ação dos ventos e pela contribuição das vazões afluentes ao rio. Com o modelo de transporte Lagrangeano-Probabilístico, pôde-se analisar o deslocamento das partículas da mancha de óleo durante um determinado período de tempo, como também obter a probabilidade de ocorrência de passagem da mancha de óleo. Com o conhecimento do deslocamento da mancha de óleo, foi possível calcular a área e o perímetro da mancha de dispersão e as probabilidades de ocorrência de passagem da mancha ao longo de todo o Rio Guaíba.

O presente estudo simulou uma única fonte de derrame de óleo no limite de jusante da poligonal do Porto de Porto Alegre (Figura 1). O volume de 1403 m³ de óleo utilizado na simulação representa o volume do tanque de combustível do “Bow Frida”, navio com maior capacidade de armazenamento de combustível que acessa o porto de Porto Alegre. O modelo hidrodinâmico conta com 30 dias simulados para a estação de inverno, o que representa a época de cheia no Rio Guaíba com uma vazão de 2400 m³/s.

Sabe-se que derrames de óleo são eventos que não há controle de quando irão ocorrer, porém, definiu-se no período simulado do modelo hidrodinâmico o dia que apresentasse o maior espalhamento da mancha de óleo, visando a análise da dispersão do óleo no pior caso. Em estudos de derrame de óleo, considera-se que até o décimo dia após o derrame, o óleo ainda é detectável, sendo possível sua remoção e identificação no corpo d’água. Após esse período, devido a absorção das margens, decaimento e evaporação, a mancha de óleo não é mais detectável. No período dos 10 dias de simulação, fora adotada uma abordagem determinística e probabilística em diferentes instantes de tempo ao longo da dispersão da mancha de óleo no Rio Guaíba.

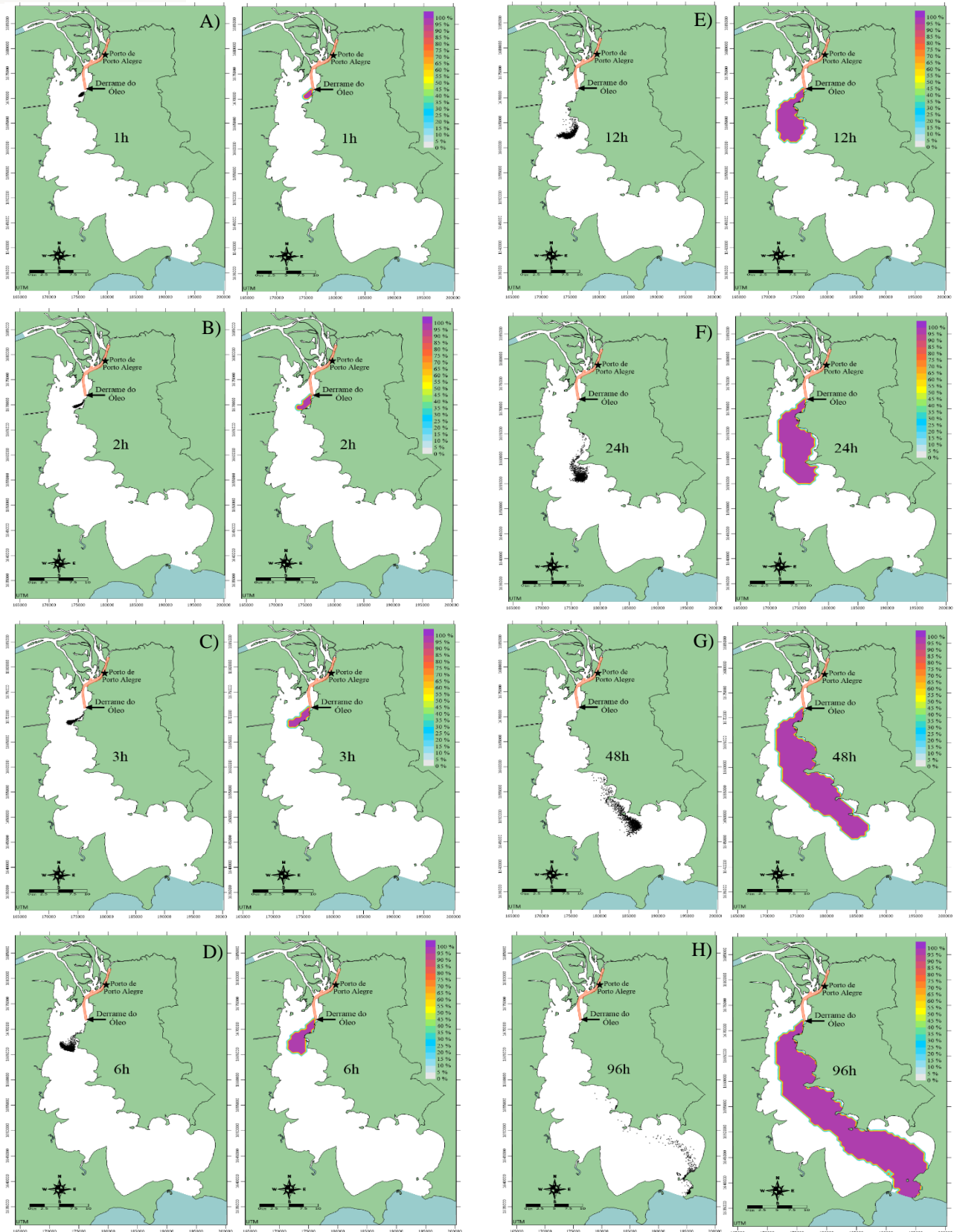
Utilizando o modelo hidrodinâmico e o modelo lagrangeano-probabilístico do SisBaHiA, foi simulado um derrame de 1 m³/s de óleo Bunker, durante 24 minutos, totalizando o volume de 1403 m³ referente ao maior tanque naval que acessa o Porto de Porto Alegre. Visando a avaliação do pior caso de espalhamento da mancha de óleo, o derrame aconteceu no vigésimo dia do modelo hidrodinâmico (dentre os 30 dias considerados).

Buscando uma análise em que a mancha do óleo apresentasse o maior espalhamento, a absorção do óleo pela margem do rio não foi considerada no modelo. Como a hidrodinâmica utilizada representava a época de inverno, a curva de decaimento e a viscosidade do óleo fora ajustada para tal época.

RESULTADOS

A avaliação da dispersão do derrame de óleo no limite de jusante da poligonal do Porto de Porto Alegre foi analisada ao longo de 10 diferentes instantes de tempo após o derrame. Com a abordagem determinística foram gerados mapas da posição das partículas de óleo ao longo do Rio Guaíba e com a abordagem probabilística foram gerados mapas representando a probabilidade de passagem da mancha de óleo em cada instante de tempo selecionados após o derrame. Os mapas avaliados da posição das partículas de óleo e da passagem da mancha de óleo estão apresentados na figura 2.

Figura 2 –Mapas avaliados na posição das partículas de óleo e da passagem da mancha de óleo



A figura 2 apresenta a sequência de horários adotados para a análise da dispersão do derrame de óleo simulada. No tempo de 2 horas (figura 2B) após o derrame, é possível notar que o óleo já

encontrou a margem esquerda do rio, porém ainda com pouco espalhamento. Após 6 horas (figura 2D) do derrame, tem-se início a um maior espalhamento da mancha de óleo. Nas figuras 2E, 2F e 2G, 12 horas, 24 horas, 48 horas, respectivamente, após o derrame, é possível observar o grande espalhamento que a mancha de óleo sofreu ao longo do Rio Guaíba, seguindo principalmente pelo centro e margeando o lado esquerdo do rio. E após 96 horas (figura 2H) do derrame, o óleo chegou no limite sul do Rio Guaíba, seguindo em direção à Lagoa dos Patos com um comportamento de deslocamento similar as horas anteriores, onde o deslocamento pelo centro do rio fora o principal sentido da mancha de óleo.

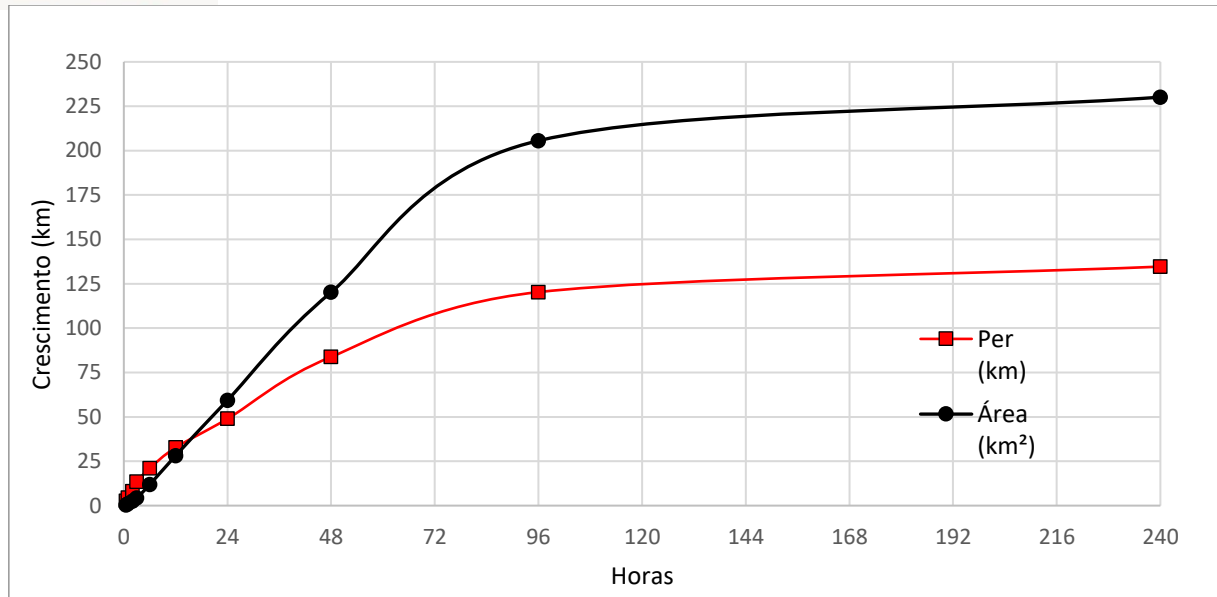
O conhecimento da mancha de probabilidade de passagem do óleo permitiu que fossem calculadas as áreas e perímetros referentes a cada probabilidade de ocorrência em cada intervalo de tempo selecionado após o derrame de óleo. A tabela 1 apresenta os resultados do perímetro e das áreas que a mancha de dispersão de óleo com as probabilidades de 100% de passagem em função do tempo.

Tabela 1 – Perímetro e áreas da mancha de dispersão de óleo com probabilidade de 100% de passagem em função do tempo

Tempo (h)	Probabilidade (%)	Perímetro (km)	Área (km ²)
0.5	100	2.734	0.373
1	100	4.522	1.091
2	100	8.147	2.492
3	100	13.440	4.388
6	100	21.090	11.815
12	100	32.730	28.160
24	100	48.936	59.372
48	100	83.787	120.214
96	100	120.292	205.585
240	100	134.642	230.108

A figura 3 apresenta os valores dos perímetros e das áreas da dispersão das manchas de cada mostrando o crescimento em função do tempo:

Figura 3 – Crescimento do perímetro e da área da mancha em função do tempo



É possível observar que a mancha apresenta uma estabilização a partir de 96 h até 240 h após o derrame. Porém, é importante observar que a mancha sai do domínio de modelagem seguindo em direção à Lagoa dos Patos, por esse motivo apresenta esse comportamento de estabilização da linha de crescimento, tanto de área, quanto de perímetro. É necessária uma posição de derrame de óleo a montante da poligonal para que se obtenha maior espaço dentro da malha de modelagem para obter um resultado mais confiável do crescimento e espalhamento da mancha de óleo ao longo do Rio Guaíba.

CONCLUSÕES

A época de inverno escolhida como cenário para a simulação de pior caso apresentou bons resultados de espalhamento e deslocamento da mancha de óleo, pois apresentava a maior vazão e menores temperaturas. Desta forma, após 96 h do derrame o óleo chegará à Lagoa dos Patos e apresentava uma área de 205.585 km², se deslocando principalmente pelo centro, e margeando o lado esquerdo do Rio Guaíba. Com esses resultados pôde-se obter importantes informações de um derrame hipotético de óleo ocorrido no Rio Guaíba e assim auxiliar na tomada de decisão para a minimização dos impactos ambientais decorrentes do acidente. Conclui-se que o modelo apresentou uma boa resposta frente ao problema simulado, apresentando bons resultados para as características configuradas no modelo.

REFERÊNCIAS

- Andrade, L. C. D., Rodrigues, L. R., Andrezza, R., & Camargo, F. A. D. O. (2019). Lago Guaíba: uma análise histórico-cultural da poluição hídrica em Porto Alegre, RS, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24, 229-237.
- Andrade, M. M., Scottá, F. C., Toldo Jr, E. E., Weschenfelder, J., & Nunes, J. C. (2017). Hidrodinâmica do Rio Guaíba: resultados preliminares. *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2017, Proceedings... Florianópolis, Brazil. ABRH.*

Andrade Neto, J. S. D., Rigon, L. T., Toldo Junior, E. E., & Schettini, C. A. F. (2012). Descarga sólida em suspensão do sistema fluvial do Guaíba, RS, e sua variabilidade temporal. *Pesquisas em Geociências, Porto Alegre. Vol. 39, n. 2 (maio/ago. 2012), p. 161-171.*

BARROSO JÚNIOR, V. (2009). *Metodologia para Geração de Cartas de Correntes de Maré em Sistemas Estuarinos e Recintos Portuários com Aplicação na Baía de Todos os Santos-BA. 2009. 157 p* (Doctoral dissertation, Dissertação de Mestrado (COPPE/UFRJ, M. Sc, Engenharia Oceânica) Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ).

BELLOLI, R. L. (2022). ESTUDO DA DISPERSÃO DE MANCHAS DE ÓLEO NO RIO GUAÍBA NA REGIÃO DO PORTO DE PORTO ALEGRE/RS. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS (DMAE). **Lago Guaíba**. Disponível em: https://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=197. Acesso em: 08/06/2023.

JOBIM, G. (2012). Dispersão de poluentes: simulação numérica do Lago Guaíba. 2012. *TCC (Graduação em Engenharia Civil)-Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.*

Nicolodi, J. L. (2007). *O padrão de ondas no Lago Guaíba e sua influência nos processos de sedimentação. Porto Alegre, 179p.* Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem o financiamento da Portos-RS, através do Programa de Gestão Ambiental Portuária - Porto de Porto Alegre, Projeto 2.20.2126 (423), Convênio no 1117/2021, executado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.