

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

RODRIGO RODRIGUES BARBOSA

**DESAFIOS DAS EMBARCAÇÕES QUE OPERAM EM COMUNIDADES
ALAGADAS NA REGIÃO AMAZÔNICA**

Manaus

2025



RODRIGO RODRIGUES BARBOSA

**DESAFIOS DAS EMBARCAÇÕES QUE OPERAM EM COMUNIDADES
ALAGADAS NA REGIÃO AMAZÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Naval, na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas.

Orientador: Prof. Dr. Jassiel Vladimir Hernández

Fontes

Manaus

2025



Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

B238d	<p>Barbosa, Rodrigo Rodrigues DESAFIOS DAS EMBARCAÇÕES QUE OPERAM EM COMUNIDADES ALAGADAS NA REGIÃO AMAZÔNICA / Rodrigo Rodrigues Barbosa. Manaus : [s.n], 2025. 58 f.: color.; 21.0 cm.</p> <p>TCC - Graduação em Engenharia Naval- Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025. Inclui Apêndice. Orientador: Jassiel Vladimir Hernández Fontes.</p> <p>1. Análise de risco. 2. CFD. 3. comunidades alagadas. 4. pequenas embarcações. 5. região amazônica. I. Jassiel Vladimir Hernández Fontes (Orient.) II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU(1997)629.5</p>
-------	---



RODRIGO RODRIGUES BARBOSA

**DESAFIOS DAS EMBARCAÇÕES QUE OPERAM EM COMUNIDADES
ALAGADAS NA REGIÃO AMAZÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Naval, na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas.

Orientador: Prof. Dr. Jassiel Vladimir Hernández
Fontes

Aprovado em: 28 de novembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Jassiel Vladimir Hernández Fontes
Universidade do Estado do Amazonas

Prof. Dr. Elvis Jhoarsy Osorio Santander
Universidade do Estado do Amazonas

Prof. Dr. Eduardo Rafael Barreda del Campo
Universidade do Estado do Amazonas

Manaus

2025



AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, que em sua imensa misericórdia me permitiu chegar até aqui, a minha Mãe Dra. Vanilza Savedra, que nunca mediu esforços para ajudar seus filhos a conquistarem seus sonhos, ao meu Pai Sr. Moisés Barbosa que nunca deixou de acreditar em seu primogênito, e aos meus irmãos Victor e Augusto, aos quais eu devo exemplo e inspiração.

A todos os meus amigos e colegas de curso, Adson, Gelson, Paulo, e tantos outros que participaram da minha jornada por essa Universidade, por todas as inúmeras experiências, as noites de estudo, a emoção do futebol, o cinema toda segunda, jogatina na C22, rodízio de rodízios e muitas risadas pelos corredores. A meus parceiros Marcelo, Wesley, Arlen e Junior pelo apoio profissional na minha reta final. Agradeço também a Sra. Vanda Savedra pela coleta de dados e todo o esforço, e ao SGT Evaldo pelas informações importantes para a elaboração deste trabalho. A todos os professores que compartilharam tanto conhecimento conosco, em especial ao professor Dr. Barreda pelo seu grande esforço e dedicação para a consolidação do curso de Engenharia Naval da UEA, e ao Professor Dr. Jassiel, que foi muito mais que orientador deste trabalho, um amigo com que podemos contar.

A todo o restante da minha família e amigos, a todas as minhas tias que sempre me apoiaram na dura tarefa de estudar longe de casa e torceram pelo meu sucesso. Para a minha falecida avó Isa Barbosa que tanto amava o seu netinho e sonhava com a minha formação. As minhas irmãs Isa e Bea que testemunharam meu amadurecimento e sempre vibraram a cada conquista.

E finalmente a minha amada esposa Kellynne e meu filho Rafael, a motivação maior para eu acordar todos os dias focado e determinado a trazer o melhor para a nossa família, sem seu apoio nada disso seria possível, vocês me salvaram de mim mesmo.

O presente trabalho recebeu suporte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil, CNPq (Chamada CNPq-FNDCT-MCTI N° 14/2022 – Faixa A, processo 405529/2022-8) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, FAPEAM (Editais n°015/2024 – INOVATEC+/FAPEAM e n° 013/2024 – PROIN SOCIAL/FAPEAM). Agradece-se o suporte da aluna da EST/UEA Joanna Williane da Silva Feitoza durante o desenho da geometria da embarcação.





“Você sempre pode ter mais do que você tem, mas para isso você precisa ser mais do que é” – Jim Rohn

RESUMO

As mudanças climáticas e a sazonalidade dos rios na Amazônia tendem a contribuir no alagamento de diversas regiões, sendo necessário o uso de embarcações de pequeno porte entre as ruas alagadas para realizar atividades de relevância social, incluindo transporte de pessoas, comércio, pesca, educação e assistência emergencial. No entanto, o uso desse tipo de embarcações em comunidades alagadas apresenta desafios operacionais que podem causar acidentes, sendo necessário acrescentar pesquisas nessa área. O presente trabalho apresenta alguns dos principais riscos operacionais das embarcações de pequeno porte utilizadas nas ruas de comunidades alagadas na região amazônica, considerando a cidade de Anamá, no Estado do Amazonas como caso de discussão. Também, como caso de estudo ilustrativo, apresenta-se a análise da hidrodinâmica de uma embarcação regional deste tipo utilizando fluidodinâmica computacional. Foi realizada uma revisão bibliográfica para discutir os desafios operacionais, enquanto a análise hidrodinâmica foi feita utilizando o software ANSYS Fluent. Os resultados principais sugerem que ainda há desafios relacionados com a prevenção de acidentes como colisões e alagamento de embarcações. Também, sugere-se que as ondas geradas pelas mesmas podem ter algum efeito sobre palafitas, casas flutuantes e demais estruturas domésticas, impondo dificuldades à rotina dos moradores e à segurança de outras embarcações. A análise de fluidodinâmica computacional proposta pode servir de exemplo para analisar este tipo de efeito em trabalhos futuros.

Palavras-chave: Análise de risco, CFD, comunidades alagadas, pequenas embarcações, prevenção de acidentes, região amazônica.



ABSTRACT

Climate change and river seasonality in the Amazon tend to contribute to the flooding of various regions, making it necessary to use small boats to navigate flooded streets for socially relevant activities, including transporting people, commerce, fishing, education, and emergency assistance. However, the use of these types of boats in flooded communities presents operational challenges that can cause accidents, making further research in this area necessary. This work presents some of the main operational risks of small boats used in the streets of flooded communities in the Amazon region, considering the city of Anamã, in the state of Amazonas, as a case study. Also, as an illustrative case study, the hydrodynamic analysis of a regional boat of this type using computational fluid dynamics is presented. A literature review was conducted to discuss the operational challenges, while the hydrodynamic analysis was performed using ANSYS Fluent software. The main results suggest that there are still challenges related to the prevention of accidents such as collisions and flooding of boats. It is also suggested that the waves generated by these structures may have some effect on stilt houses, floating houses, and other domestic structures, imposing difficulties on the daily lives of residents and the safety of other vessels. The proposed computational fluid dynamics analysis can serve as an example for analyzing this type of effect in future work.

Keywords: Risk analysis, CFD, flooded communities, small boats, accident prevention, Amazon region.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplos de embarcações regionais rápidas que podem ser encontradas no estado do Amazonas.	13
Figura 2. Níveis máximos e mínimos do Rio Negro de 2015 a 2024.	14
Figura 3. Alagamentos durante a época de cheia na região amazônica. (a) Foto da cidade de Anamã-AM completamente alagada, 2021. (b) Exemplo de palafita utilizada em cidades que sofrem de alagamentos: Lago do Pesqueiro, Manacapuru-AM. (c) Hospital flutuante instalado em Anamã.	15
Figura 4. Localização do município de Anamã, no estado do Amazonas.	19
Figura 5. Entrada à cidade de Anamã-AM durante a época de cheia.	20
Figura 6. Mapas de Anamã. (a) Mapa multimodal.	21
Figura 7. Vista aérea da cidade de Anamã – AM.	22
Figura 8. Embarcação regional selecionada como caso de estudo.	23
Figura 9. Domínio computacional definido no módulo SpaceClaim do Ansys.	24
Figura 10. Configuração do tamanho dos elementos “Body sizing” e “Face sizing” para gerar a malha triangular automática.	24
Figura 11. Aspecto da malha triangular gerada automaticamente no módulo Mesh.	25
Figura 12. Malha poliédrica gerada a partir da malha triangular no módulo Fluent.	25
Figura 13. Seleção do modelo multifásico VOF.	26
Figura 14. Definição das condições de contorno no Ansys Fluent.	27
Figura 15. Métodos de solução configurados no Ansys Fluent.	27
Figura 16. Configurações de inicialização da simulação no Ansys Fluent.	28
Figura 17. Exemplo de colisão entre embarcações.	30
Figura 18. Botes motorizados trafegando em Anamã.	31
Figura 19. Banhistas na cidade de Anamã.	32
Figura 20. Canoas motorizadas trafegando próximo a residência.	34
Figura 21. Aspecto das fases ar-água após a simulação. A linha intermediária marca a superfície livre.	39
Figura 22. Forças de arrasto e sustentação obtidos para a metade do casco.	39
Figura 23. Campo escalar da componente de velocidade do escoamento horizontal (u) e velocidade resultante.	40
Figura 24. Campo de pressão hidrodinâmica sob o casco.	41
Figura 25. Energia cinética turbulenta na vista do topo e de perfil.	42



Figura 26. Diferentes visualizações da superfície livre da água resultante. A superfície da água foi considerada como uma isosuperfície com valor 0,5 (Fração de volume da fase 2) no método VOF.	43
Figura 27. Contornos de elevação da superfície da água.	45
Figura 28. Imagens ilustrativas da época de Anamã durante a época de cheia. (b) Fotos obtidas pelo fotógrafo Michael Dantas para a Agence France-Presse, AFP (AFP, 2021). (b) Fotos obtidas por Sgto. Evaldo Araújo.....	54
Figura 29. Embarcações do tipo Ferry Boat, Recreio e Lancha Expresso em Anamã-AM.	55
Figura 30. Embarcações de uso particular do tipo lancha e canoa motorizada.	56
Figura 31. Barco de toldo adaptado: (a) transporte escolar entre a sede da cidade e as comunidades, (b) transporte de combustível, (c) barco de pesca e moradia.	56
Figura 32. Exemplos de estruturas flutuantes. (a) Porto de hospital. (b) Comércio local.	57



LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Níveis máximo e mínimo no Rio Negro nos últimos 10 anos.	14
Tabela 2. Fluxo e tipo de embarcações Ruas Nazaré Cordeiro e Cristóvão Batalha, Anamã-AM (10/06/2025).	29
Tabela 3. Parâmetros e resultados principais da análise de diversos tipos de malha. Calado 0,1 m, velocidade de avanço 4m/s, profundidade: 0,18 m a partir da origem do sistema coordenado ou 0,19 m a partir da linha de água. Dados para metade do casco.	38
Tabela 4. Informação do sistema	51
Tabela 5. Características da malha utilizada nos resultados.	51
Tabela 6. Qualidade da malha.	51
Tabela 7. Modelos utilizados.	51
Tabela 8. Propriedades do material.	51
Tabela 9. Condições de contorno.	51
Tabela 10. Configurações do solucionador (Solver settings).	53
Tabela 11. Informações para rodar a simulação (Run information).	53



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Descrição do problema	13
1.2 Justificativa.....	17
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1 Objetivo geral	18
1.4.2 Objetivos específicos.....	18
1.4 Estrutura do trabalho	18
2 METODOLOGIA.....	19
2.1 Desafios operacionais considerando Anamã – AM como região de estudo	19
2.2 Estudo de caso: simulação numérica CFD de uma embarcação de pequeno porte	23
2.2.1 Descrição do caso de estudo	23
2.2.2 Definição da malha	23
2.2.3 Definição dos parâmetros de simulação	26
3 RESULTADOS – PARTE I: DESAFIOS EM COMUNIDADES ALAGADAS	29
3.1 Desafios encontrados	29
3.1.1 Riscos de colisão	29
3.1.2 Risco de acidentes envolvendo banhistas	32
3.1.3. Efeito de onda sobre estruturas.....	33
3.2 Prevenção de acidentes e mitigação de riscos.	35
3.2.1 Prevenção de colisões com estruturas	36
3.2.2 Prevenção de acidentes envolvendo banhistas	36
3.2.3 Redução dos efeitos de onda sobre palafitas e casas flutuantes	37
4 RESULTADOS – PARTE II: ANÁLISE CFD DO ESTUDO DE CASO.....	38
4.1 Seleção de malha	38
4.2 Resultados das simulações	38
5 CONCLUSÕES	47



REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE A – CONFIGURAÇÃO DE PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO	51
APÊNDICE B – FIGURAS SUPLEMENTARES DE ANAMÃ – AM.....	54

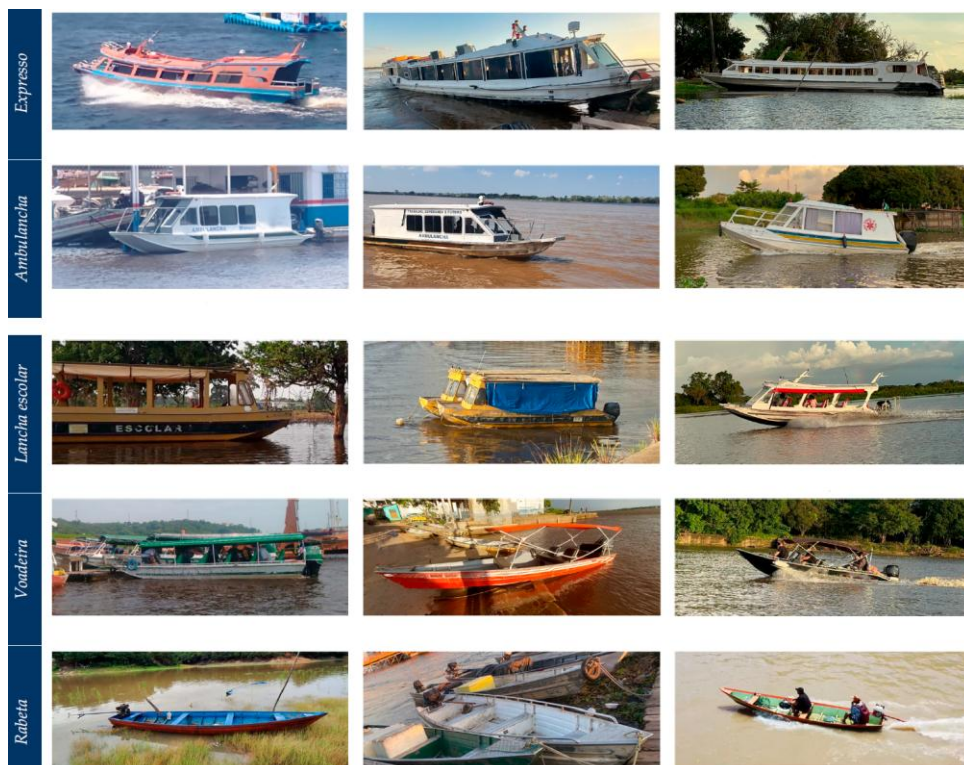


1 INTRODUÇÃO

1.1 Descrição do problema

Os níveis de água nos rios da Amazônia variam ao longo do ano, sendo influenciados por extremos hidrológicos que moldam profundamente a dinâmica ambiental, econômica e social da região. Diversas populações ribeirinhas que vivem ao longo dos rios, como o Solimões, um dos principais afluentes do rio Amazonas, enfrentam anualmente os efeitos cíclicos das cheias e das secas, fenômenos naturais que nos últimos anos têm se intensificado em magnitude (Grossman, 2024). Nestas regiões, o uso de embarcações regionais de médio e pequeno porte, que costumam operar em velocidades consideráveis, é fundamental para realizar atividades cotidianas, pois durante as cheias, o transporte terrestre é inexistente e o transporte aéreo se torna inviável. A Figura 1 mostra alguns tipos de embarcações regionais de alta velocidade que costumam ser utilizadas no estado do Amazonas, obtidas de Fontes et al. (2024).

Figura 1. Exemplos de embarcações regionais rápidas que podem ser encontradas no estado do Amazonas.



Fonte: Fontes et al. (2024). Licença Creative Commons CC-BY 4.0.

Nas últimas décadas, a Amazônia tem experimentado uma intensificação significativa dos eventos hidrológicos extremos, caracterizados por secas e cheias de grande magnitude e curta recorrência temporal. As mudanças climáticas, o desmatamento e as queimadas que



afetam o regime natural dos rios amazônicos podem ser fatores contribuintes. Pesquisas do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) indicam que, desde o início do século XXI, a variação entre os níveis máximos e mínimos dos rios aumentou substancialmente, redefinindo o comportamento sazonal dos principais cursos d’água da região (INPA, 2024).

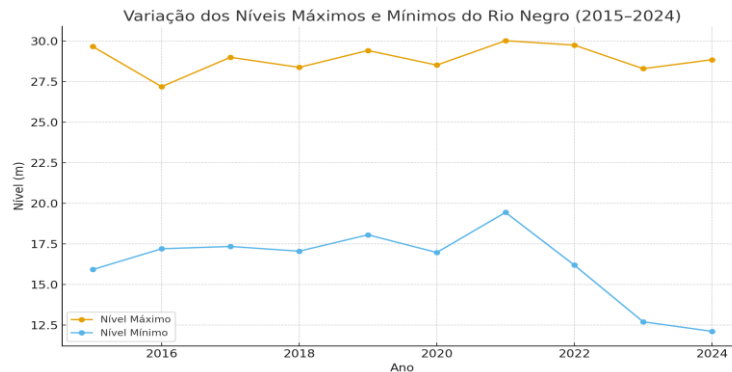
De acordo com o Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2024), o Rio Negro atingiu, em 2024, o nível histórico mínimo de 12,11 metros em Manaus, o mais baixo desde 1902, quando se iniciaram as medições. Por outro lado, em 2021, registrou-se uma das maiores cheias da história, alcançando 30,02 metros, evidenciando uma diferença de quase 18 metros entre os extremos. A Tabela 1 e a Figura 2 apresentam os níveis máximo e mínimos registrados no Rio Negro nos últimos 10 anos (Portodemanaus, 2025).

Tabela 1. Níveis máximo e mínimo no Rio Negro nos últimos 10 anos.

Ano	Data máx	Cota(m)	Data min	Cota(m)
2015	29/jun	29,66	28/out	15,92
2016	15/jun	27,19	13/dez	17,2
2017	03/jun	29	06/out	17,34
2018	23/jun	28,38	05/nov	17,05
2019	22/jun	29,42	25/out	18,06
2020	18/jun	28,52	15/out	16,97
2021	16/jun	30,02	04/nov	19,44
2022	22/jun	29,75	28/out	16,19
2023	13/jun	28,3	26/out	12,7
2024	16/jun	28,85	10/out	12,11

Fonte: Porto de Manaus (2025).

Figura 2. Níveis máximos e mínimos do Rio Negro de 2015 a 2024.



Fonte: Porto de Manaus (2025).

Como caso representativo, dentre os municípios mais afetados por esses eventos extremos pode ser mencionada Anamá, localizada a aproximadamente 165 quilômetros de



Manaus, no estado do Amazonas. Conhecida por muitos pelo apelido de “Veneza Amazônica”, ela pode ser considerada uma das cidades mais vulneráveis às inundações na região. Anamã simboliza os desafios enfrentados pelas comunidades ribeirinhas diante das transformações ambientais no Médio Solimões. A Figura 3a mostra uma foto desta cidade durante a época de cheia, enquanto as Figuras 3b e 3c ilustram exemplos de palafita e flutuante. A primeira é um tipo de construção civil utilizado em comunidades com vulnerabilidade às inundações.

Figura 3. Alagamentos durante a época de cheia na região amazônica. (a) Foto da cidade de Anamã-AM completamente alagada, 2021. (b) Exemplo de palafita utilizada em cidades que sofrem de alagamentos: Lago do Pesqueiro, Manacapuru-AM. (c) Hospital flutuante instalado em Anamã.



(a)



(b)



(c)

Fonte: (a) Michael Dantas/AFP, 2021. (b) Jair Antonio de Oliveira Junior, Arquitetura Ribeirinha na Amazônia, 2019. (c) G1 (2022).



Em 2021, a cidade de Anamã registrou uma das maiores cheias de sua história. O nível do rio Solimões subiu de forma crítica, provocando a submersão completa do perímetro urbano de Anamã. A Defesa Civil estadual registrou que 100% da área urbana ficou submersa, atingindo diretamente 2.392 famílias. Diante da situação, serviços essenciais como saúde e segurança pública foram severamente comprometidos. O hospital municipal Francisco Salles de Moura foi alagado e os atendimentos tiveram que ser transferidos para uma balsa hospital, que passou a prestar serviços de urgência, emergência, partos, exames laboratoriais, além de diagnóstico e tratamento da Covid-19. A mobilidade urbana foi drasticamente afetada: ruas se tornaram canais e veículos foram substituídos por canoas e lanchas (G1, 2021).

A cheia de 2022 repetiu o cenário dramático do ano anterior. Novamente, Anamã ficou 100% inundada pelas águas do rio Solimões, exigindo mais uma vez o suporte de um hospital flutuante (Figura 1c). O município foi incluído na lista de cidades em emergência, junto com outros 28 municípios do Amazonas. Ao todo, quase 300 mil pessoas foram afetadas pelas inundações no estado, revelando uma tendência preocupante de recorrência e agravamento das cheias nos últimos anos (G1, 2022).

Esses episódios extremos não apenas comprometem a infraestrutura urbana e os serviços básicos, mas também evidenciam a vulnerabilidade das populações ribeirinhas frente às mudanças no regime hidrológico da bacia amazônica. No caso de Anamã, uma cidade consideravelmente levantada sobre palafitas e construída sobre um terreno baixo e plano, a cheia representa não apenas um fenômeno natural esperado, mas um evento que pode apresentar desafios relacionados com o uso seguro de embarcações. Essa irregularidade impacta fortemente a logística de transporte, o abastecimento de insumos e o acesso a serviços essenciais, especialmente em regiões de difícil acesso para grandes embarcações.

A arquitetura de muitas habitações ribeirinhas na região do médio Solimões apresenta uma adaptação direta e sensível ao ciclo hidrológico da floresta amazônica, revelando uma relação intrínseca entre o espaço construído e o ambiente fluvial. As casas, em geral flutuantes ou sobre palafitas (exemplo, Figura 1b), expressam uma lógica construtiva orientada pela sazonalidade das águas, acompanhando a dinâmica de cheia e vazante dos rios. Essa arquitetura reconhece os rios como eixos organizadores da vida cotidiana, orientando o posicionamento das casas e a disposição de varandas, plataformas e áreas externas utilizadas para pesca, lazer e atividades domésticas.

Quando as cidades se encontram alagadas, o uso de embarcações de pequeno porte, incluindo rabetas, voadeiras, e outras embarcações regionais (Fontes et al., 2024), torna-se crucial para se locomover entre as ruas da cidade e acessar serviços de relevância social. No



entanto, este tipo de atividade apresenta desafios operacionais por causa do uso, muitas vezes descontrolado, das embarcações. Devido à necessidade de pesquisar mais sobre esses assuntos, o presente estudo visa discutir os desafios mais relevantes. Também, tenta-se avaliar, de maneira preliminar, um estudo técnico da hidrodinâmica de uma embarcação regional de pequeno porte comum nessas regiões. Como caso de discussão será considerada a cidade de Anamã, que apresenta alagamentos significativos durante a época da cheia no estado do Amazonas.

1.2 Justificativa

Durante os períodos de alagamento na região amazônica, que podem durar até 6 meses durante as grandes cheias, os veículos terrestres de locomoção urbana são substituídos por embarcações de pequeno porte, que circulam livremente pelas ruas. Transporte de passageiros, cargas, transporte escolar, segurança pública, atendimento emergencial, todos são adaptados para o meio fluvial. Dessa forma, a cidade de Anamã serve como um importante estudo de caso para identificar os desafios operacionais de embarcações e seus impactos diretos sobre a vida cotidiana, a estrutura urbana, os serviços públicos e, sobretudo, a mobilidade fluvial. E é justamente nesse contexto que a Engenharia Naval se apresenta como uma área fundamental para compreender e propor soluções técnicas aos desafios enfrentados, visando contribuir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (UN, 2020), que também são promovidos pela Organização Marítima Internacional (IMO, 2024).

A Engenharia Naval pode contribuir para a segurança da navegação, a redução de acidentes, e a mitigação de impactos sobre estruturas como palafitas e casas flutuantes. Além disso, pode auxiliar na padronização de embarcações locais, na criação de rotas seguras, na instalação de sinalização adequada e na formulação de políticas públicas voltadas à mobilidade aquática. Nesse contexto, o presente estudo também analisa um estudo de caso de embarcação regional, visando demonstrar que é possível determinar aspectos hidrodinâmicos utilizando fluidodinâmica computacional, que podem ser de utilidade em estudos futuros. Por exemplo, dentre esses parâmetros, a determinação do arrasto e sustentação pode ser relevante para realizar estimativas do motor propulsor; a determinação da pressão exercida no casco pode ser de ajuda para otimizar a sua geometria; e a análise das ondas geradas durante seu movimento pode ser de utilidade para que avaliar os seus impactos sobre outras embarcações e estruturas nas comunidades alagadas.



1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Discutir desafios operacionais que enfrentam as embarcações que operam em comunidades alagadas na região amazônica e, por meio da análise preliminar de um caso de estudo de embarcação regional, demonstrar o uso do software ANSYS Fluent para avaliar parâmetros hidrodinâmicos de interesse para trabalhos futuros.

1.4.2 Objetivos específicos

- Discutir desafios operacionais que enfrentam as embarcações de pequeno porte utilizadas como meio de locomoção em comunidades alagadas na região amazônica, durante a época de cheia, e sugerir alternativas de mitigação de riscos.
- Selecionar o caso de estudo de uma embarcação de pequeno porte e avaliar a sua hidrodinâmica utilizando fluidodinâmica computacional com o software ANSYS Fluent, visando demonstrar o seu uso para determinar parâmetros que permitam a realização de estudos posteriores.
- Apresentar o potencial do software para calcular dados hidrodinâmicos, incluindo: arrasto, sustentação, campos de velocidade e pressão, e elevações das ondas geradas pela embarcação.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido como segue: O Capítulo 2 apresenta a metodologia seguida para discutir os desafios operacionais e implementar as simulações computacionais. Os Capítulos 3 e 4 mostram os resultados e discussões dos desafios operacionais e da análise hidrodinâmica, respectivamente. Finalmente, o Capítulo 5 descreve as conclusões principais do estudo.

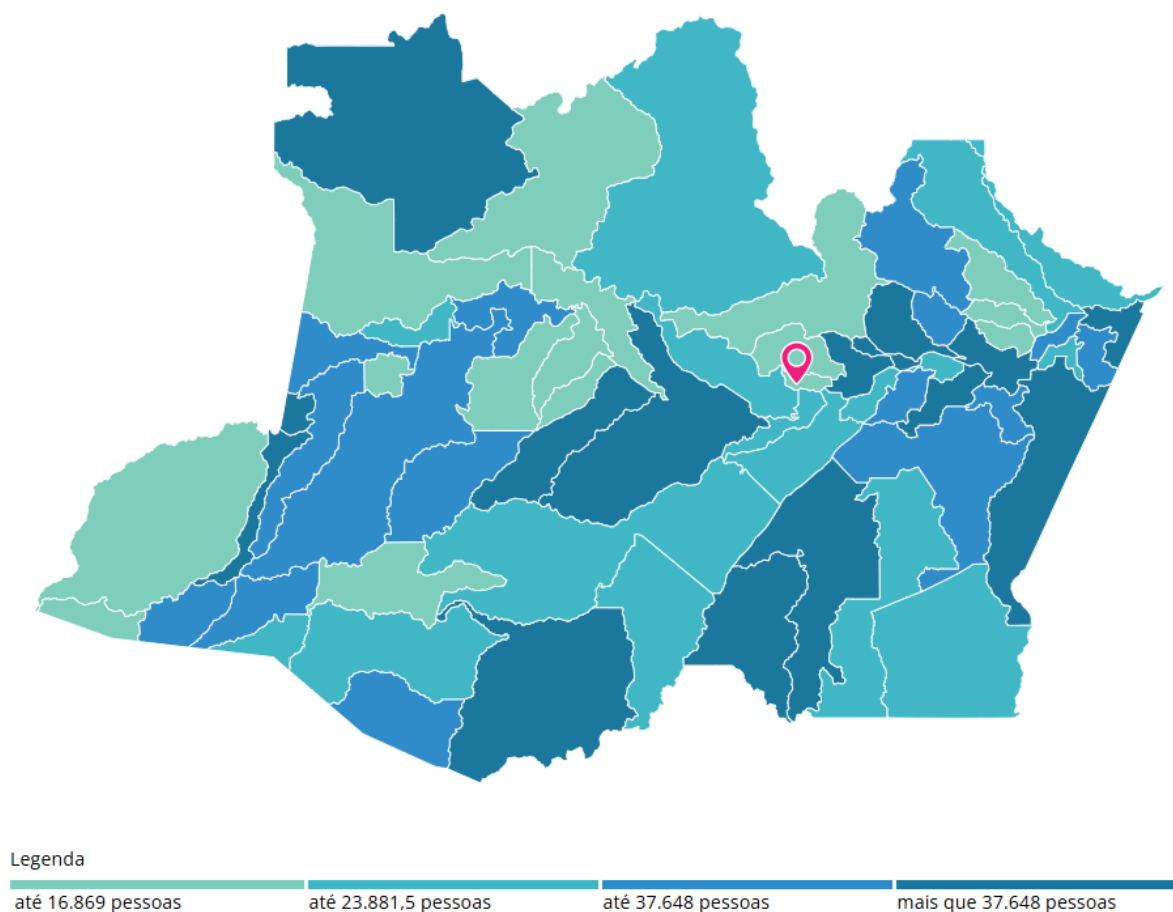


2 METODOLOGIA

2.1 Desafios operacionais considerando Anamã – AM como região de estudo

Objetiva-se, neste trabalho, analisar os desafios operacionais de embarcações de pequeno porte que operam nas ruas de áreas urbanas alagadas na região amazônica. Para tanto, procede-se a uma revisão bibliográfica em repositórios acadêmicos, notícias, relatórios oficiais da defesa civil, dentre outros documentos, relacionados com os episódios de cheia, considerando o caso de estudo da cidade de Anamã, no estado do Amazonas. O município de Anamã (Figura 4), localizado na região média do Rio Solimões, é marcado por uma condição peculiar: durante as grandes cheias, sua área urbana torna-se totalmente submersa, transformando ruas em canais navegáveis. Essa realidade, que dura de quatro até seis meses ao ano, gera desafios significativos para a mobilidade urbana, para a infraestrutura básica e para a segurança da população.

Figura 4. Localização do município de Anamã, no estado do Amazonas.



Fonte: IBGE (2023).



Anamã (Figura 5), localizada a aproximadamente 165 quilômetros de Manaus, na confluência dos Rios Purus e Solimões, se encontra entre os municípios mais afetados pela variação sazonal dos rios da Amazônia Brasileira. Conhecida por muitos pelo apelido de “Veneza Amazônica”, ela é considerada uma das cidades mais vulneráveis às inundações no Brasil. Anamã simboliza os desafios enfrentados pelas comunidades ribeirinhas diante das transformações ambientais no Médio Solimões (Amazoniareal, 2019).

Figura 5. Entrada à cidade de Anamã-AM durante a época de cheia.

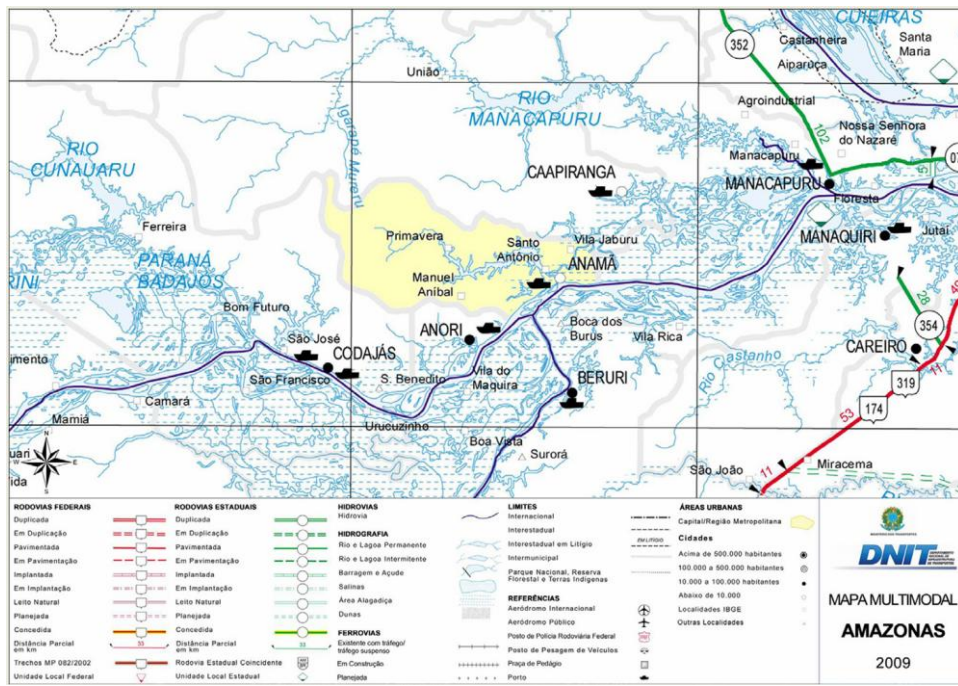


Fonte: Agência Cenarium (2021).

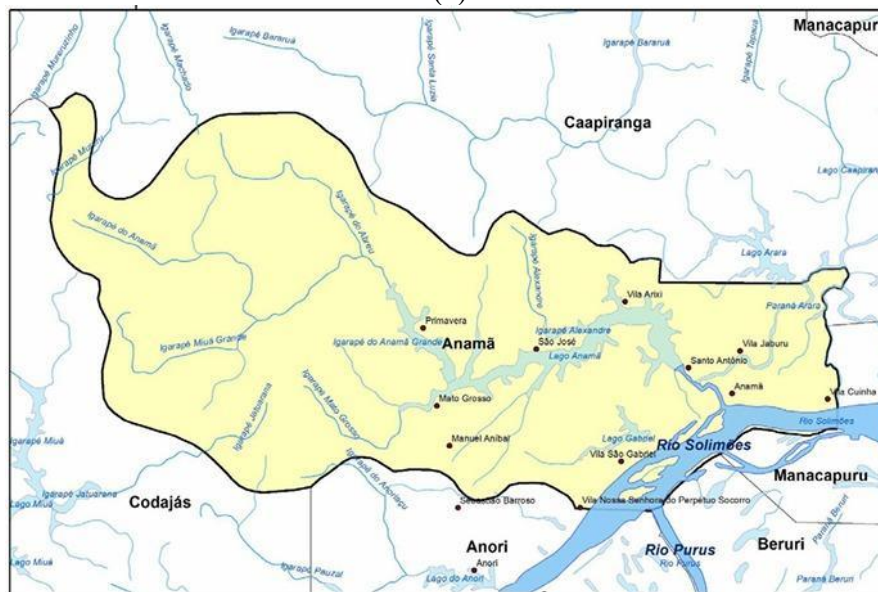
Em Anamã não há aeroportos ou estradas, a forma de acesso à sede do município é por via fluvial. Há embarcações do tipo lancha expresso saindo de Manaus diariamente com esse destino em viagens de 5 horas de duração, ou com 3 horas quando o ponto de partida é o porto de Manacapuru (SEMA, 2012). As Figuras 6a e 6b mostram o mapa multimodal e o mapa hidrológico de Anamã, respectivamente, cujas descrições podem ser encontradas no relatório de SEMA (2012).



Figura 6. Mapas de Anamã. (a) Mapa multimodal.



(a)



(b)

Fonte: Relatório de SEMA (2012).

Segundo o censo do IBGE de 2022, a população era de 9.962 habitantes e a densidade demográfica era de 4,07 habitantes por quilômetro quadrado, sendo 40,9% da população habitando na sede da cidade e 59,1% habitando na zona rural e comunidades (IBGE, 2022). O principal rio que percorre o território de Anamã é o rio Solimões (Figura 7); há também em Anamã um lago que recebe o mesmo nome do município. A sede do município não fica diretamente às margens do rio Solimões; o acesso para a cidade, assim como para o lago, onde ficam situadas as comunidades rurais, é feito através do canal Paraná Arara, SEMA (2012).



Figura 7. Vista aérea da cidade de Anamá – AM.



Fonte: Google Earth, 2025.

A parte relacionada com a discussão de desafios operacionais do presente trabalho foi desenvolvida principalmente a partir da coleta de informações e dados sobre a cidade durante os períodos de cheias dos anos de 2021 e 2022, anos em que o nível do rio ficou acima da média, e sobre a cheia do ano de 2025, data de criação deste trabalho. As fontes utilizadas foram em maior parte a observação e registro do cotidiano da cidade, relatórios da defesa civil da cidade, a colaboração do Secretário Municipal de Defesa Civil de Anamá, 1º SGT Evaldo Araújo, além dos registros e reportagens dos anos anteriores sobre a cidade. A pesquisa foi dividida na parte de discussão de desafios operacionais de embarcações e alternativas de mitigação de riscos. Na primeira parte foi realizada uma observação local do fluxo de veículos, com a colaboração dos moradores, incluindo a sra. Vanda Savedra, que contribuiu no levantamento de embarcações que trafegavam em pontos chaves da cidade. Para a segunda parte, foram apresentadas propostas de soluções, buscando a mitigação dos riscos que a navegação em áreas alagadas trás, tanto na cidade de Anamá, quanto em outras localidades com problemáticas similares.



2.2 Estudo de caso: simulação numérica CFD de uma embarcação de pequeno porte

2.2.1 Descrição do caso de estudo

Neste trabalho, foi selecionado um caso de estudo de embarcação regional que costuma ser utilizado em comunidades ribeirinhas, conhecida como rabeta. A embarcação descrita por Bitencourt (2024) foi considerada. O aspecto da embarcação é mostrado na Figura 8. As dimensões principais são: comprimento total de 6 m, boca máxima de 1,2 m, pontal na proa de 0,65 m, calado de 0,1 m, velocidade de avanço de aproximadamente 4 m/s (considerada assim neste estudo). Detalhes adicionais desta embarcação podem ser encontrados em Bitencourt (2024).

Figura 8. Embarcação regional selecionada como caso de estudo.



Fonte: Bitencourt (2024).

A seguir, são listadas as principais etapas consideradas para implementar as simulações de fluidodinâmica computacional no Ansys Fluent. Basicamente, a análise foi baseada no tutorial de The-Engineering-Guide (2024) disponível no domínio público, substituindo a geometria da embarcação. Foi utilizada a licença oficial acadêmica ANSYS Academic Research Mechanical & CFD (versão 2025 R2). Detalhes dos parâmetros selecionados e informações da simulação são descritos no Apêndice A.

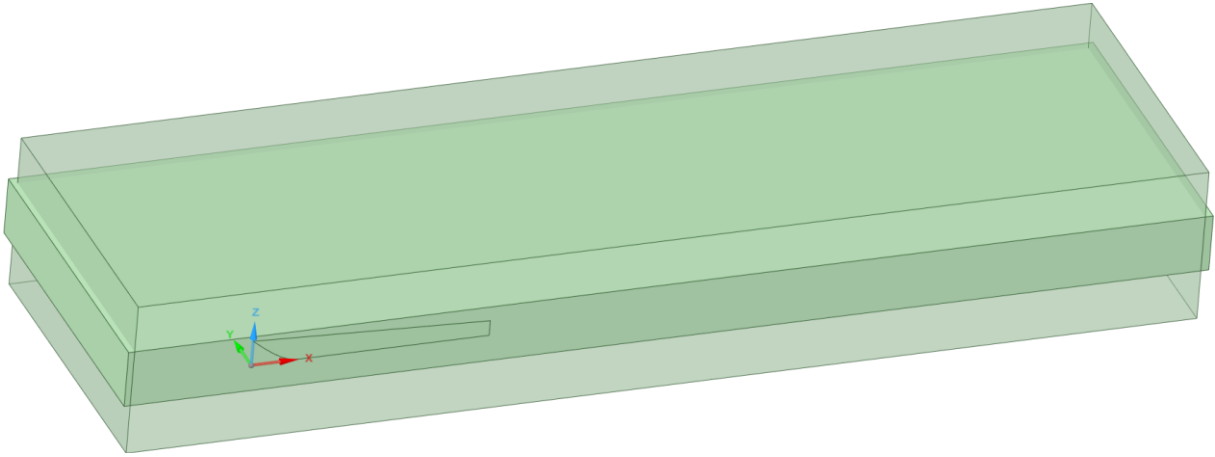
2.2.2 Definição da malha

Devido a que não existem planos de linhas da embarcação selecionada, foi feito um desenho tridimensional aproximado utilizando o software Rhino8. Logo, a geometria foi importada no software SpaceClaim do ANSYS para definir o domínio computacional (Figura 9). Nota-se que



o domínio tem uma região de influência, na parte central, que será refinada para poder capturar detalhes da superfície livre.

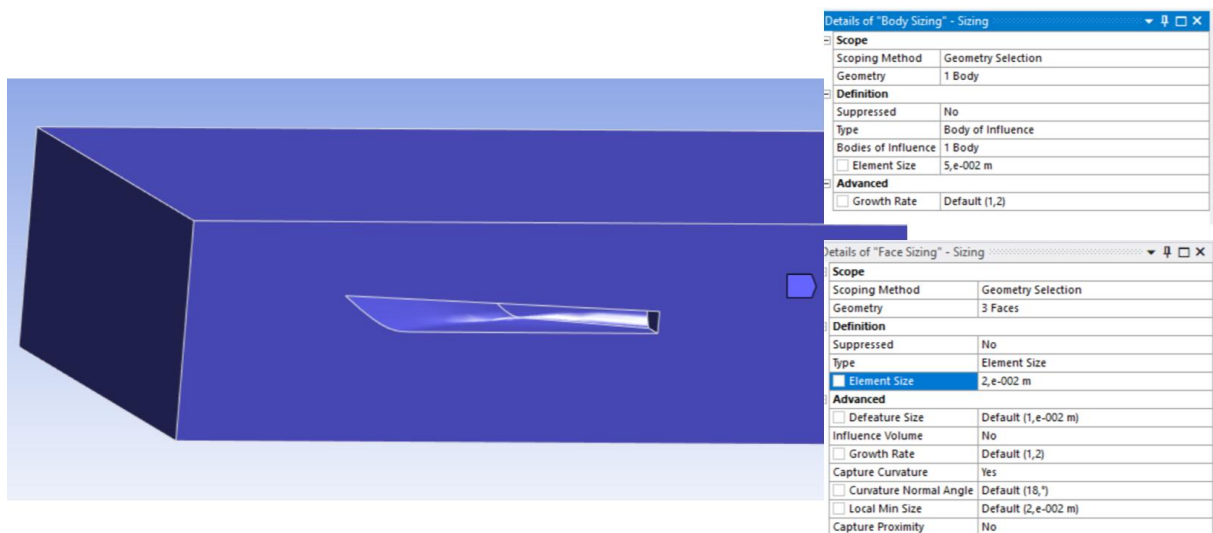
Figura 9. Domínio computacional definido no módulo SpaceClaim do Ansys.



Fonte: Ansys 2025 R2.

Depois que o domínio computacional foi definido, a geometria foi aberta no módulo Mesh, onde foi definida uma malha triangular automática. No entanto, para isto, foi definido um tamanho de elemento de 0,005 m e na parte da embarcação foi definido um tamanho de elemento de 0,002 m (Figura 10).

Figura 10. Configuração do tamanho dos elementos “Body sizing” e “Face sizing” para gerar a malha triangular automática.

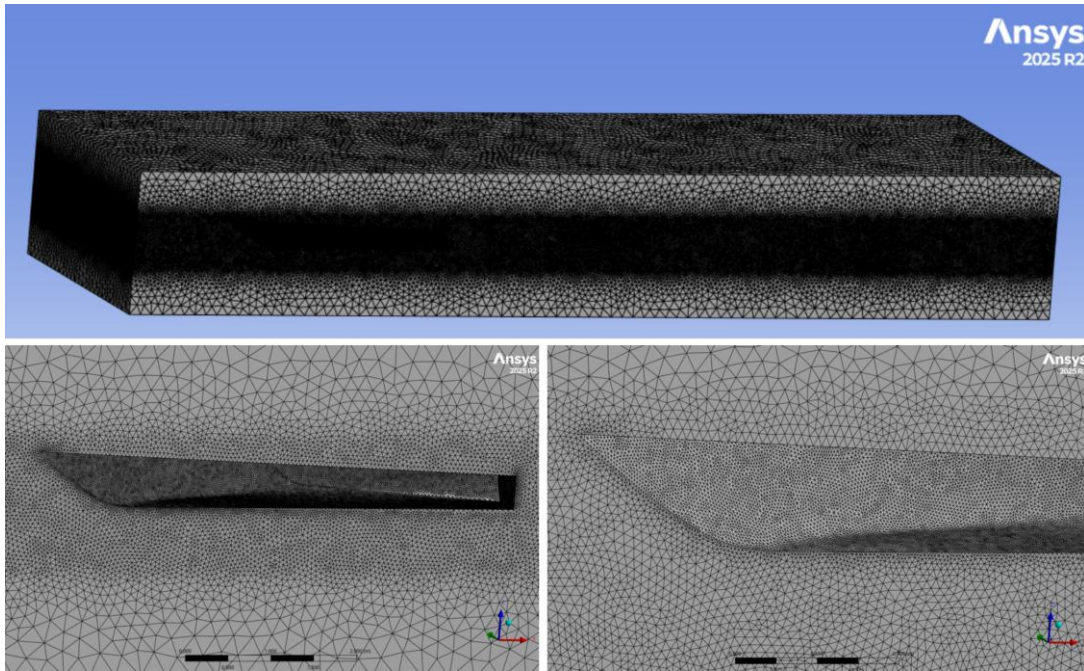


Fonte: Ansys 2025 R2.

A Figura 11 mostra o aspecto da malha triangular gerada com as configurações da figura anterior. Nota-se o refinamento maior na região de influência.



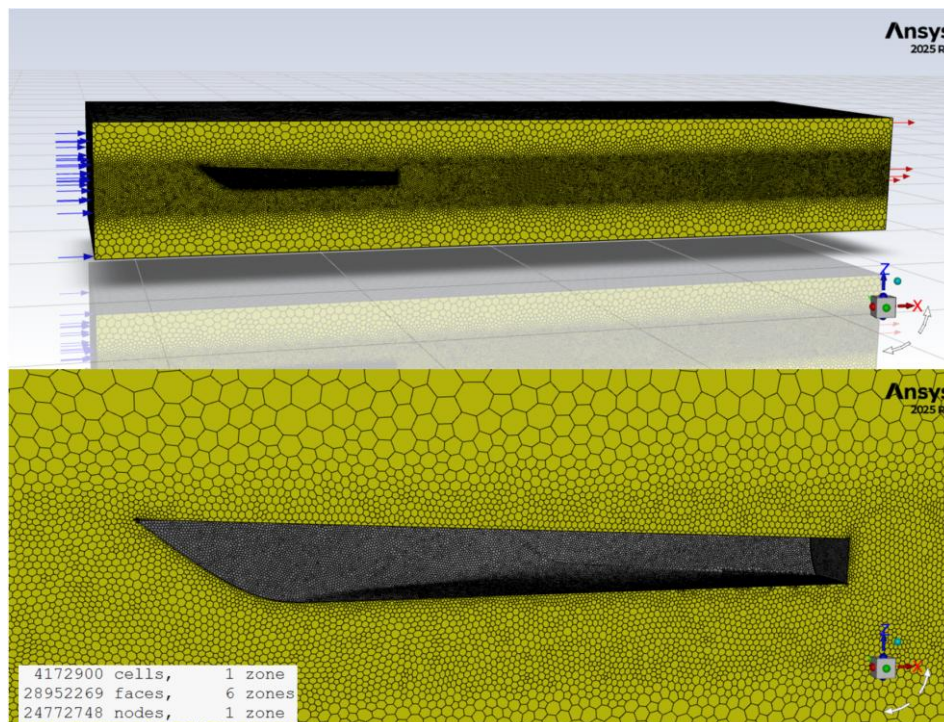
Figura 11. Aspecto da malha triangular gerada automaticamente no módulo Mesh.



Fonte: Ansys 2025 R2.

Quando a malha triangular foi aberta no módulo Fluent, foi gerada uma malha poliédrica a partir da malha triangular previamente definida, visando otimizar recursos computacionais. Ao total, foram definidas 4.172.900 células, 28.952.269 faces e 24.772.748 nós (Figura 12).

Figura 12. Malha poliédrica gerada a partir da malha triangular no módulo Fluent.



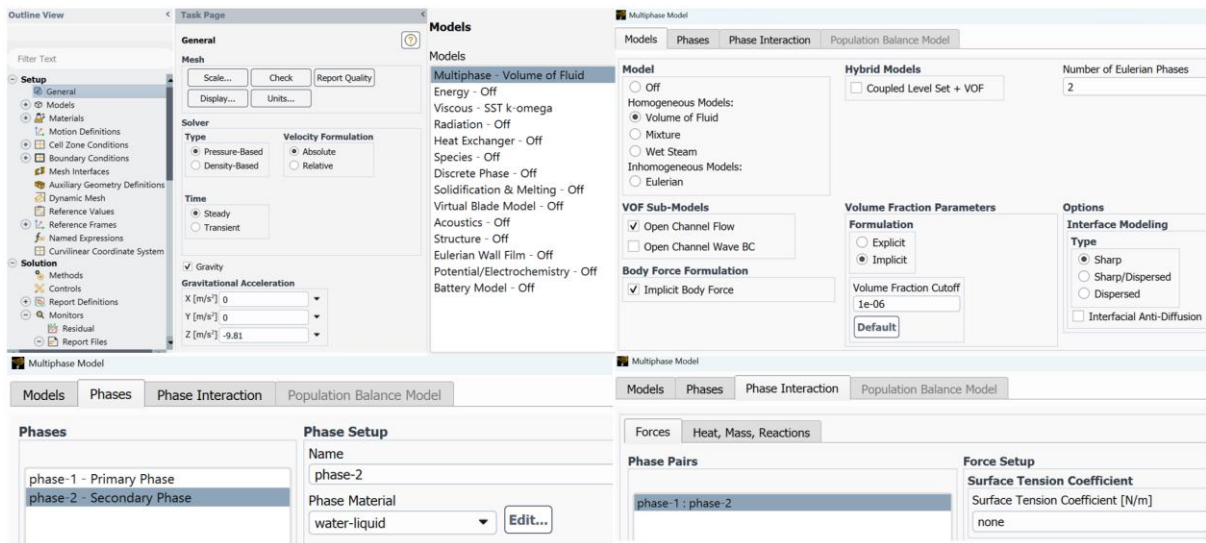
Fonte: Ansys 2025 R2.



2.2.3 Definição dos parâmetros de simulação

Logo depois de ter configurado a malha poliédrica, os parâmetros de simulação foram configurados, seguindo a ordem definida na tela do Ansys Fluent (Figura 13). Depois, foi selecionado o tipo de modelo Multifásico – VOF (*Volume of Fluid*), considerando duas fases: ar e água doce (definidos como Materiais). Para o modelo VOF foi selecionada a configuração canal aberto (*Open Channel Flow*), como mostrado na Figura 13.

Figura 13. Seleção do modelo multifásico VOF.

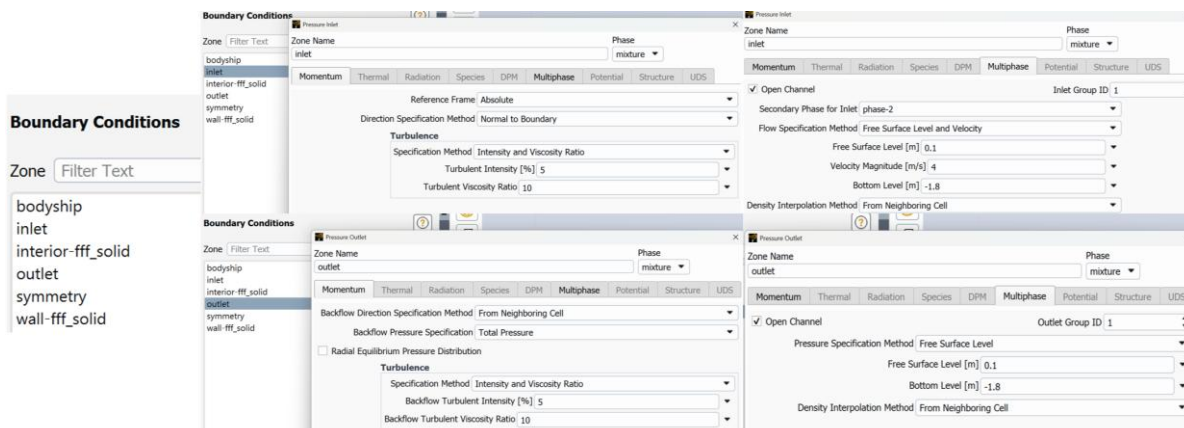


Fonte: Ansys 2025 R2.

Posteriormente, foram definidas as condições de contorno da simulação (*Boundary conditions*), como mostrado na Figura 14. A embarcação foi definida como tipo parede (*wall*), enquanto nas configurações de entrada (*inlet*) e saída (*outlet*) do escoamento foram definidas como definido na Figura 14. Nesta parte da configuração também foram definidas a velocidade de entrada do escoamento (assumida como a velocidade de avanço da embarcação, 4 m/s) e o nível de água (calado). É importante considerar que a origem do sistema coordenado se encontra na linha base do casco, no extremo de proa. Todas as medidas serão dadas neste trabalho com relação a esse sistema de coordenadas.



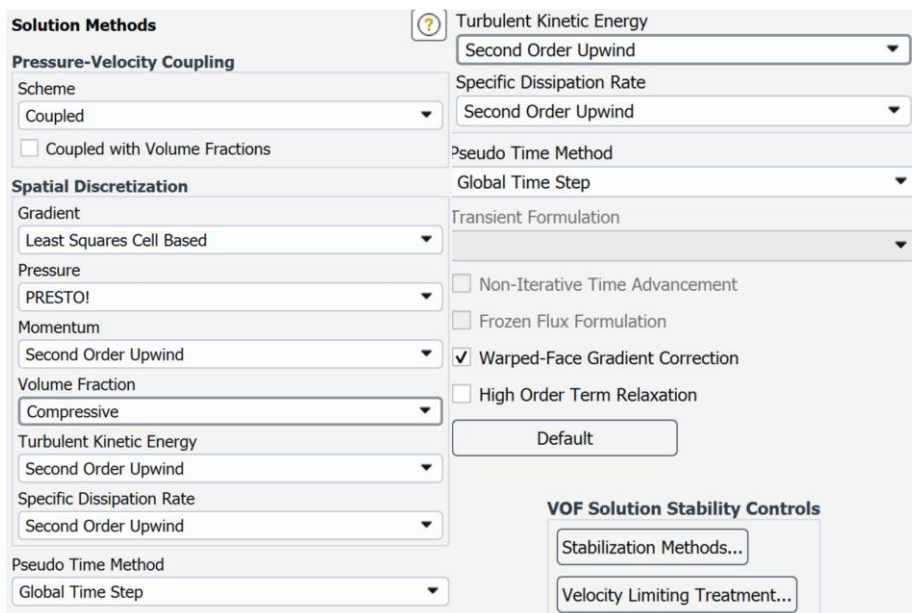
Figura 14. Definição das condições de contorno no Ansys Fluent.



Fonte: Ansys 2025 R2.

O passo seguinte, logo após configurar as condições de contorno, consistiu em definir os métodos de solução, que foram definidos como mostrado na Figura 15. Foi considerado um acoplamento entre pressão e velocidade, considerando discretização espacial tipo PRESTO! E um esquema *Upwind* de segunda ordem para resolver as equações de movimento.

Figura 15. Métodos de solução configurados no Ansys Fluent.

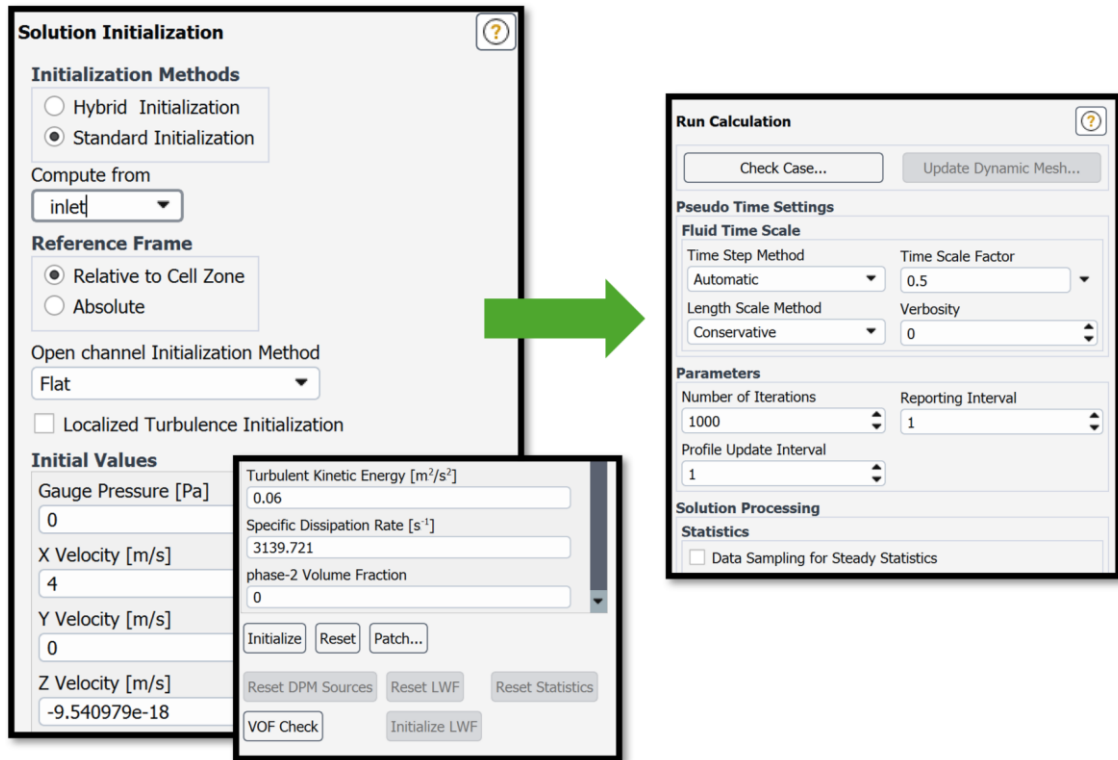


Fonte: Ansys 2025 R2.

A fase final consistiu em definir as condições de inicialização da solução, que são necessárias para rodar a simulação (Figura 16). Para rodar a simulação foram consideradas 1000 iterações no modo estacionário. O relatório de simulação é apresentado no Apêndice A.



Figura 16. Configurações de inicialização da simulação no Ansys Fluent.



Fonte: Ansys 2025 R2.



3 RESULTADOS – PARTE I: DESAFIOS EM COMUNIDADES ALAGADAS

3.1 Desafios encontrados

Para a coleta dos dados sobre o fluxo e os tipos de embarcações em circulação, foi realizada uma observação do tráfego nas Ruas Nazaré Cordeiro e Cristóvão Batalha, na data de 10/06/2025, por uma hora, horário diário de pico de tráfego, segundo os moradores. A Tabela 2 apresenta as informações registradas.

Tabela 2. Fluxo e tipo de embarcações Ruas Nazaré Cordeiro e Cristóvão Batalha, Anamã-AM (10/06/2025).

Rua	Calado(m)	Intervalo	Canoa a Remo	Canoa Motorizada	N
Nazaré Cordeiro	2	15~16hrs	38	19	57
Cristóvão Batalha	1,2	16~17hrs	25	23	48
N = número total de embarcações Registradas					

Fonte: Elaboração própria.

Para uma pluralidade de dados maior, a Rua Nazaré Cordeiro foi selecionada por estar localizada em uma região mais baixa, tendo assim uma profundidade maior, e onde o trânsito é feito exclusivamente por embarcações, além de ser uma via de conexão entre diferentes bairros, tendo assim um movimento mais acentuado. A rua Cristóvão Batalha foi selecionada por estar em uma área de calado menor, onde as embarcações dividem o espaço das ruas com os pedestres.

A navegação em áreas urbanas alagadas da Amazônia, como em Anamã-AM, apresenta desafios singulares para a Engenharia Naval, decorrentes da sobreposição entre ambiente urbano e hidroviário (ver imagens suplementares no Apêndice B). O espaço restrito, a intensa circulação de embarcações de pequeno e médio porte e a convivência com estruturas habitacionais tornam o risco de acidentes elevado e, conseqüentemente, exigem soluções técnicas e normativas adaptadas. Três situações críticas podem ser destacadas pelo autor como desafios: o risco de abalroamentos e colisões, o risco de acidentes com banhistas e o impacto das ondas geradas pelo tráfego sobre as moradias.

3.1.1 Riscos de colisão

Os acidentes envolvendo embarcações são uma realidade constante nas hidrovias brasileiras, sobretudo na região amazônica, onde a navegação interior é o principal meio de transporte de pessoas e cargas (Fontes et al., 2023a, 2023b). Entre os tipos mais recorrentes destacam-se as



colisões, que representam sérios riscos à segurança da navegação, à vida humana e ao meio ambiente. Estudos indicam que encalhes e colisões estão entre os eventos mais frequentes no transporte fluvial, superando em ocorrência outros tipos de acidentes, como incêndios e explosões (Mrozowska, 2021; Sepehri et al., 2021).

Dados da Marinha do Brasil indicam que, somente nos rios do Estado do Pará, 149 acidentes com embarcações foram registrados entre 2019 e 2021, entre colisões, encalhes e outros tipos de ocorrência. Em muitos casos, o fator humano, como imprudência, excesso de velocidade e condução noturna, foi determinante (DOL, 2022).

Os riscos não se limitam a embarcações de grande porte, pois pequenas canoas e até mesmo motos aquáticas também protagonizam acidentes fatais. Alguns dos casos mais recentes no estado do Amazonas foi a colisão entre duas canoas de madeira motorizadas nas proximidades de um posto de combustível flutuante, na cidade de Tefé (G1, 2025a). Um caso mais grave, ocorreu recentemente no Lago do Acajatuba, em Iranduba (AM), no qual uma moto aquática colidiu com um bote de alumínio resultando em óbitos (Figura 17). Segundo a mídia, os principais motivos para essa tragédia foram a condição noturna e a falta de sinalização luminosa nas embarcações envolvidas (G1, 2025b). Além da possível perda de vidas, tais ocorrências podem provocar danos materiais significativos, comprometer estruturas ribeirinhas e, em alguns casos, causar impactos ambientais, como derramamento de combustíveis (Fontes et al., 2023a, 2025).

Figura 17. Exemplo de colisão entre embarcações.



Fonte: G1 (2025b).

Em cidades como Anamã, que ficam alagadas durante a cheia dos rios, os riscos são ainda mais acentuados. Durante a cheia, quando toda a área urbana se converte em uma rede de



vias fluviais improvisadas, a circulação de embarcações ocorre muito próxima a casas flutuantes, palafitas e trapiches (exemplo: Figura 18). Nessa configuração, abalroamentos não atingem apenas outras embarcações, mas também podem afetar estruturas residenciais e comunitárias, o que coloca em perigo tanto navegantes quanto moradores. Do ponto de vista estrutural, o impacto de uma colisão pode comprometer tanto a integridade do casco quanto a estabilidade da embarcação, sobretudo em unidades de pequeno porte, com relevância nas embarcações construídas de madeira, que são amplamente utilizadas na navegação regional. Além disso, a limitação de regulamentações específicas para esse tipo de tráfego urbano fluvial faz com que a navegação dependa grandemente do bom senso dos condutores, aumentando muitas vezes a probabilidade de acidentes.

Figura 18. Botes motorizados trafegando em Anamá.



Fonte: Cortesia de Willian de Oliveira, 2025.



3.1.2 Risco de acidentes envolvendo banhistas

Outro risco a ser discutido envolve os pedestres/banhistas; nesse cenário, a convivência entre embarcações e banhistas é inevitável. Em cidades como Anamá, o contato direto da população com a água é parte da rotina, pois a linha divisória entre o rio e a cidade praticamente desaparece. Ruas tornam-se canais navegáveis, quintais se confundem com o leito do rio e as atividades cotidianas passam a ocorrer sobre a água — crianças brincam, jovens nadam e adultos utilizam o ambiente para atividades domésticas, como lavar utensílios, roupas ou realizar a higiene pessoal. Essa convivência entre banhistas e navegantes, sem delimitação clara de espaços, embora naturalizada pela comunidade, pode representar um risco à segurança da população durante o período de cheia.

A ausência de delimitação entre áreas destinadas ao tráfego de embarcações e zonas de banho faz com que embarcações circulem em espaços densamente ocupados por pessoas (exemplo: Figura 19). Em muitos casos, o tráfego é intenso e realizado em vias estreitas, onde a visibilidade dos condutores é limitada por obstáculos urbanos, como fachadas de casas flutuantes, trapiches e embarcações atracadas. É possível que as vias utilizadas não se restringem somente ao espaço antes delimitado pelas ruas, pois as embarcações poderiam atravessar quintais, praças, campos de futebol, terrenos baldios, ou outras áreas alagadas que permitam uma embarcação trafegar; além disso, a própria coloração turva das águas do rio Solimões reduz a visibilidade subaquática, dificultando a identificação de pessoas na água.

Figura 19. Banhistas na cidade de Anamá.



Fonte: Michael Dantas/AFP, 2021 (AFP, 2021).



Um risco importante a ser considerado é a possibilidade de que pequenas embarcações motorizadas sejam conduzidas por operadores sem formação técnica em navegação que, trafegando em velocidade acima da adequada, poderiam criar situações de perigo em locais onde há crianças ou pessoas submersas parcialmente. Em determinadas situações, o deslocamento de água gerado pelo motor pode desestabilizar banhistas ou até arrastá-los para baixo de embarcações ancoradas. Outro risco pode estar associado à condução de embarcações motorizadas por menores de idade e à navegação sem equipamentos de segurança básicos como coletes. Além dos riscos de atropelamento e colisão, há também o perigo relacionado às hélices expostas das embarcações, que podem causar ferimentos graves. As limitações de sinalização, de patrulhamento náutico local e de normas que regulamentem o tráfego urbano fluvial são desafios a serem considerados.

Diante desse contexto, é evidente a necessidade de medidas preventivas que integrem a Engenharia Naval, a gestão pública e a educação comunitária. A criação de áreas delimitadas para banho, o controle da velocidade das embarcações em perímetros urbanos e a implementação de campanhas educativas voltadas à navegação segura em áreas alagadas são ações que podem reduzir significativamente os riscos. Além disso, o desenvolvimento de soluções de engenharia, como sinalizadores flutuantes de baixo custo ou barreiras físicas leves, poderiam servir como um sistema de separação entre zonas de lazer e rotas de tráfego.

3.1.3. Efeito de onda sobre estruturas

Outro desafio relevante para a navegação em áreas urbanas alagadas (Figura 20) é o impacto das ondas geradas pelo tráfego de embarcações sobre as estruturas habitacionais, como palafitas e casas flutuantes. Diferentemente das áreas portuárias ou canais de navegação convencionais, onde há distanciamento entre margens e controle de velocidade, nas cidades ribeirinhas a circulação de embarcações ocorre muito próxima às residências. Isso faz com que o efeito de onda — resultado direto do deslocamento de massa d'água provocado pelo casco — atue de forma constante sobre as fundações e plataformas habitadas. As casas sobre palafitas, construídas em madeira e apoiadas em estacas fincadas no solo lodoso, são comumente projetadas para resistir os efeitos da variação vertical do nível da água, mas não à ação lateral e repetitiva das ondas. O impacto constante do batimento das águas, gerado pela passagem de embarcações, pode provocar movimentos oscilatórios nas estacas e desgaste nas juntas estruturais. Com o tempo, esse processo pode comprometer o alinhamento das bases e acelerar o apodrecimento da madeira em pontos de fixação ou na interface ar-água, aumentando o risco



de inclinação ou colapso parcial da estrutura. Por se tratar de um problema cujos efeitos podem ser vistos ao longo prazo, em muitos casos o dano pode ser imperceptível de maneira imediata.

Figura 20. Canoa motorizada trafegando próximo a residência.



Fonte: Cortesia de Michael Dantas/AFP, 2021 (AFP, 2021).

Por outro lado, as casas flutuantes, que se sustentam por meio de flutuadores de madeira, tambores metálicos ou isopores encapsulados, podem sofrer com o movimento oscilatório constante, que pode causar desconforto aos moradores, fadiga nos materiais e, em casos extremos, desprendimento das amarras.

O fenômeno também pode afetar trapiches, passarelas e pontes flutuantes, cuja função é garantir o acesso entre residências e vias principais. Quando submetidos a repetidas oscilações, esses elementos estruturais perdem o alinhamento e passam a oferecer riscos de ruptura ou tombamento, principalmente em construções improvisadas.

Além do desconforto físico, o problema traz consequências econômicas e sociais. Por exemplo, perante essa situação, as pessoas precisariam realizar reparos frequentes nas estruturas danificadas, o que representaria custos adicionais. As passarelas e trapiches — elementos essenciais para a mobilidade durante o período de cheia — também podem sofrer deterioração acelerada, comprometendo a segurança de pedestres e o acesso entre residências e embarcações.

Em suma, o efeito de onda sobre palafitas e casas flutuantes representa um problema silencioso, mas persistente, que conecta o comportamento hidrodinâmico das embarcações à segurança e ao conforto da vida ribeirinha. Enfrentar essa questão requer não apenas conhecimento técnico, mas também sensibilidade social e integração entre engenharia, planejamento urbano e gestão ambiental.



3.2 Prevenção de acidentes e mitigação de riscos.

No âmbito das medidas preventivas voltadas à segurança da navegação urbana em Anamã, destaca-se a Lei Municipal nº 374/2021 (Diariomunicipalaam, 2021), de 18 de junho de 2021, que dispõe sobre a limitação de determinados tipos de embarcação e a regulamentação da velocidade no perímetro urbano durante o período de cheia. A legislação foi criada como resposta aos riscos de acidentes aquáticos associados à circulação desordenada de embarcações em áreas densamente habitadas (Diariomunicipalaam, 2021).

De acordo com o texto legal, fica restrito o uso de embarcações do tipo “casquetinha” equipadas com motor rabeta dentro do perímetro urbano, sendo permitido apenas o tráfego em baixa velocidade, limitada a 1 milha náutica por hora. A norma também proíbe a condução de embarcações por menores de 18 anos, e impõe multas e advertências para os infratores. Além disso, embarcações de maior porte como recreios, barcos de pesca, jatos e lanchas devem trafegar somente até o canal de acesso Paraná de Anamã em velocidade reduzida e compatível com a segurança das moradias ribeirinhas. A fiscalização é atribuída aos órgãos municipais, com apoio da Polícia Militar do Estado do Amazonas.

A criação dessa lei representa um importante passo no reconhecimento do risco associado à navegação urbana durante as cheias. Ela demonstra que o município busca regular a convivência entre a população e as embarcações, especialmente em um ambiente onde ruas se tornam canais e o tráfego aquaviário é intenso e constante.

Entretanto, a efetividade dessa legislação depende diretamente da capacidade de fiscalização e da conscientização da população. Em um cenário em que o controle náutico é informal e muitas embarcações não possuem registro ou documentação regular, a aplicação das penalidades previstas se torna um desafio. Além disso, o número limitado de agentes e a ausência de equipamentos adequados para fiscalização dificultam o cumprimento integral da norma.

Ainda assim, a Lei nº 374/2021 constitui um marco local de prevenção de acidentes, podendo servir como base para políticas públicas mais amplas voltadas à navegação em áreas urbanas alagadas. A ampliação de sua aplicação, por meio de campanhas educativas, sinalização fluvial e cooperação comunitária, pode transformar Anamã em um modelo de gestão segura da mobilidade aquática urbana, reforçando o papel da engenharia naval como ferramenta de suporte técnico à administração pública.

Apesar da lei em vigor ter obtido importantes resultados positivos na redução de acidentes aquáticos e na organização do tráfego fluvial urbano durante o período de cheia, os



desafios de prevenção de acidentes ainda precisam de contribuições. Nesse contexto, a Engenharia Naval assume papel fundamental ao propor soluções técnicas e normativas voltadas à prevenção de abalroamentos, à proteção de banhistas e à redução dos efeitos hidrodinâmicos das ondas sobre as estruturas residenciais.

3.2.1 Prevenção de colisões com estruturas

A mitigação de acidentes envolvendo colisão entre embarcações e com estruturas urbanas exige um conjunto de medidas que combinam, padronização de tráfego, educação náutica e adequações construtivas.

Em primeiro lugar, recomenda-se a criação de corredores de navegação dentro das áreas urbanas alagadas, com limitação de velocidade e sinalização flutuante que indique zonas de tráfego prioritário, áreas residenciais e locais de risco, como curvas acentuadas e passagens estreitas. Tais demarcações podem ser executadas com boias artesanais de baixo custo, utilizando materiais recicláveis e de fácil substituição, adaptados às condições locais.

Outra medida fundamental é a implantação de um programa municipal de capacitação para condutores de pequenas embarcações, em parceria com a Marinha do Brasil e a Defesa Civil. A formação básica em navegação segura, leitura de sinais e manutenção preventiva dos cascos e motores reduziria significativamente a ocorrência de colisões, sobretudo entre embarcações familiares e comunitárias.

Do ponto de vista técnico, incentiva-se a adoção de materiais de absorção de impacto em trapiches e fachadas voltadas para os canais urbanos, como defensas de borracha, material plástico ou madeira flexível, que minimizam danos estruturais em caso de contato acidental. Mais uma vez materiais recicláveis são uma alternativa econômica a ser implementada. Além disso, recomenda-se a elaboração de um protocolo municipal de incidentes fluviais, que estabeleça comunicação imediata com a Capitania dos Portos e registre os dados de cada ocorrência, permitindo o monitoramento e análise estatística dos acidentes.

3.2.2 Prevenção de acidentes envolvendo banhistas

Assim como citado no capítulo anterior, a sinalização das vias e a delimitação das zonas de tráfego são de vital importância para evitar acidentes também envolvendo banhistas. Além disso, recomenda-se a implementação de campanhas educativas permanentes, voltadas à conscientização da população ribeirinha sobre os horários e locais seguros para o banho, o uso de coletes salva-vidas por crianças e a importância da visibilidade noturna das embarcações. O



envolvimento das escolas, associações comunitárias e da Defesa Civil local é essencial para a eficácia dessas ações.

A Engenharia Naval também pode contribuir com soluções técnicas, como o desenvolvimento de pequenos sistemas de alerta sonoro e luminoso, acoplados às embarcações, que avisem sobre a aproximação em áreas residenciais.

3.2.3 Redução dos efeitos de onda sobre palafitas e casas flutuantes

A mitigação do impacto das ondas sobre as estruturas habitacionais exige uma abordagem hidrodinâmica adaptada às condições locais, como feito para avaliar o problema de “lavagem causada por ondas” reportado na literatura científica (Li; Yuan; Tao, 2023; Saha; Abdullah; Ashrafuzzaman, 2017). Uma das medidas possíveis pode consistir na imposição de limites de velocidade para embarcações em áreas residenciais, especialmente nas ruas mais estreitas. A instalação de placas flutuantes informativas, indicando o limite de deslocamento, pode auxiliar na sensibilização dos condutores.

Outra proposta técnica é a utilização de barreiras flutuantes ou quebra-ondas urbanos, confeccionados com tambores plásticos e cabos de ancoragem, posicionados em pontos estratégicos. Esses dispositivos poderiam dissipar a energia das ondas antes que atinjam diretamente as moradias. De forma complementar, as casas flutuantes podem receber reforços estruturais nas ligações entre flutuadores e plataformas, utilizando cabos metálicos ou sistemas de amortecimento flexível que reduzam a transferência direta de energia do movimento da água para a estrutura principal.

Por fim, recomenda-se o monitoramento comunitário dos efeitos de onda, com registros visuais e medições simples de oscilação, o que pode servir como base para a elaboração de pesquisas e futuras normas técnicas aplicadas à navegação em áreas alagadas.



4 RESULTADOS – PARTE II: ANÁLISE CFD DO ESTUDO DE CASO

4.1 Seleção de malha

Neste trabalho foi feita uma comparação simples dos resultados de arrasto e sustentação total considerando cinco tamanhos de malha diferentes, como mostrado na Tabela 3, visando determinar o que seria utilizado nas simulações. Devido a que o software Ansys Fluent pode gerar a malha de maneira automática, a partir dos parâmetros descritos no capítulo de Metodologia, foram considerados o tamanho máximo do corpo (*Body sizing*) e do contorno da embarcação (*Face sizing*), variando o tamanho destes elementos de maneira proporcional. A variação foi feita multiplicando o tamanho de ambos dados por aproximadamente $(2)^{1/2}$, como segredo na literatura por alguns autores (Mohseni; Esperanca; Sphaier, 2018).

Para fins do presente trabalho, foi selecionada a malha mais fina, com tamanhos de elemento de 0,05 m e 0,02 m para o *body* e *face*, respectivamente. Ao total, a malha teve 4.172.900 células, 28.952.269 faces, e 24.772.748 nós. Os resultados obtidos com esta malha são mostrados na seguinte subseção.

Tabela 3. Parâmetros e resultados principais da análise de diversos tipos de malha. Calado 0,1 m, velocidade de avanço 4m/s, profundidade: 0,18 m a partir da origem do sistema coordenado ou 0,19 m a partir da linha de água. Dados para metade do casco.

	<i>Body sizing</i>	<i>Face sizing</i>	Arrasto Total (<i>Drag</i>)	Sustentação Total (<i>Lift</i>)
Tipo de malha	Tamanho do elemento (metros)	Tamanho do elemento (metros)	(Newtons)	(Newtons)
Grossa	0,14	0,07	244,94	2458,75
Intermediária	0,1	0,05	275,40	2585,10
Fina	0,07	0,03	262,29	2592,84
Super fina	0,05	0,02	244,33	2687,05

Fonte: Autoria própria.

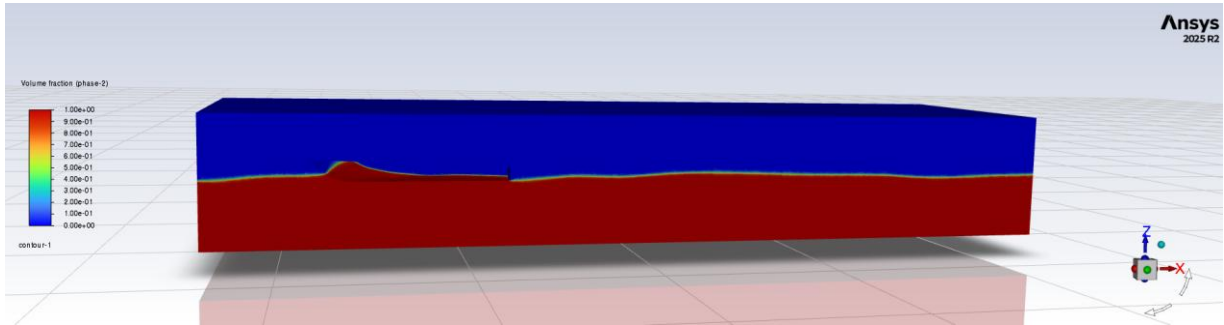
4.2 Resultados das simulações

Uma vez que os cálculos foram concluídos dentro do Ansys Fluent, é possível visualizar o aspecto final do estado estacionário da simulação. Isto é feito por meio da visualização da parte intermediária das fases ar e água, como mostrado na Figura 21. Deve ser lembrado que a presente simulação foi no regime estacionário, então, os resultados mostrados não são



dependentes do tempo e sim das iterações realizadas. O resultado da Figura 21 corresponde ao estado final das 1000 iterações, obtidas para convergência da simulação.

Figura 21. Aspecto das fases ar-água após a simulação. A linha intermediária marca a superfície livre.



Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.

Também, é possível obter as forças exercidas no casco nas direções x, y, e z. No presente estudo, a força resultante nas direções x, e z, é considerada como a força resultante de arrasto e sustentação, respectivamente (Figura 22). A força de arrasto total, cujas componentes têm uma parte viscosa e de pressão, pode ser considerada como a resistência ao avanço total da embarcação. Os dados da Figura 22 são para a metade do casco simulado e incluem os coeficientes de força devida à pressão e aos efeitos viscosos, que são na realidade a forma não dimensional das forças representadas em Newtons. Para obter esses coeficientes, segundo o manual do software, foram utilizados constantes de referência, que foram definidos por default pelo software. Esses valores são os seguintes: área 1 m², densidade 538,3 kg/m³, comprimento 1 m, pressão 0, velocidade 4m/s, viscosidade 0,0005485 kg/(m s). É possível alterar esses valores pois somente tem influência no cálculo dos coeficientes de arrasto e sustentação.

Figura 22. Forças de arrasto e sustentação obtidos para a metade do casco.

Forces - Direction Vector (1 0 0)		Força de arrasto				
Zone	Forces [N]	Viscous	Total	Coefficients Pressure	Viscous	Total
bodyship	188.33019	56.210394	244.54058	0.043731759	0.013052498	0.056784256
Net	188.33019	56.210394	244.54058	0.043731759	0.013052498	0.056784256

Forces - Direction Vector (0 0 1)		Força de sustentação				
Zone	Forces [N]	Viscous	Total	Coefficients Pressure	Viscous	Total
bodyship	2684.0552	-1.6815917	2682.3736	0.62325882	-0.00039047889	0.62286834
Net	2684.0552	-1.6815917	2682.3736	0.62325882	-0.00039047889	0.62286834

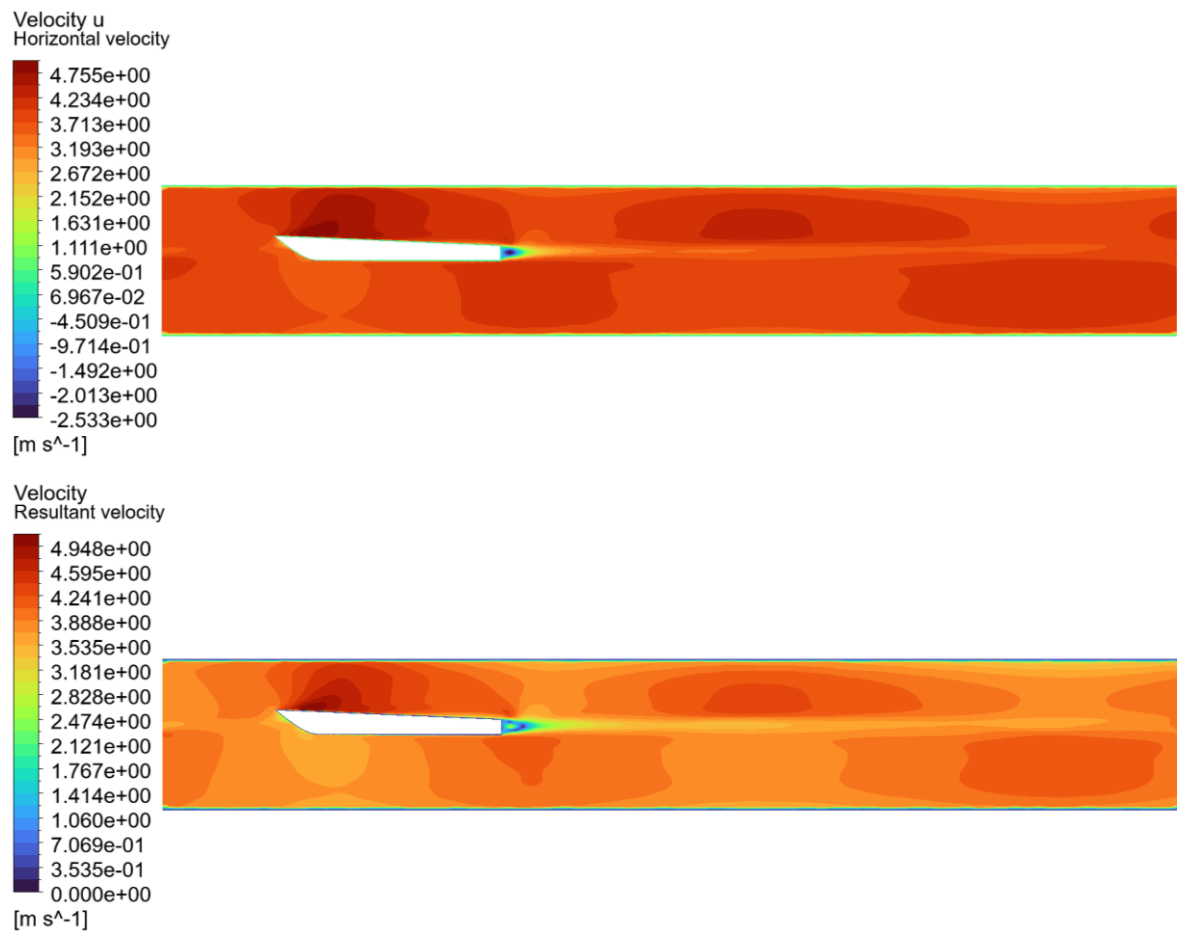
Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.



Os resultados mostrados anteriormente foram obtidos diretamente do módulo *Solution* do Ansys Fluent. No entanto, também é possível visualizar os resultados utilizando o módulo *CFD Post*. Com este módulo é possível visualizar distintos parâmetros hidrodinâmicos.

A Figura 23 mostra a distribuição das velocidades do escoamento na direção x (u) e a velocidade resultante, considerando a parte longitudinal do domínio computacional. Pode ser verificado que houve velocidades resultantes de quase 5 m/s e que na popa da embarcação houve queda de velocidade, sugerindo a criação de uma região com aumento de pressão.

Figura 23. Campo escalar da componente de velocidade do escoamento horizontal (u) e velocidade resultante.



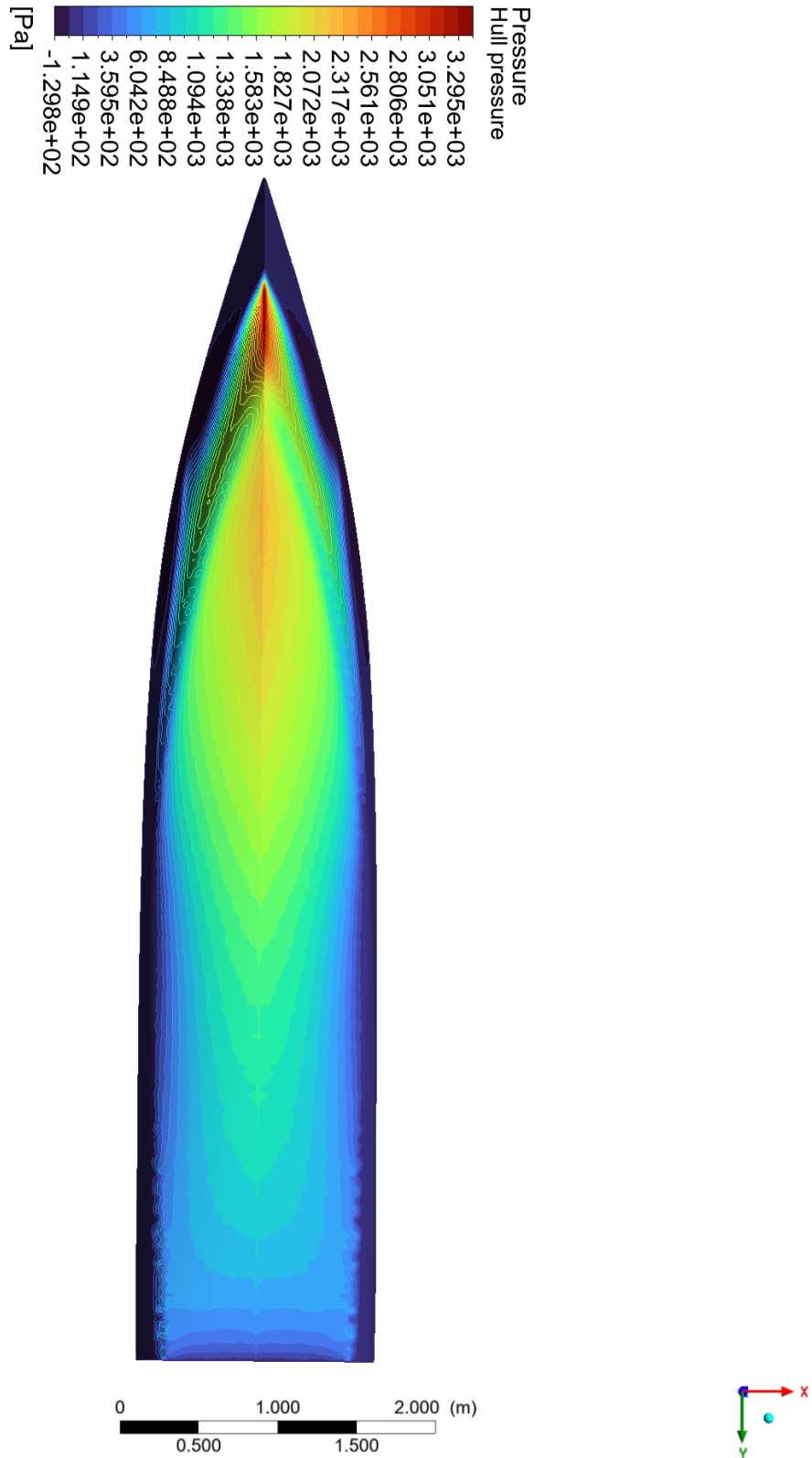
Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.

Por outro lado, a Figura 24 mostra a distribuição da pressão que é exercida na superfície do casco, que é de muito interesse para determinar onde que a força máxima está atuando. Neste caso, a maior pressão foi exercida na parte inferior da proa do casco, que é esperado devido a que o casco foi simulado de maneira horizontal, sem variar o ângulo de trim. Simulações



posteriores variando o trim poderiam proporcionar outras regiões de interesse onde podem existir concentrações de pressão.

Figura 24. Campo de pressão hidrodinâmica sob o casco.

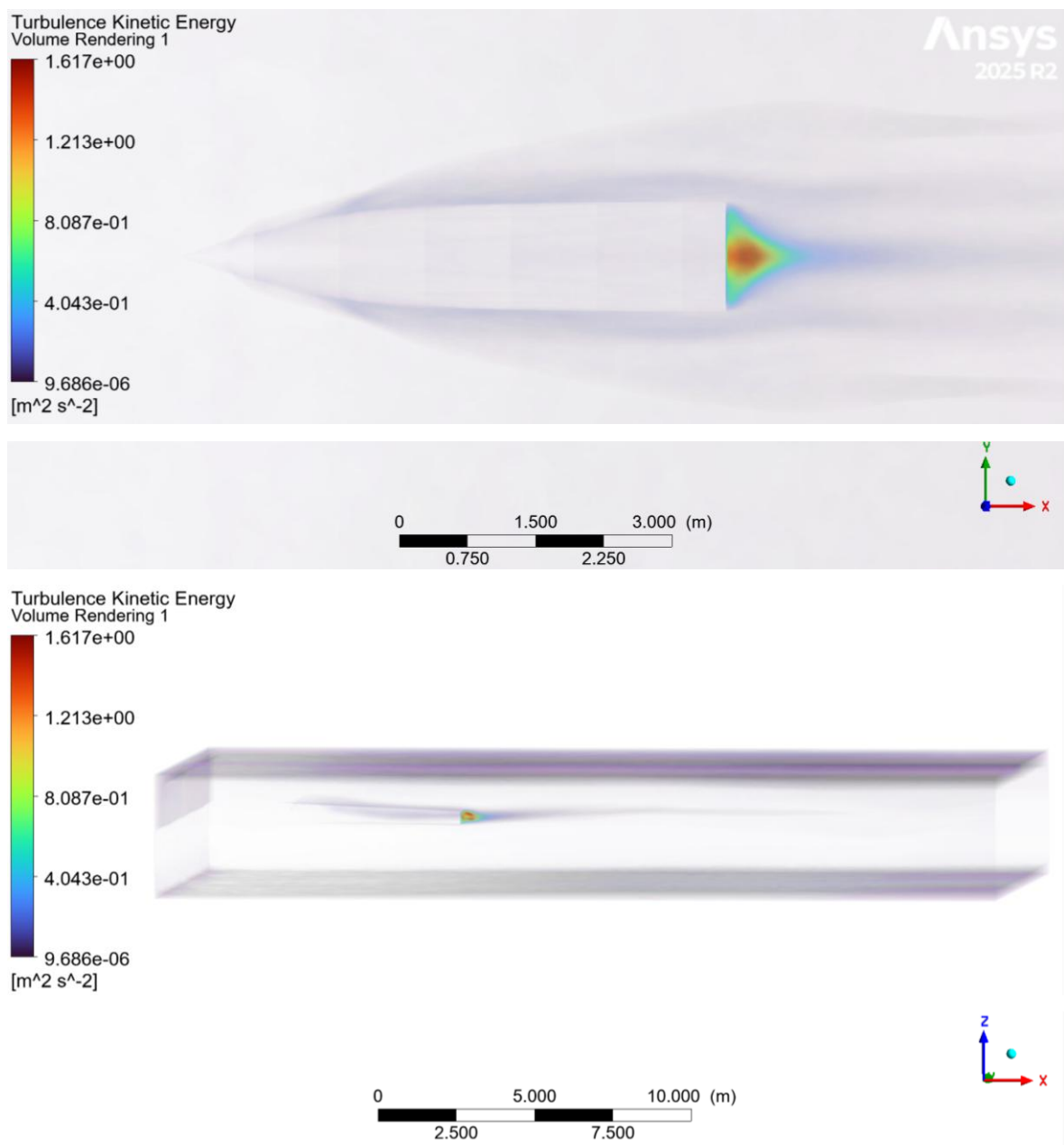


Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.



A Figura 25 mostra algumas visualizações da energia cinética turbulenta de maneira global. Em outras palavras, pode ser considerada como um indicador das regiões onde houve mais efeitos turbulentos. Pode ser verificado que os costados da embarcação apresentaram algumas regiões com pouca magnitude, enquanto a região da popa apresentou maiores valores. Isto é de se esperar tendo em vista que a embarcação tem uma popa do tipo *transom*, onde é esperado que seja criada uma região de aumento da pressão onde podem ser acumulados os efeitos de separação da camada limite (Faltinsen, 2005; Molland; Turnock; Hudson, 2017).

Figura 25. Energia cinética turbulenta na vista do topo e de perfil.

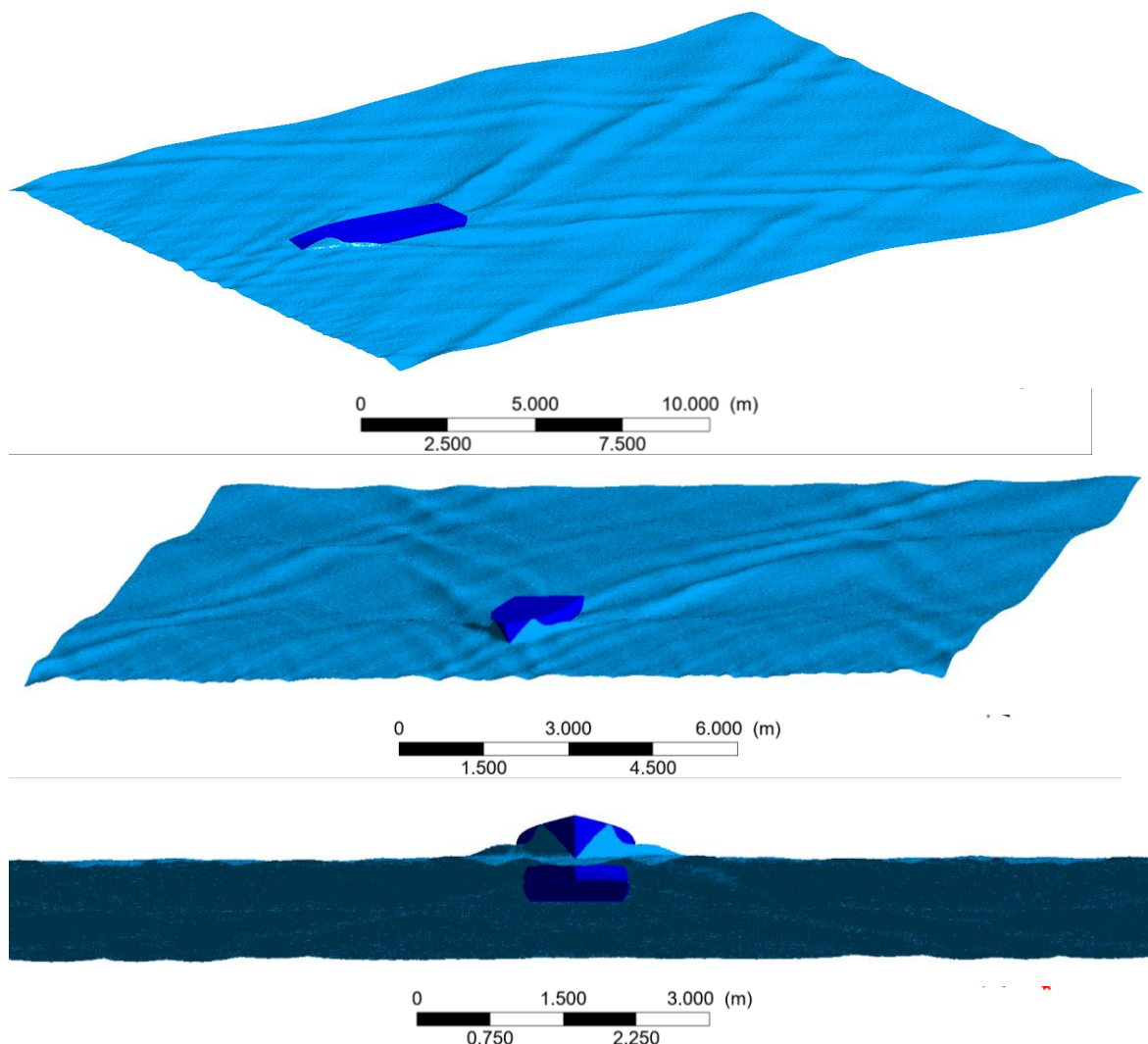


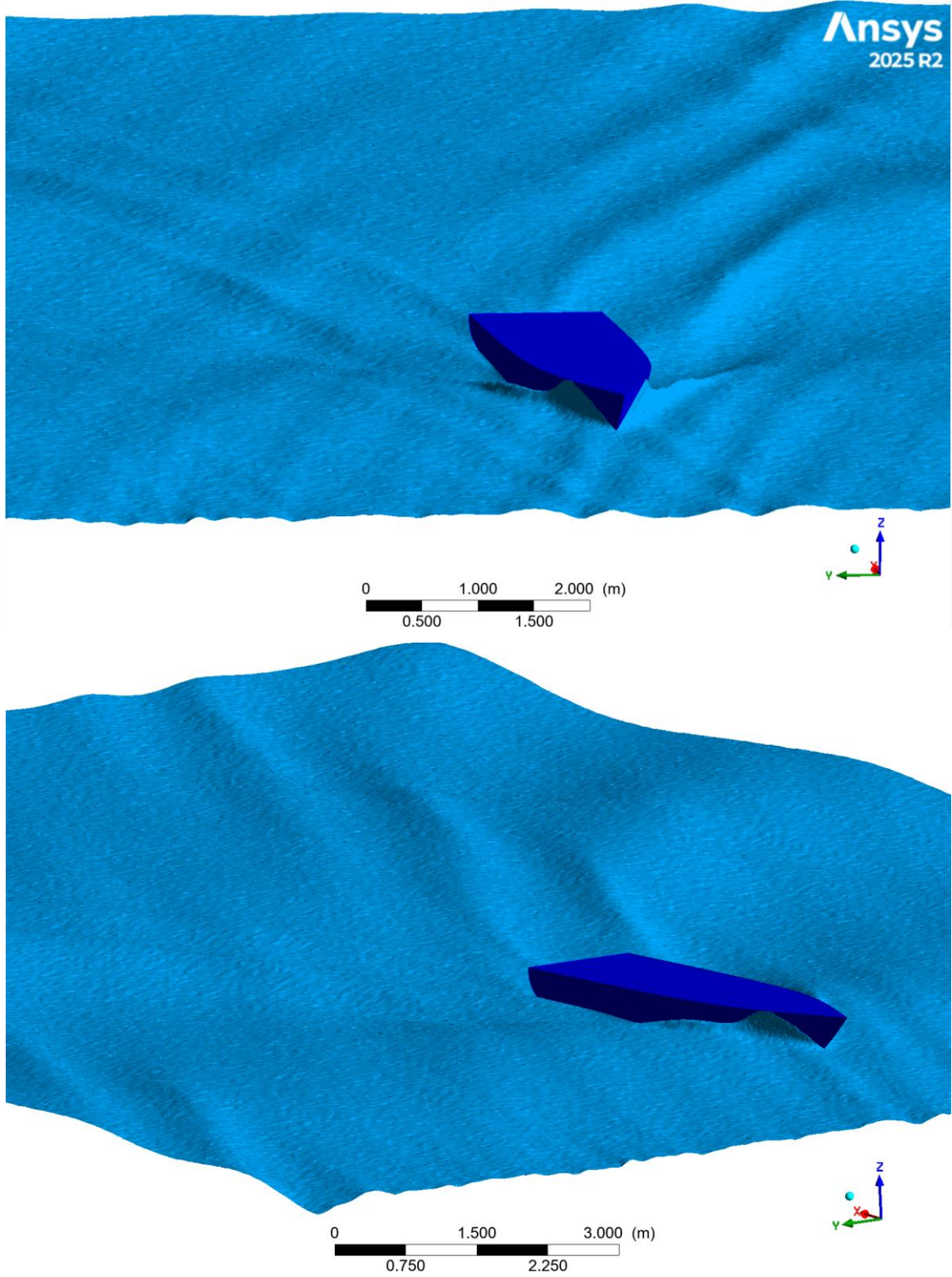
Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.



A Figura 26 mostra distintos ângulos da visualização do estado final da superfície livre da água das simulações feitas. Este parâmetro é de bastante utilidade na análise dos efeitos causados pela geração de ondas das embarcações (Kucera-Hirzinger et al., 2009; Li; Yuan; Tao, 2023; Saha; Abdullah; Ashrafuzzaman, 2017), discutido nos desafios do uso de embarcações do presente trabalho. Verifica-se nas imagens que na condição que foi simulada a embarcação (sem trim e avançando em 4 m/s), ela tende a gerar uma perturbação da superfície de amplitude significativa pela proa. Verifica-se também, que apenas gera o trem divergente de ondas (Molland; Turnock; Hudson, 2017).

Figura 26. Diferentes visualizações da superfície livre da água resultante. A superfície da água foi considerada como uma isosuperfície com valor 0,5 (Fração de volume da fase 2) no método VOF.





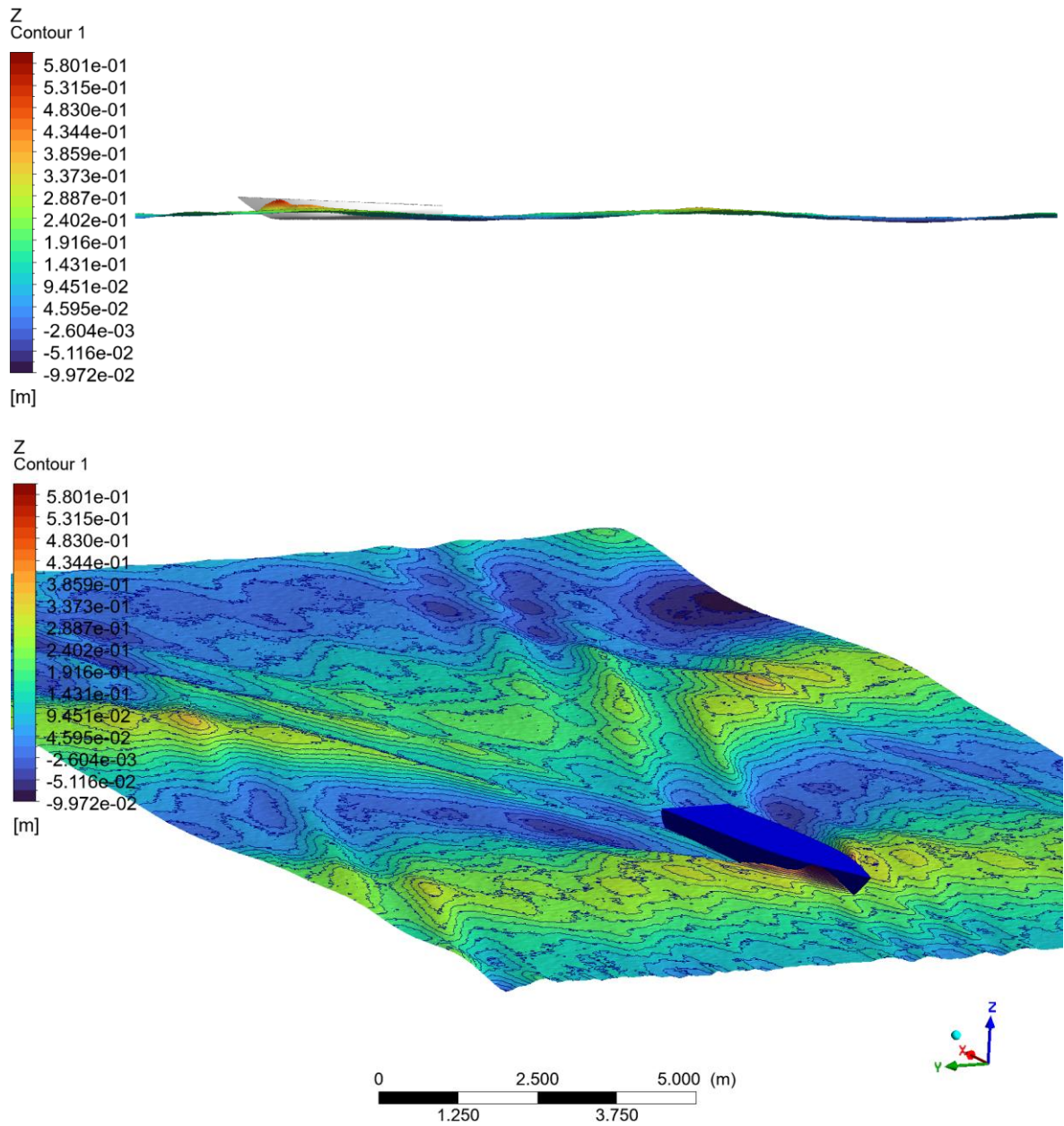
Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.

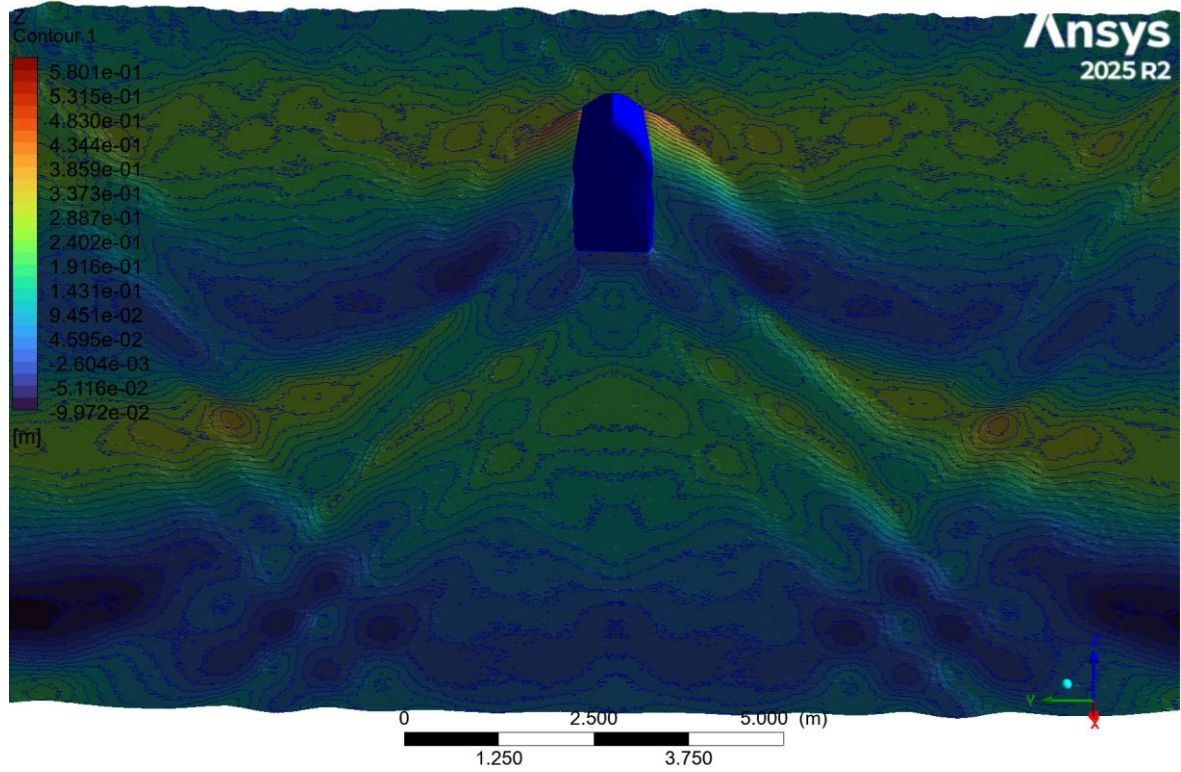
De maneira complementar, a Figura 27 mostra os contornos de elevação da superfície da água (Z), onde é possível visualizar a escala com relação à origem do sistema coordenado (lembrando que ele está posicionado no extremo de proa e na linha base da embarcação). Ou seja, se deseja conhecer o valor da elevação a partir da linha de água, temos de subtrair o calado (0,1 m) na



escala. A partir dos dados mostrados, verificam-se valores máximos de elevação de quase meio metro na região da proa e entre 20 – 30 cm ao longe da embarcação. Logicamente esses valores podem variar conforme as ondas geradas se propagam ao longe. Porém, esses valores preliminares podem dar uma ideia da energia das ondas, visando aplicar critérios que permitam quantificar os efeitos potenciais em estruturas ao redor, como sugerido na literatura científica (Saha; Abdullah; Ashrafuzzaman, 2017).

Figura 27. Contornos de elevação da superfície da água.





Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.



5 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou alguns dos desafios que enfrentam as embarcações de pequeno porte que operam nas ruas das cidades que são comumente alagadas na região amazônica durante a época de cheia dos rios. De maneira complementar, foi selecionada uma embarcação regional para demonstrar a aplicação de métodos de fluidodinâmica computacional, com o intuito de demonstrar a obtenção de diversos parâmetros que possam ser úteis em estudos futuros, que visem melhorar a sustentabilidade de regiões alagadas.

No estudo, foi considerada a cidade de Anamã-AM como região representativa dos desafios operacionais das embarcações. Pode-se definir que os principais desafios estão relacionados com a prevenção de colisões, afetação a banhistas e os possíveis efeitos que as ondas geradas pelas embarcações podem ter ao longo prazo nas palafitas, casas flutuantes e demais estruturas domésticas. Alternativas de mitigação de riscos incluem a divulgação de procedimentos técnicos e capacitações para o adequado uso de embarcações, aumento da sinalização e procedimentos técnicos para prevenir colisões, aumento do monitoramento e fiscalização, entre outras opções. Sugere-se aumentar a medição de parâmetros das embarcações, como quantidade de embarcações transitando pela cidade, potência, energia das ondas geradas, pressões exercidas sobre as estruturas e moradias, dentre outros, visando quantificar possíveis efeitos devido ao uso de embarcações nas ruas das cidades alagadas.

Com relação à análise de fluidodinâmica computacional aplicada ao caso de estudo de embarcação regional, foi demonstrado o potencial dos métodos CFD para avaliar diversos parâmetros que podem contribuir na inovação de embarcações regionais e na avaliação de impactos derivados do seu uso. Por exemplo, dentre os parâmetros avaliados, foi possível determinar as alturas de ondas geradas pela embarcação. Essas informações podem servir para estabelecer critérios de segurança, visando diminuir os possíveis efeitos ao longo prazo nas estruturas. Tais critérios podem ser baseados nas alturas das ondas ou na energia propagada, como sugerido por Suprayogi et al. (2022). Também, podem ser de utilidade para avaliar os impactos no movimento de outras embarcações ou possíveis afetações em banhistas.



REFERÊNCIAS

AFP. **Enchentes do Alto Rio Amazonas, vacinação não atrasa Brasil.** Disponível em: <<https://www.afpbb.com/articles/-/3347782?pid=23352817>>. Acesso em: 30 set. 2025.

AGENCIACENARIUM. **‘Veneza da Amazônia’ tem engarrafamento de canoas e cemitério submerso.** Disponível em: <<https://agenciacenarium.com.br/veneza-da-amazonia-tem-engarrafamento-de-canoas-e-cemiterio-submerso-2/>>. Acesso em: 2 out. 2025.

AMAZONIAREAL. **Anamã, metade do ano na água, outra metade na terra.** Disponível em: <<https://amazoniareal.com.br/anama-metade-do-ano-na-agua-outra-metade-na-terra/>>. Acesso em: 18 out. 2025.

BITENCOURTT, Daniel Silva. **Estudo experimental da velocidade de avanço e das ondas geradas por uma embarcação regional do tipo rabeta.** Trabalho de Conclusão de Curso—Manaus: Universidade do Estado do Amazonas, 2024.

DIARIOMUNICIPALAAM. **Estado do Amazonas, Município de Anamã. Gabinete do Prefeito Lei Nº374/2021, de 18 de junho de 2021.** Disponível em: <<https://diariomunicipalaam.org.br/visualizar-publicacao/210716160651976749/ZYWV2PXNV>>. Acesso em: 13 out. 2025.

DOL. **Colisão entre duas embarcações deixa vítima fatal em Muaná.** Disponível em: <<https://dol.com.br/noticias/para/706945/colisao-entre-duas-embarcacoes-deixa-vitima-fatal-em-muana?d=1>>. Acesso em: 1 out. 2025.

FALTINSEN, Odd M. **Hydrodynamics of high-speed marine vehicles.** [S.l.]: Cambridge university press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511546068>, 2005.

FONTES, Jassiel V. H. *et al.* Marine Accidents in the Brazilian Amazon: Potential Risks to the Aquatic Environment. **Sustainability**, v. 15, n. 14, 2023a.

FONTES, Jassiel V. H. *et al.* Challenges to Accident Prevention for High-Speed Vessels Used in the Brazilian Amazon. **Sustainability**, v. 16, n. 23, p. 10743, 2024.

FONTES, Jassiel VH *et al.* Marine Accidents in the Brazilian Amazon: The Problems and Challenges in the Initiatives for Their Prevention Focused on Passenger Ships. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 328, 2023b.

FONTES, Jassiel VH *et al.* Operational Challenges and Potential Environmental Impacts of High-Speed Vessels in the Brazilian Amazon. **Sustainability**, v. 17, n. 23, p. 10673, 2025.

G1. **100% inundada pela cheia no AM, Anamã recebe balsa hospital.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2021/05/10/100percent-inundada-pela-cheia-no-am-anama-recebe-balsa-hospital.ghtml>>. Acesso em: 28 out. 2025.

G1. **Com cheia, cidade de Anamã volta a ficar 100% alagada no Amazonas.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2022/05/20/com-cheia-cidade-de-anama-volta-a-ficar-100percent-alagada-no-amazonas.ghtml>>. Acesso em: 10 out. 2025.



G1. **Canoas com passageiros colidem no interior do Amazonas.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2025/08/01/canoas-com-passageiros-colidem-no-interior-do-amazonas-video.ghtml>>. Acesso em: 12 out. 2025a.

G1. **O que se sabe sobre a colisão de moto aquática com lancha que deixou 3 mortos e 2 feridos no AM.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2025/09/22/o-que-se-sabe-sobre-a-colisao-de-moto-aquatica-com-lancha-que-deixou-3-mortos-e-2-feridos-no-am.ghtml>>. Acesso em: 15 out. 2025b.

GROSSMAN, Daniel. A river in flux: Extreme flooding and droughts may be the new norm for the Amazon, challenging its people and ecosystems. *Science*, v. 383, n. 6684, p. 692–697, 2024.

IBGE. **IBGE: Anamã - Censo 2022.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/anama/pesquisa/10102/122229>>. Acesso em: 30 out. 2025.

IBGE. **Anamã - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/anama/panorama>>. Acesso em: 15 out. 2025.

IMO. **IMO and the Sustainable Development Goals.** Disponível em: <<https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/SustainableDevelopmentGoals.aspx>>. Acesso em: 20 jun. 2024.

INPA. **Secas e cheias devem tornar-se mais intensas e frequentes na Amazônia nas próximas décadas, aponta pesquisador do Inpa.** Disponível em: <<https://www.gov.br/inpa/pt-br/assuntos/noticias/secas-e-cheias-devem-se-tornar-mais-intensas-e-frequentes-na-amazonia-nas-proximas-decadas-aponta-pesquisador-do-inpa>>. Acesso em: 16 out. 2025.

KUCERA-HIRZINGER, Verena *et al.* Potential effects of navigation-induced wave wash on the early life history stages of riverine fish. *Aquatic sciences*, v. 71, n. 1, p. 94–102, 2009.

LI, Mingxin; YUAN, Zhi-Ming; TAO, Longbin. Wash waves generated by ship moving across a depth change. *Ocean Engineering*, v. 275, p. 114073, 2023.

MOHSENI, Mohammad; ESPERANCA, Paulo T.; SPHAIER, Sergio H. Numerical study of wave run-up on a fixed and vertical surface-piercing cylinder subjected to regular, non-breaking waves using OpenFOAM. *Applied Ocean Research*, v. 79, p. 228–252, 2018.

MOLLAND, Anthony F.; TURNOCK, Stephen R.; HUDSON, Dominic A. **Ship resistance and propulsion.** [S.l.]: Cambridge university press, 2017.

MROZOWSKA, Alicja. Formal Risk Assessment of the risk of major accidents affecting natural environment and human life, occurring as a result of offshore drilling and production operations based on the provisions of Directive 2013/30/EU. *Safety science*, v. 134, p. 105007, 2021.

PORTODEMANAUS. **Consulte o nível do Rio Negro.** Disponível em: <<https://portodemanaus.com.br/nivel-do-rio-negro/>>. Acesso em: 14 out. 2025.

SAHA, Goutam Kumar; ABDULLAH, Mohammad Sayem Bin; ASHRAFUZZAMAN, Mohammad. Wave Wash and Its Effects in Ship Design and Ship Operation: A Hydrodynamic



Approach to Determine Maximum Permissible Speed in a Particular Shallow and Narrow Waterway. **Procedia engineering**, v. 194, p. 152–159, 2017.

SEMA. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos - Versão para aprovação. Julho de 2012.** Disponível em: <<https://www.sema.am.gov.br/wp-content/uploads/2024/04/PMGIRS-ANAMA.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2025.

SEPEHRI, Arash *et al.* The impact of shipping 4.0 on controlling shipping accidents: A systematic literature review. **Ocean Engineering**, p. 110162, 2021.

SGB. **Rio Negro tem mínima histórica e segue em processo de descida em Manaus (AM).** Disponível em: <<https://sgb.gov.br/w/rio-negro-registra-12-17-m-em-manaus-am-e-segue-em-processo-de-descida>>. Acesso em: 30 out. 2025.

SUPRAYOGI, Dedy Triawan *et al.* Speed limit determination of fishing boats in confined water based on ship generated waves. **Alexandria Engineering Journal**, v. 61, n. 4, p. 3165–3174, 2022.

THE-ENGINEERING-GUIDE. **ANSYS CFD Tutorial: Multi-phase flow - drag on hull of a boat (Youtube vídeo).** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=k5vjpU_JaAE&t=407s>. Acesso em: 12 maio. 2024.

UN. **United Nations: The 17 goals for Sustainable Development.** Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>>. Acesso em: 10 dez. 2020.



APÊNDICE A – CONFIGURAÇÃO DE PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

Tabela 4. Informação do sistema

Application	Fluent
Settings	3d, double precision, pressure-based, VOF, SST k-omega
Version	25.2.0-10204
Source Revision	5eed5d865
Build Time	Jun 16 2025 10:40:34 EDT
CPU	12th Gen Intel(R) Core(TM) i9-12900HX
OS	Windows

Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.

Tabela 5. Características da malha utilizada nos resultados.

Cells	Faces	Nodes
4172900	28952269	24772748

Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.

Tabela 6. Qualidade da malha.

Name	Type	Min Orthogonal Quality	Max Aspect Ratio
fff solid	Poly Cell	0.20046858	13.445737

Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.

Tabela 7. Modelos utilizados.

Space	3D
Time	Steady
Viscous	SST k-omega turbulence model
Multiphase	Volume of Fluid

Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.

Tabela 8. Propriedades do material.

- Fluid	
- water-liquid	
Density	998.2 kg/m ³
Viscosity	0.001003 kg/(m s)
- air	
Density	1.225 kg/m ³
Viscosity	1.7894e-05 kg/(m s)
- Solid	
- aluminum	
Density	2719 kg/m ³

Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.

Tabela 9. Condições de contorno.

- Inlet	
----------------	--



- inlet (mixture)	
Open Channel	yes
Inlet Group ID	1
Secondary Phase for Inlet	phase 2
Reference Frame	Absolute
Direction Specification Method	Normal to Boundary
Flow Specification Method	Free Surface Level and Velocity
Free Surface Level [m]	0.1
Velocity Magnitude [m/s]	4
Bottom Level [m]	-1.8
Density Interpolation Method	From Neighboring Cell
Turbulence Specification Method	Intensity and Viscosity Ratio
Turbulent Intensity [%]	5
Turbulent Viscosity Ratio	10
- Outlet	
- outlet (mixture)	
Open Channel	yes
Outlet Group ID	1
Pressure Specification Method	Free Surface Level
Free Surface Level [m]	0.1
Bottom Level [m]	-1.8
Density Interpolation Method	From Neighboring Cell
Backflow Direction Specification Method	From Neighboring Cell
Turbulence Specification Method	Intensity and Viscosity Ratio
Backflow Turbulent Intensity [%]	5
Backflow Turbulent Viscosity Ratio	10
Backflow Pressure Specification	Total Pressure
Radial Equilibrium Pressure Distribution	no
- Symmetry	
symmetry (mixture)	
symmetry (phase-1)	
symmetry (phase-2)	
- Wall	
- wall-fff_solid (mixture)	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	Standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5
wall-fff_solid (phase-1)	
wall-fff_solid (phase-2)	
- bodyship (mixture)	
Wall Motion	Stationary Wall
Shear Boundary Condition	No Slip
Wall Surface Roughness	Standard
Wall Roughness Height [m]	0
Wall Roughness Constant	0.5

Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.



Tabela 10. Configurações do solucionador (Solver settings).

- Equations	
Flow	True
Volume Fraction	True
Turbulence	True
- Numerics	
Absolute Velocity Formulation	True
- Pseudo Time Explicit Relaxation Factors	
Density	1
Body Forces	1
Volume Fraction	0.5
Turbulent Kinetic Energy	0.75
Specific Dissipation Rate	0.75
Turbulent Viscosity	1
Explicit Momentum	0.5
Explicit Pressure	0.5
- Pressure-Velocity Coupling	
Type	Coupled
Pseudo Time Method (Global Time Step)	True
- Discretization Scheme	
Pressure	PRESTO!
Momentum	Second Order Upwind
Volume Fraction	Compressive
Turbulent Kinetic Energy	Second Order Upwind
Specific Dissipation Rate	Second Order Upwind
- Solution Limits	
Minimum Absolute Pressure [Pa]	1
Maximum Absolute Pressure [Pa]	5e+10
Minimum Static Temperature [K]	1
Maximum Static Temperature [K]	5000
Minimum Turb. Kinetic Energy [m ² /s ²]	1e-14
Minimum Spec. Dissipation Rate [s ⁻¹]	1e-20
Maximum Turb. Viscosity Ratio	100000

Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.

Tabela 11. Informações para rodar a simulação (Run information).

Number of Machines	1
Number of Cores	8
Case Read	43.95 seconds
Data Read	20.467 seconds
Virtual Current Memory	27.2077 GB
Virtual Peak Memory	30.489 GB
Memory Per M Cell	6.36367

Fonte: Ansys Fluent 2025 R2.



APÊNDICE B – FIGURAS SUPLEMENTARES DE ANAMÃ – AM

Figura 28. Imagens ilustrativas da época de Anamã durante a época de cheia. (b) Fotos obtidas pelo fotógrafo Michael Dantas para a Agence France-Presse, AFP (AFP, 2021). (b) Fotos obtidas por Sgto. Evaldo Araújo.



(a)



(b)

Fonte: (a) Michael Dantas/AFP (AFP, 2021). (b) Evaldo Araújo.



A Figura 29 mostra embarcações do tipo Ferry Boat, Recreio e Lancha Expresso. Estas embarcações fazem o trajeto intermunicipal transportando passageiros e mercadorias pelo rio Solimões, durante os períodos de cheia tem acesso normal pelos portos da cidade no canal Paraná Arara, e durante os períodos de seca extrema o acesso a cidade fica limitado ao porto na comunidade São Raimundo.

Figura 29. Embarcações do tipo Ferry Boat, Recreio e Lancha Expresso em Anamã-AM.



Fonte: Cortesia de Vanda Savedra, 2025.

A Figura 30 mostra embarcações de uso particular do tipo lancha e canoa motorizada, que costumam fazer o trajeto entre a sede da cidade e as comunidades localizadas no lago de Anamã. Por outro lado, as Figuras 31a-31c mostram exemplos de barcos de toldo adaptado, que realizam atividades diversas entre a sede e comunidades próximas.



Figura 30. Embarcações de uso particular do tipo lancha e canoa motorizada.



Fonte: Cortesia de Vanda Savedra, 2025.

Figura 31. Barco de toldo adaptado: (a) transporte escolar entre a sede da cidade e as comunidades, (b) transporte de combustível, (c) barco de pesca e moradia.



(a)





(b)



(c)

Fonte: Cortesia de Vanda Savedra, 2025.

Finalmente, as Figuras 32a e 32b mostram imagens de um porto de hospital e um comércio local flutuante, respectivamente.

Figura 32. Exemplos de estruturas flutuantes. (a) Porto de hospital. (b) Comércio local.



(a)





(b)

Fonte: Cortesia de Vanda Savedra, 2025.

