

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE ALEXANDRINO

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM PROPULSÃO NAVAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DO USO DE *BOW THRUSTER* EM MANOBRAS DE ATRACAÇÃO



1ºTEN JONAS FERREIRA DOS SANTOS

Rio de Janeiro
2023

1ºTEN JONAS FERREIRA DOS SANTOS

ANÁLISE DO USO DE *BOW THRUSTER* EM MANOBRAS DE ATRACAÇÃO

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Propulsão Naval.

Orientadores:

Prof. Joel Sena Sales Junior, D. Sc.

CC (EN) Yuri de Souza Duarte, M. Sc.

CIAA
Rio de Janeiro
2023

1ºTEN JONAS FERREIRA DOS SANTOS

ANÁLISE DO USO DE *BOW THRUSTER* EM MANOBRAS DE ATRACAÇÃO

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Propulsão Naval.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

CC (RM1-EN) Carlos Alfredo Órfão Martins, M. Sc – CIAW

Joel Sena Sales Junior, D. Sc. – UFRJ

CC (EN) Yuri de Souza Duarte, M. Sc. – DEN

Dedico esse trabalho à minha esposa Bruna Martins, que é o meu porto seguro em noites de mar bravio. A busca por melhores oportunidades para a minha carreira e para a nossa família é o farol que norteia minha dedicação.

AGRADECIMENTOS

Eu costumo dizer que não agradeço a Deus E a várias outras coisas. Mas sim a Deus POR ME CONCEDER todas as coisas. Parece simples a diferença semântica, mas muda todo o sentido da “oração”. Pois é Ele quem coloca pessoas tão maravilhosas em meu caminho, me dá forças para seguir lutando e, apesar das minhas falhas, misericordiosamente, me concede tantas bênçãos.

Isto posto, expresso minha gratidão àqueles que se dispuseram a me apoiar nessa empreitada: À minha amada esposa Bruna, agradeço pelo seu amor, suporte e por ser tão companheira e compreensiva. Nas noites mais nebulosas, era você ao meu lado me lembrando que o sol voltaria a raiar no outro dia.

Aos meus pais Sergio e Regina e minha irmã Amanda, por serem meus maiores apoiadores e fãs incondicionais. O amor e crença de vocês em mim me fazem lembrar que posso sempre ir mais longe.

À família da minha esposa, por nos acolher de forma tão amorosa e irrestrita. Sem o auxílio de vocês esse ano tortuoso seria ainda mais difícil e meus estudos, inviáveis.

Aos meus amigos do Ministério Actus Fidei. Companheiros de vida e caminhada na fé. Obrigado pelas orações, palavras de incentivo e amizade que foram minha válvula de escape nos fins de semana. Vocês foram fundamentais nessa jornada.

Aos meus amigos de Turma, em especial ao Esquitino, Rondon e Seraine, que acompanharam de perto meu esforço e dificuldades durante o curso e me incentivaram a ir além. E ao Bitencourt, Bruno Costa, Matheus Felipe, Renan Pereira, Patuelli, Benecase, Thales e Dos Anjos por serem minha família que pude escolher e estarem sempre comigo em todos os momentos.

E a todos os outros amigos e familiares que oraram por mim e me ajudaram direta e indiretamente. Eu amo todos vocês.

Agradeço ainda aos imediatos da empresa “Sapura”, Vitor e Kenedy, por despenderem seu tempo de treinamento para colaborar de forma gentil com minha pesquisa. Ao CMG(RM1) Coreixas pela preocupação e entusiasmo que aprimoraram e refinaram meu trabalho. E ao CF Barcellos, pelo trato cordial, que teve origem a bordo do NApOc “Mearim” e perdura até os

dias de hoje. Saiba que ter sido comandado e qualificado pelo Sr., e ter tido a oportunidade de observá-lo na manobra foram um dos grandes motivadores dessa pesquisa. Os senhores fizeram a diferença e enriqueceram significativamente minha produção acadêmica.

Por fim, agradeço à coordenação do C-ApA-PN, na pessoa do CC(RM1-EN) Carlos Martins por ser tão solícito durante todo o curso. Ao Professor Joel, pela paciência, orientações e confiança depositada até quando eu mesmo não acreditava. Sem o Sr este trabalho não chegaria ao fim da maneira como chegou. E, finalmente, ao CC(EN) Yuri e ao Professor Emerson por sua disponibilidade e atenção durante todo o desenvolvimento desse trabalho acadêmico. Sem todos vocês eu não teria chegado até aqui.

“A fronteira entre uma faina marinheira bela e exitosa e um acidente é tão tênue que todo esforço para evitar ultrapassá-la deve ser considerado insuficiente.”

(CT Guilherme dos Santos Ribeiro)

ANÁLISE DO USO DE *BOW THRUSTER* EM MANOBRAS DE ATRACAÇÃO

Resumo

A dicotomia entre ciência e arte é a essência daquilo que norteia o estudo da navegação. Neste sentido, o passar dos séculos fez com que o empirismo aventureiro dos primeiros navegadores se aliasse ao avanço científico da nossa sociedade atual. Entre os diversos avanços, ressaltou-se, nesta produção acadêmica, o *bow thruster* como um importante recurso propulsivo. Este trabalho destacou a importância do estudo da manobrabilidade como forma de compreender os movimentos a que está sujeita uma embarcação no mar e as configurações propulsivas adequadas para reagir a esses movimentos. Delimitou-se como escopo da pesquisa as manobras de atracação que, apesar de corriqueiras, exigem grande atenção e destreza por parte do Comandante do navio. As manobras foram descritas sob a ótica do que é comumente aplicado na MB em comparação às práticas a bordo de embarcações civis. Por fim, realizou-se simulações através de um *software* na linguagem de programação *Python* a fim de atracar um navio de diferentes maneiras e analisar as diferenças de se realizar a manobra com e sem o uso do *bow thruster*.

Palavras-chave: *Bow thruster*; Simulação de manobra; Manobrabilidade; Manobras de atracação.

ANÁLISE DO USO DE *BOW THRUSTER* EM MANOBRAS DE ATRACAÇÃO

Abstract

The dichotomy between science and art is at the core of what guides the study of navigation. In this sense, the passage of centuries has seen the adventurous empiricism of early navigators align with the scientific progress of our current society. Among various advancements, this academic production has highlighted the bow thruster as a significant propulsive resource. This work emphasized the importance of studying maneuverability as a means of understanding the movements to which a vessel is subjected at sea and the appropriate propulsive configurations to respond to these movements. The research focused on docking maneuvers, which, despite being routine, require great attention and skill on the part of the ship's Captain. The maneuvers were described from the perspective of what is commonly applied in the Navy compared to practices aboard civilian vessels. Finally, simulations were conducted using Python programming language software to dock a ship in different ways and analyze the differences between performing the maneuver with and without the use of the bow thruster.

Keywords: Bow thruster; Maneuver simulation; Maneuverability; Docking Maneuvers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sea Stroat, Sea Vixen e Sea Fox antes de adaptação e incorporação à MB	16
Figura 2 – Navio de Apoio Oceânico “Mearim”	16
Figura 3 – <i>Bow thruster</i> (indicado pela seta)	21
Figura 4 – Definição dos eixos e graus de liberdade de uma embarcação	22
Figura 5 – As três dimensões de uma entrevista	28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Deslocamento no plano horizontal (hipótese segundo o Arte Naval)	32
Gráfico 2 – Variação da proa em função do tempo (hipótese segundo o Arte Naval)	33
Gráfico 3 – Deslocamento no plano horizontal (hipótese utilizando apenas os MCP)	33
Gráfico 4 – Variação da proa em função do tempo (hipótese utilizando apenas os MCP)	34
Gráfico 5 – Deslocamento no plano horizontal (hipótese com auxílio do <i>bow thruster</i>)	34
Gráfico 6 – Variação da proa em função do tempo (hipótese com auxílio do <i>bow thruster</i>) ...	35
Gráfico 7 – Deslocamento no plano horizontal com e sem o uso do <i>bow thruster</i>	35
Gráfico 8 – Variação do <i>yaw</i> com e sem o uso do <i>bow thruster</i>	36
Gráfico 9 – Comparação da demanda do MCP nas hipóteses com e sem <i>bow thruster</i>	38
Gráfico 10 – Percentual de tempo utilizando o <i>bow thruster</i> durante a manobra	39

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHTS	<i>Anchor Handling and Tug Supply.</i>
CAAML	Centro de Adestramento “Almirante Marques de Leão”.
C-ApA	Curso de Aperfeiçoamento Avançado
CASNAV	Centro de Análise e Sistemas Navais.
LabOceano	Laboratório de Tecnologia Oceânica.
MB	Marinha do Brasil.
MCP	Motor de Combustão Principal.
NApOc	Navio de Apoio Oceânico.
OGSA	Ordenança Geral para o Serviço da Armada.
Python	Linguagem de programação de alto nível concebida por Guido van Rossum.
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LISTA DE SÍMBOLOS

M	Momento angular.
r_1	Distância de um elemento de massa para o centro de gravidade.
dm	Elemento de massa de uma embarcação.
Ω	Velocidade angular.
I	Momento de inércia descrito por $\int r^2 dm$.
X	Força longitudinal.
Y	Força lateral.
N	Momento de guinada.
u	Velocidade do deslocamento lateral.
\dot{u}	Aceleração lateral.
v	Velocidade do deslocamento longitudinal,
\dot{v}	Aceleração longitudinal.
ψ	Ângulo de aproamento.
$\dot{\psi}$	Velocidade angular de variação do aproamento (<i>rate of turn</i>).
$\ddot{\psi}$	Aceleração angular do aproamento.
r	Velocidade angular de variação do aproamento (<i>rate of turn</i>).
\dot{r}	Aceleração angular do aproamento.
B	Boca.
T	Calado.
L	Comprimento.
C_b	Coefficiente de bloco.
π	Constante matemática com valor aproximado de 3,14159.
$fac1$	Fator utilizado como auxílio no cálculo das derivadas de Clarke et. al.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Apresentação do Problema	15
1.2. Justificativa e Relevância	17
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo geral	17
1.3.2. Objetivos específicos	18
1.4. Organização do Trabalho	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1. A manobra de atracação	20
2.2. Utilização do <i>bow thruster</i>	21
2.3. Manobrabilidade	22
2.3.1. Histórico da manobrabilidade	23
2.3.2. Derivadas hidrodinâmicas	24
3. METODOLOGIA	26
3.1. Classificação da Pesquisa	26
3.1.1. Classificação quanto aos fins	26
3.1.2. Classificação quanto aos meios	26
3.2. Coleta de dados	26
3.2.1. Paradigma qualitativo	27
3.2.1.1. Entrevistas realizadas	27
3.2.1.2. Abordagem adotada	28
3.2.2. Paradigma quantitativo	29
3.2.2.1. <i>Software</i> utilizado e intervenções realizadas	30
3.2.2.2. Manobras realizadas	30
3.3. Limitações	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Resultados	32
4.2. Discussão	36
4.2.1. A atracação ideal	36

4.2.2. Criação do vetor de aproximação	37
4.2.3. Vantagens e desvantagens do uso dos <i>thrusters</i>	37
4.2.3.1. Consumo elétrico e de combustível	38
4.2.3.2. Custo de manutenção	39
4.2.3.3. Ângulo de aproximação	40
4.2.4. Utilização do <i>thruster</i> na Marinha do Brasil	40
4.2.5. Comparação das simulações com a realidade	41
5. CONCLUSÃO	42
5.1. Considerações finais	42
5.2. Sugestões para trabalhos futuros	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	46

1. INTRODUÇÃO

A navegação, no decorrer da história da humanidade, inicialmente em sua forma arcaica e dotada de grande espírito aventureiro, se mostrou crucial para a globalização. Ela possibilitou a descoberta e união dos pontos do globo separados pelo mar. Além disso, desde seus primórdios, essa técnica tornou possível a expansão mercantil e o estabelecimento de grandes rotas comerciais, sendo um importante vetor da economia mundial até os dias de hoje, onde a tecnologia e inovações se desenvolvem exponencialmente (SILVA, 2023). A Marinha do Brasil (MB), segundo a bibliografia que adota como referencial teórico em suas escolas de formação, define navegação como sendo a ciência e a arte de conduzir, em segurança, um navio de um ponto a outro (MIGUENS, 2019).

Neste contexto, de acordo com Miguens (2019), pode-se identificar os aspectos científicos ao se observar a latente necessidade de aplicação de técnicas e métodos específicos que exigem: elaborado desenvolvimento acadêmico; conhecimento adequado sobre o conteúdo de diversas publicações; e o correto manuseio de instrumentos de precisão, desde os mais simples e tradicionais aos mais complexos e tecnológicos. Por outro lado, a medida artística encontra-se na interpretação dos dados disponíveis, nas conclusões extraídas e na tomada de decisão.

Em uma primeira análise em volta do escopo desse trabalho, percebe-se uma perspectiva enviesada para a versão artística da navegação ao se tratar da atracação de um navio. Contudo, em uma observação mais detalhada, nota-se que de forma alguma pode-se eximir a aplicação do método científico desenvolvido e apresentado em diversas publicações de referência.

Ao passo que é exigida grande atenção e poder de decisão do oficial responsável pela estação de manobra denominada passadiço, também é fundamental a observância das diretrizes definidas pela MB. O Centro de Adestramento Almirante Marques de Leão (CAAML), por meio do livro “Oficial de Quarto” (2014), explicita e dá importância a essa ambiguidade. Esse tipo de manobra é o limiar entre a beleza de uma faina marinheira e a iminente situação de perigo, que exige grande conhecimento para que seja contornada corretamente. E o conhecimento citado é o entendimento detalhado do *checklist* conduzido por toda equipe de navegação, a clareza sobre a situação que os fatores externos impõem, a mentalização constante das possíveis situações de emergência, entre outras coisas. Já o belo está inserido, além da ação do oficial, na forma como a equipe se comporta, trabalhando como uma perfeita engrenagem

em prol do objetivo comum. A arte está também nos próprios marinheiros aplicando tudo que aprenderam de maneira coordenada e sinérgica.

1.1. Apresentação do problema

Sabe-se que as condições de operação impostas às máquinas de uma embarcação impactam diretamente no grau de dificuldade a que uma atracação está submetida. Essas condições podem ter inúmeras origens, como por exemplo os fatores ambientais ou até mesmo o próprio nível de manutenção do maquinário. Deste modo, é necessário que o condutor da manobra tenha pleno domínio de seu navio e quanto mais recursos ele dispuser, teoricamente, mais preparado ele estará. Isto posto, nota-se que diferentes configurações dos recursos propulsivos disponíveis proporcionam diferentes resultados e impactam na efetividade da manobra.

Ao mencionar-se a maior disponibilidade possível de elementos propulsivos, o *bow thruster* apresenta-se como um artifício valioso. Esse recurso é um propulsor capaz de movimentar o navio na direção transversal. Ele é posicionado em um túnel, na proa, que transpassa a embarcação de um lado a outro e, portanto, possui o bosso de seu hélice voltado para a lateral. Desta forma, o *bow thruster* pode também ser denominado de forma mais genérica como um tipo de *tunnel thruster*, ou ainda de *side thruster*, que inclui também o propulsor de mesmas características, mas localizado na popa da embarcação. Este último é conhecido mais especificamente como *stern thruster*.

A MB ao longo das últimas décadas optou por adquirir algumas embarcações dotadas deste recurso. Em especial, neste trabalho, cita-se as embarcações ilustradas pela Figura 1, que são do tipo *Anchor Handling and Tug Supply (AHTS)*, nomeadas *Sea Stoa*, *Sea Fox* e *Sea Vixen*. Segundo Galante (2017), elas foram adquiridas em 2017 junto à empresa *Deep Sea Supply* e possuem como artifícios propulsivos tanto o *bow* como o *stern thruster*. Esses navios são a principal motivação deste estudo.

Figura 1 - Sea Stroat, Sea Vixen e Sea Fox antes de adaptação e incorporação à MB



Fonte: Site Baird Marítimo, 2018.¹

Após serem incorporados, os navios comprados passaram a compor a Classe “Mearim” de Navios de Apoio Oceânico (NApOc), conforme representa a Figura 2, assumindo os nomes de “Mearim”, “Iguatemi” e “Purus”. Assim sendo, ao passo que estas aquisições representam um avanço significativo em termos tecnológicos, elas alertam também para a necessidade de se fornecer às tripulações o devido treinamento operacional. Não só o oficial responsável pela manobra, mas toda a equipe envolvida deve ter ciência das possibilidades de combinações propulsivas e suas consequências.

Figura 2 - Navio de Apoio Oceânico “Mearim”



Fonte: Tarumã Granado Coimbra, 2023.

¹Disponível em: <https://www.bairdmaritime.com/work-boat-world/offshore-world/brazilian-navy-welcomes-new-ahts-vessels/>. Acesso em: 21 out. de 2023.

1.2. Justificativa e relevância

Através da Ordenança Geral para o Serviço da Armada (OGSA), a MB define, entre tantas outras coisas, as atribuições que cabem ao Comandante de um navio. Entre elas destaca-se a responsabilização total pelas medidas de segurança no mar, especialmente durante navegação noturna, em baixa visibilidade ou na proximidade de perigos. Além disso, a referida publicação também concede a possibilidade da delegação da competência da execução de manobras por outros oficiais (DECRETO nº 95.480 / 1987).

Para que se torne possível o cumprimento das determinações supracitadas, os oficiais devem ser treinados até a exaustão e ter domínio completo da embarcação que será designado a conduzir. Portanto, é de suma importância o conhecimento de todos os possíveis tipos de propulsores que podem se deparar ao longo da carreira. Este trabalho mostra-se relevante ao apresentar um recurso propulsivo de grande importância na execução de fainas marinheiras, que vem sendo aplicado de forma recorrente pela MB e que é capaz de proporcionar vantagens tanto no quesito economicidade quanto no que tange à maior capacidade de manobra da embarcação, segundo Umana *et. al.* (2022).

1.3. Objetivos

Este trabalho fornece uma abordagem inicial de vantagens operativas da utilização do *bow thruster* em manobras de atracação. Além disso, apresenta, através de simulações, algumas possibilidades para realização da manobra com as diferentes combinações propulsivas disponíveis na embarcação utilizada como modelo.

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo do trabalho foi analisar a manobra na prática em ambientes controlados. Por meio de simulações no *software Python Vehicle Simulator*, foram propostas combinações propulsivas diferentes para se alcançar o mesmo resultado final, que é a embarcação atracada no cais. Assim sendo, realizou-se uma abordagem qualitativa e quantitativa dos impactos do uso de cada configuração visando buscar economia, praticidade e principalmente segurança para as embarcações da MB e seus tripulantes.

1.3.2. Objetivos específicos

De um modo mais específico, este trabalho se dispôs a apresentar a manobra de atracação de uma forma descritiva. Além disso, esta produção acadêmica traçou um paralelo entre o que é praticado no meio militar com o modo de operação adotado pelo meio civil, mais especificamente pelas tripulações de origem dos AHTS *Sea Stoot*, *Sea Fox* e *Sea Vixen*. Deste modo, elencou-se aspectos de semelhanças e, principalmente diferenças entre os métodos sob a premissa da utilização do *bow thruster*, que é o âmago desta monografia.

Por fim, observou-se os fatores que causam algum efeito na manobrabilidade de um navio e como isso ocorre sob a ótica da hidrodinâmica. Apesar de, na parte prática, por motivos de simplificações necessárias para o escopo do trabalho, essas influências serem tratadas como fixas nas simulações, considera-se importante a apresentação desses aspectos para que se tenha conhecimento da abrangência e complexidade do tema.

1.4. Organização do trabalho

Inicialmente apresenta-se: a abordagem descritiva do tema; a visão sob a perspectiva das influências hidrodinâmicas; e um paralelo entre diferentes maneiras de operar uma embarcação. Num segundo momento, expõe-se tanto a parte prática das simulações quanto a consequente discussão associada.

Para que se alcance os objetivos supramencionados, o trabalho foi organizado de forma que as ideias sejam expostas de forma coerente e ao final se alcance uma visão clara do tema debatido. Isto posto, apresenta-se a seguir um índice contendo as principais ideias de cada capítulo.

- Capítulo 1 - Apresenta-se uma definição e um breve histórico da navegação, bem como o problema tratado nesta produção acadêmica e seus objetivos;
- Capítulo 2 – Expõe-se uma revisão bibliográfica dos principais aspectos descritivos de uma manobra de atracação, bem como os conceitos essenciais sobre manobrabilidade que estão envolvidos;
- Capítulo 3 - Faz-se a elucidação da metodologia aplicada na execução dos objetivos deste trabalho;

- Capítulo 4 - Apresenta-se os resultados das simulações realizadas e uma breve discussão comparativa entre as soluções encontradas para o problema e respectivo juízo de valor do autor; e
- Capítulo 5 – Conclui-se toda a produção acadêmica desenvolvida, além de apresentar uma perspectiva de desenvolvimento de trabalhos futuros, tendo em vista a vastidão e complexidade do tema abordado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A delimitação escolhida para a elaboração desta produção acadêmica demanda uma revisão bibliográfica ampla. Essa revisão abrangeu uma ótica descritiva contendo: o entendimento militar-naval sobre a manobra de atracação; a comparação com as práticas adotadas em embarcações civis para a execução da mesma manobra; a visão da hidrodinâmica sobre manobrabilidade; bem como a compreensão de como profissionais do setor marítimo tratam o uso dos *side thrusters* nas diversas situações.

2.1. A manobra de atracação

A maneira de se executar a manobra de atracação de um navio é severamente impactada pelas condições reinantes no meio externo. De um modo geral, o CAAML (2014) ressaltou que o militar que estiver manobrando a embarcação precisa estar atento à atuação da corrente e vento e procurar se antever a possíveis situações de risco, o que faz com que todas as manobras sejam distintas entre si. Contudo, a literatura naval aborda, em suas diferentes obras, aspectos importantes a serem sempre levados em consideração.

Fonseca (2002) estabeleceu um guia para a execução da manobra em diferentes situações. Ele tratou das ações prévias que devem ser tomadas, alertando para a necessidade de uma fluidez satisfatória na comunicação e a manutenção do alto nível de adestramento de toda a equipe. Além disso, a maior ênfase dada pela obra “Arte Naval vol. I” foi a respeito da criação de diferentes vetores para movimentação da embarcação ou até mesmo aproximação do cais através da utilização das espias. O autor da obra, em cada uma das situações elencadas, esmiuçou as providências a serem adotadas pelo oficial de manobra, sempre dando grande relevância ao papel da força gerada pelos cabos que seguram a embarcação junto ao cais.

Por outro lado, o CAAML (2014) fez um apelo maior ao sentimento marinheiro, que está ligado à arte envolvida na navegação. Sem se furtar de abordar situações de risco e da necessidade da boa coordenação da equipe, ele tratou das práticas que o oficial deve adotar para aumentar sua sensibilidade em relação aos movimentos impostos pelos condicionantes externos à embarcação. Outrossim, ressaltou a importância do preparo através do estudo prévio do local de atracação por meio da leitura de publicações pertinentes.

No que tange a descrição da manobra, Barcellos (2023) mencionou sobre a importância da aproximação com o menor ângulo de ataque possível da embarcação em relação ao cais.

Dessa forma, será menor o esforço a ser feito para a aproximação da popa do navio durante o ajuste final da manobra. Tratando especificamente da possibilidade de utilização do *bow thruster*, ele ressaltou a grande relevância na produção de um vetor lateral (*sway*) que é desejável para que a manobra seja executada de forma mais segura e efetiva. Com o recurso propulsivo do *thruster*, destaca-se a capacidade do navio atracar em locais mais apertados e sob situações menos favoráveis, tendo em vista a grande vantagem que ele oferece com relação a manobrabilidade.

2.2. Utilização do *bow thruster*

Barcellos (2023) afirmou que o *bow thruster*, ilustrado pela Figura 3, incrementa significativamente a manobrabilidade de uma embarcação. Uma vez que ele auxilia na aproximação lateral do navio ao cais, que é um dos problemas mais relevantes em uma manobra de atracação, ele se torna um recurso fundamental. Nessas manobras, diferentemente da navegação convencional, é necessário, além do deslocamento longitudinal (*surge*), a deriva lateral (*sway*) direcionada para o píer de destino. Nesse sentido, o *bow thruster* contribui significativamente por criar um vetor lateral em uma área sensível como a proa do navio, que ao contrário da popa, não possui de maneira tão forte a influência dos propulsores principais em seu deslocamento.

Figura 3 - *Bow thruster* (indicado pela seta)



Fonte: Denys Yelmanov, 2019.

Segundo Coreixas (2023), o bom emprego dos *tunnel thrusters* como recurso propulsivo em qualquer tipo de manobra tem por finalidade, além de uma execução mais elegante e segura, a simplificação de processos cognitivos a serem interpretados pelo condutor da embarcação. O *bow thruster* tem a capacidade de executar de forma otimizada a função exercida pelos dois

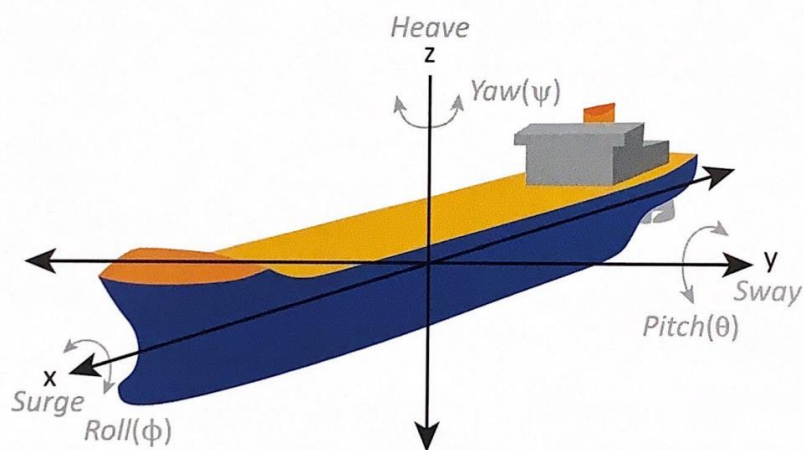
eixos principais com propulsão convencional e dois lemes. Ou seja, apenas com a utilização desse recurso pode-se obter o mesmo resultado que a junção de quatro outros vetores distintos, mas de forma mais efetiva.

2.3. Manobrabilidade

Como ponto de partida para a compreensão do conceito de manobrabilidade, Santos (2021) fez, inicialmente, a abordagem da forma mais tradicional deste estudo. Sob esta ótica, na manobrabilidade clássica tinha-se o conhecimento da ocorrência do movimento do navio em apenas três graus de liberdade, todos no plano horizontal. Os dois primeiros são de translação e são denominados como *surge*, que é o deslocamento do navio avante ou a ré (em torno do eixo x); e *sway*, que é o deslocamento lateral da embarcação (em torno do eixo y). Além disso, há um movimento rotacional dado pelo ângulo de *yaw*, que é o ângulo de aproamento em torno do eixo vertical (eixo z).

Santos (2021), em uma visão mais atualizada sobre o assunto, entende que o domínio completo dessa disciplina envolve a descrição prática do fenômeno de escoamento da água em torno do casco de uma embarcação durante toda a manobra. Esse estudo, tido como um dos mais complexos da hidrodinâmica, requer a análise de equações de movimento nos seis graus de liberdade, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 - Definição dos eixos e graus de liberdade de uma embarcação



Fonte: Edson Mesquita dos Santos, 2021.

Desta forma, além dos três graus supracitados, Santos (2021) acrescentou o *heave*, que é a translação para cima ou para baixo (em torno do eixo z); o *pitch*, que é o movimento

responsável pelo caturro da embarcação (ângulo em torno do eixo y); e o *roll*, que é responsável pela banda ou adernamento do navio (ângulo em torno do eixo x).

2.3.1. Histórico da manobrabilidade

Indubitavelmente, como qualquer outra ciência, a manobrabilidade teve seu início da maneira mais empírica e experimental. Segundo Miguens (2019), a locomoção do homem através de rústicas embarcações, que possivelmente eram movidas a remo, foi o marco inicial da navegação sob sua forma artística. Por conseguinte, conforme afirma Santos (2021), com o mesmo marco iniciou-se o desenvolvimento da teoria da manobrabilidade. A cronologia nos remonta ao emprego das velas, que representou um refinamento neste ramo do conhecimento, mas ainda sem embasamento científico. Em 1666, Isaac Newton publicou seus estudos no livro “Princípios matemáticos da filosofia natural”, onde ele estabeleceu as leis que explicam a dinâmica por trás do movimento dos corpos.

Santos (2021) afirmou que, posteriormente, após a dedicação de diversos estudiosos ainda no século XVII e início do século XVIII, Leonhard Euler foi responsável por outro grande avanço no que se conhecia sobre manobrabilidade. Tendo os movimentos de translação já bem estabelecidos pela 2ª lei de Newton, Euler enveredou pelo estudo da rotação de corpos com elementos de massa distribuídos arbitrariamente por sua estrutura. Ele estabeleceu como origem o centro de gravidade, em torno do qual se daria o movimento rotacional. E através do somatório dos elementos de massa a uma distância r do centro de gravidade, ele obteve o momento angular M definido pela seguinte equação integral:

$$M = \int r_1^2 dm \frac{d\Omega}{dt}, \quad (2.1)$$

onde M é a medida da ação dos corpos externos para fazerem o corpo girar em torno de um eixo; r_1 é a distância dos elementos de massa dm ao centro de gravidade, Ω é a velocidade angular; e $\int r^2 dm$ é momento de inércia que pode ser representado por I (SANTOS, 2021).

Finalmente, Santos (2021) afirmou que em 1937, George Weinblum estabeleceu o conceito de derivadas hidrodinâmicas, que se propunham a ser um modelo matemático para analisar a manobrabilidade de uma embarcação. Seus estudos foram embasados na analogia proposta anos antes por Walther Kurcharski, que comparou o casco de uma embarcação à asa de uma aeronave, bem como nas derivadas de resistência aerodinâmicas desenvolvidas por

Bryan no início do século XX. Os estudos de Weinblum não foram tão empregados inicialmente, passando a ter emprego relevante somente após a década de 1960 (SANTOS, 2021).

2.3.2. Derivadas hidrodinâmicas

Santos (2021) definiu derivadas hidrodinâmicas como sendo o resultado da utilização da expansão em série de Taylor para se obter funções descritas por somatórios de potências. Essas equações representam as forças hidrodinâmicas que atuam sobre um casco e são capazes de informar o comportamento da embarcação sujeita a essas forças. A necessidade da aplicação da técnica da expansão em série de Taylor se justifica pela quantidade de variáveis envolvidas nesse fenômeno (SANTOS, 2021).

Com base na obra de Santos (2021), as forças hidrodinâmicas são aquelas que atuam sobre o casco e seus apêndices, sendo, portanto, função da velocidade e aceleração do navio, deflexão do leme e rotação do propulsor. Considerando, como nas simulações realizadas neste trabalho, a ausência de forças externas, elas serão as únicas forças existentes. Elas podem ser descritas, de forma relativa, por uma função com parâmetros envolvendo suas próprias orientações e movimento do fluido e é possível representá-las, em seus três graus de liberdade iniciais (*surge*, *sway* e *yaw*), através das seguintes equações:

$$X = f_x(u, v, \dot{\psi}, \dot{u}, \dot{v}, \ddot{\psi}), \quad (2.2)$$

$$Y = f_y(u, v, \dot{\psi}, \dot{u}, \dot{v}, \ddot{\psi}) \text{ e} \quad (2.3)$$

$$N = f_\psi(u, v, \dot{\psi}, \dot{u}, \dot{v}, \ddot{\psi}). \quad (2.4)$$

Onde, segundo Santos (2021), v representa a velocidade longitudinal do navio, u simboliza a velocidade transversal, \dot{u} e \dot{v} as acelerações transversal e longitudinal respectivamente, $\dot{\psi}$ velocidade de variação de *yaw* (*rate of turn*) que também pode ser representado por r e $\ddot{\psi}$ representa a aceleração dessa variação do aproamento, também podendo ser simbolizado por \dot{r} . O significado físico das equações pode ser resumido como sendo em X a força longitudinal do navio, Y a força lateral e, por fim, N o momento de guinada da embarcação. Ademais, a condição para a correta aplicação da ferramenta matemática da expansão de Taylor é que a função e suas derivadas sejam contínuas e não tendam ao infinito nas variáveis levadas em consideração.

Ao estimar as derivadas, o que pode ser feito tanto em campo de forma experimental ou, atualmente, por meio da hidrodinâmica computacional, diversos autores propuseram suas próprias expressões. Em função da boca representada por B , do calado T , do comprimento L e do coeficiente de bloco C_b , definiu-se o fator $fac1 = \pi \cdot (T/L)^2$ e, por conseguinte, Clarke *et al.* (1982) propuseram as seguintes expressões, onde cada incógnita na parte esquerda da equação representa a derivada em relação à variável subscrita:

$$Y'_{\dot{v}} = -fac1 \cdot (1 + 0,16 \cdot C_b \cdot (B/L) - 5,1 \cdot ((B/L)^2)); \quad (2.5)$$

$$Y'_{\dot{r}} = -fac1 \cdot (0,67 \cdot (B/L) - 0,0033 \cdot ((B/T)^2)); \quad (2.6)$$

$$N'_{\dot{v}} = -fac1 \cdot (1,1 \cdot (B/L) - 0,041 \cdot (B/T)); \quad (2.7)$$

$$N'_{\dot{r}} = -fac1 \cdot (1/12 + 0,017 \cdot C_b \cdot (B/T) - 0,33 \cdot (B/L)); \quad (2.8)$$

$$Y'_{\dot{v}} = -fac1 \cdot (1 + 0,40 \cdot C_b \cdot (B/T)); \quad (2.9)$$

$$Y'_{\dot{r}} = -fac1 \cdot (-1/2 + 2,2 \cdot (B/L) - 0,080 \cdot (B/T)); \quad (2.10)$$

$$N'_{\dot{v}} = -fac1 \cdot (1/2 + 2,4 \cdot (T/L)); \text{ e} \quad (2.11)$$

$$N'_{\dot{r}} = -fac1 \cdot (1/4 + 0,039 \cdot (B/T) - 0,56 \cdot (B/L)). \quad (2.12)$$

3. METODOLOGIA

3.1. Classificação da pesquisa

3.1.1. Classificação quanto aos fins

Com base na obra de Vergara (1998), esta produção acadêmica se caracteriza, quanto aos fins, como uma pesquisa exploratória, descritiva e explicativa. Isto é possível porque os métodos de pesquisa não são excludentes entre si. Portanto, trata-se de uma investigação exploratória por se dispor a abordar um fenômeno sem construção prévia de uma hipótese, podendo esta surgir no decorrer do trabalho. É também descritiva pelo fato de, sem o compromisso de se aprofundar na explicação associada, descrever um fenômeno (neste caso, uma manobra de atracação). Além disso, pode ser considerada como explicativa porque, por mais que não se justifique cientificamente os porquês da execução das manobras descritas, o trabalho se propõe a esclarecer os fatores que influenciam a manobrabilidade de uma embarcação de modo geral.

3.1.2. Classificação quanto aos meios

No que tange à classificação quanto aos meios, segundo Vergara (1998), o trabalho é de cunho bibliográfico, pois tem seu estudo pautado em pesquisa bibliográfica, que é aquela desenvolvida por livros, revistas, artigos, ou seja, material de fácil acesso ao público em geral. Ademais, é também uma pesquisa participante, pois, como explicitará a seção subsequente, ela conta com o envolvimento de membros da comunidade atinente ao tema pesquisado para a resolução do problema apresentado. Por fim, classifica-se também pesquisa de laboratório, porque através da inviabilidade de realizar o experimento no campo, optou-se por realizar simulações no computador.

3.2. Coleta de dados

As publicações de referência atribuem certo grau subjetivo à condução de uma embarcação. Desta forma, o oficial condutor possui a responsabilidade pela tomada de decisão e boa execução das manobras a bordo dos navios da MB. Portanto, de acordo com Leitão (2021), o caráter descritivo apresentado na seção anterior enquadra o objeto de estudo como uma pesquisa alinhada ao paradigma qualitativo. Contudo, por apresentar também um viés exploratório e explicativo a pesquisa se enquadra também no paradigma quantitativo. Deste modo, mais de um método de coleta de dados precisou ser aplicado.

3.2.1. Paradigma qualitativo

Leitão (2021) afirmou que a pesquisa por métodos qualitativos parte do pressuposto do empirismo e da consequente valorização da percepção humana de determinado fenômeno. Esses métodos se baseiam na imprevisibilidade do objeto de estudo e, portanto, na impossibilidade de se limitar ao conhecimento obtido em laboratório, onde as variáveis podem ser facilmente controladas, simplificadas e delimitadas. A pesquisa alinhada ao paradigma qualitativo é de cunho exploratório e busca sua coleta de dados sob uma ótica autêntica e genuína do fenômeno, podendo fazer uso do discurso de pessoas diretamente envolvidas e que sejam profundas conhecedoras do tema abordado.

Dentre os diversos métodos de se realizar a coleta de dados para este tipo de pesquisa, neste trabalho optou-se por realizar entrevistas para melhor entendimento da conceituação de uma manobra de atracação, suas particularidades e para validar o método quantitativo-experimental adotado.

Estipulou-se a maneira considerada adequada de se atracar uma embarcação. Esse entendimento foi validado por meio do conhecimento profissional de oficiais com anos de serviço embarcado e, conseqüentemente, vasta experiência e diversas manobras realizadas a bordo de navios.

3.2.1.1. Entrevistas realizadas

Entrevistou-se o Capitão de Mar e Guerra Claudio Coreixas de Moraes em virtude de sua vivência que alia uma vasta experiência operativa no mar e o conhecimento técnico de ambientes experimentais. O Comandante Coreixas, ao longo de sua carreira, comandou o Aviso de Instrução Guarda-Marinha “Jansen” e, posteriormente, concluiu mestrado e doutorado na área de simulações. Ele foi o desenvolvedor dos simuladores aplicados no ensino prático de navegação na EN e atualmente atua como pesquisador, tanto na MB, no Centro de Análise e Sistemas Navais (CASNAV), quanto no Laboratório de Tecnologia Oceânica (LabOceano) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Além disso, foram coletadas informações com o Capitão de Fragata Antonio de Barcellos Neto, que foi escolhido por possuir profundo conhecimento da embarcação tratada nesta produção acadêmica. O Comandante Barcellos foi o primeiro Comandante do NApOc “Mearim”. Ele e sua tripulação receberam o navio e tiveram a oportunidade de trocar

experiências e praticar a condução do navio diretamente com os tripulantes de nacionalidade filipina que conduziam a embarcação enquanto atuava como *Supply Vessel*. Ademais, o Comandante Barcellos possui mais de 1.000 dias de mar e, portanto, grande experiência em manobras marinheiras de um modo geral.

Por fim, foram entrevistados os Imediatos Kennedy Santos e Vitor Stersi, que trabalham no ramo *offshore* na empresa “Sapura”. Eles possuem anos de embarque em navios dotados com *thrusters* como recurso propulsivo. Sua contribuição para essa produção acadêmica foi a validação do ambiente de simulação no comparativo com a realidade, já que eles tiveram a oportunidade de realizar manobras nos simuladores desenvolvidos pelo LabOceano para fins de adestramento.

3.2.1.2. Abordagem adotada

Em sua obra, Leitão (2021) classificou as entrevistas em três diferentes dimensões a fim de diferenciá-las e possibilitar o correto planejamento e a escolha da melhor abordagem pelo entrevistador. Essas dimensões, nomeadas como temporal, espacial e estrutural, possuem características específicas que podem defini-las como livre, estruturada ou semiestruturada, a depender das subdivisões mostradas na Figura 5 e que serão apresentadas nesta seção.

Figura 5 - As três dimensões de uma entrevista

Dimensão	Características			
		Livre	Estruturada	Semiestruturada
Estrutural	Roteiro	Não	Sim	Sim
	Flexibilidade	Sim	Não	Sim
	Comparabilidade	Não	Sim	Sim
Espacial	Presencial	Sim	Sim	Sim
	A distância	Sim	Sim	Sim
Temporal	Síncrona	Sim	Sim	Sim
	Interativa	Sim	Sim	Sim

Fonte: Sylvia Constant Vergara, 1998.

Leitão (2021) afirmou que a dimensão temporal é identificada como a base conceitual de uma entrevista. Essa temporalidade se refere à necessidade de interação e alternância nos papéis de comunicador e ouvinte durante a conversação estabelecida. Através dessa dimensão, as duas partes envolvidas podem interagir de forma espontânea, fazendo interrupções ou colocações adicionais a qualquer momento. Além disso, nesse caso, as suas duas subdivisões são necessárias e permitem uma abordagem livre, estruturada ou semiestruturada.

Já com relação a dimensão espacial, Leitão (2021) referiu-se basicamente à posição física estabelecida entre pesquisador e fonte. Em sua forma clássica, a entrevista é realizada na modalidade presencial, contudo, o advento da tecnologia possibilitou novos métodos de se realizar esse tipo de coleta de dados. Conforme ilustra a Figura 5, as duas subdivisões desta dimensão permitem as três abordagens.

Por fim, quanto a dimensão estrutural, segundo Leitão (2021), as entrevistas se diferem pela presença ou não de um roteiro a ser seguido. Apenas aquelas caracterizadas como livres permitem que a entrevista não seja roteirizada. Elas conferem total flexibilidade na abordagem, mas são incomuns em pesquisas científicas. Por outro lado, as entrevistas tidas como estruturadas devem ter seus roteiros seguidos de forma rígida e, por isso, permitem alto grau de comparabilidade com outras pesquisas com o mesmo tema. Finalmente, a característica semiestruturada é definida como a junção das duas anteriores, apresentando roteiro a ser seguido, mas permitindo também certa flexibilidade e grau de comparação.

Com base no aprofundamento nas características acima, foi traçada uma estratégia para a realização da presente pesquisa. Desta maneira, este estudo realizou uma pesquisa: semiestruturada, permitindo grande flexibilidade em torno do roteiro estabelecido; por vídeo no caso do Comandante Barcellos, proporcionando, apesar da distância, uma interação baseada em elementos não-verbais; presencial nos demais entrevistados, permitindo utilização de todas as formas de comunicação; e baseada no sincronismo e interação constante entre os interlocutores.

3.2.2. Paradigma quantitativo

Este estudo, por ter sido realizado desprovido de hipótese prévia e por buscar desvelar objetivamente um fenômeno, mostrou grande adequabilidade a aplicação de um método quantitativo-experimental para coleta de dados. Os estudos de Leitão (2021) qualificaram esse tipo de pesquisa como sendo aquelas baseadas na neutralidade e que, portanto, buscam um ambiente controlado, desassociado de influências naturais, sendo possível mensurar todas as variáveis e construir um modelo reprodutível.

Em virtude da complexidade desta pesquisa acadêmica, não foi possível, no tempo que se dispunha, realizar a modelagem da embarcação estudada e análise em tanque experimental ou no simulador. Contudo, como uma simplificação adequada, realizou-se diferentes tipos de manobras em um modelo computacional encontrado na bibliografia.

3.2.2.1. *Software* utilizado e intervenções realizadas

A metodologia empregada na execução das simulações baseou-se na utilização do *Software Python Vehicle Simulator* na linguagem de programação *Python*. O programa, referenciado na obra de Fossen (2021), é uma suplementação do *Marine Systems Simulator*, e disponibiliza uma biblioteca denominada *vehicles* contendo os modelos de embarcações, bem como o código que possibilita a simulação de manobras pré-definidas. Entre os tipos de embarcações possíveis, este trabalho se ateve aos denominados *Supply* em virtude da similaridade às características da embarcação que motivou o estudo. Com este modelo, interviu-se criando o modelo *Supply_modificado*, onde alterou-se a função *stepInput* inserindo os valores desejados para as rotações dos MCP e *bow thrusters*. Ademais, criou-se um novo enlace principal denominado *exemplo_jonas*, onde a variável *jonas_ship* recebeu a função *stepInput* e gerou os gráficos desejados, sem levar em consideração apenas três graus de liberdade. Os códigos produzidos encontram-se no Anexo A.

As alterações no código fonte de Fossen (2021) foram realizadas com o fito de possibilitar a execução da manobra de atracação da maneira mais próxima à realizada pelos navios da MB. Como principais mudanças destacam-se a alteração do comprimento da embarcação e a desconsideração dos movimentos em torno do eixo Z, tratando o problema, portanto, como tendo três graus de liberdade. Além disso, foram extraídos gráficos para análises baseadas na demanda em cada um dos propulsores ao longo do tempo e comparação do deslocamento e variação do aproamento (*yaw*) em cada manobra. Para que se pudesse avaliar os impactos causados exclusivamente pelas diferentes configurações de propulsão, o tempo de manobra e a distância longitudinal ao cais foram mantidos como constantes nas hipóteses testadas.

3.2.2.2. Manobras realizadas

Tendo em vista a motivação desta pesquisa, as manobras foram realizadas no intuito de buscar a maneira mais efetiva de realizar uma atracação. Dois modelos de aproximação ao cais foram testados e analisados valendo-se do tempo, distância e *yaw* como métricas principais. De maneira secundária, este trabalho também se propõe a fazer uma análise qualitativa dos efeitos dessas hipóteses de manobra sobre a demanda energética e, conseqüentemente, o consumo de combustível do navio.

Propôs-se uma aproximação angular, ou seja, com movimento tanto no sentido longitudinal quanto transversal em relação ao cais. A embarcação iniciou o movimento com o ângulo de *yaw* paralelo ao cais e guinou no decorrer da manobra buscando aproximar-se lateralmente do local de atracação. Dessa maneira, foram realizados dois tipos de intervenções propulsivas, sendo a primeira sem a utilização do *bow thruster*, ou seja, apenas com os motores de combustão principal (MCP). Em um segundo momento, realizou-se a atracação utilizando-se tanto os MCP quanto os *thrusters*.

3.3. Limitações

Esta produção acadêmica fez uso de aproximações, logo, há de se compreender que em um estudo científico experimental estão previstas distorções no comparativo com a realidade. Justifica-se as distorções pela inviabilidade de qualquer modelo reproduzir a imprevisibilidade e infinitude de possibilidades do meio externo. Sendo assim, as simulações realizadas neste trabalho possuem limitações consideradas como aceitáveis para os objetivos propostos.

A primeira limitação a ser mencionada é a ausência da interferência dos fenômenos da natureza que podem impactar severamente no sucesso de qualquer manobra de uma embarcação. De forma intencional, o espaço amostral deste estudo foi simplificado de modo a não levar em consideração o carregamento de ventos, corrente e ondas. Se por um lado, essa simplificação facilitou a manobra, reduzindo o tempo e minimizando a chance de falhas, por uma outra ótica, esta escolha permitiu a análise exclusiva do maquinário disponível na embarcação, que é o objeto de observação principal do trabalho. Essas interferências foram abordadas na discussão sob uma ótica qualitativa e quantitativa.

Além disso, por mais que o estudo possua uma embarcação de referência, por ausência de informações mais precisas, as características da silhueta da embarcação, bem como potência de seus propulsores foram tratados de forma genérica. Foram utilizados os dados já inseridos no código disposto pela referência e adaptados pelo autor.

Por fim, a configuração de equipamentos da embarcação projetada por Fossen (2021) em seu código são distintas do navio que motivou o estudo. Entre as principais diferenças destacam-se a ausência de leme e a existência de dois *bow thrusters*, ao invés de um *bow* e um *stern thruster* conforme nos AHTS adquiridos pela MB.

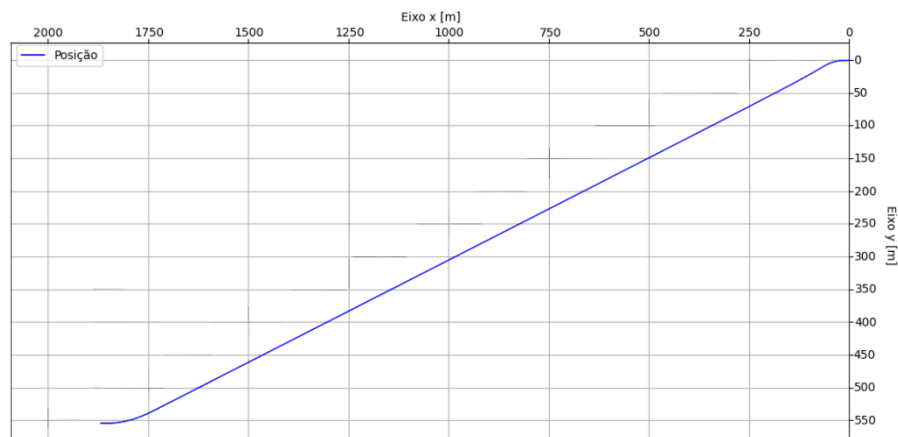
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados

Foram realizadas diversas iterações no código fonte para que se alcançasse o objetivo final, que é atracar a embarcação. Dessa forma, pôde-se observar com clareza as diferenças entre as configurações propulsivas adotadas.

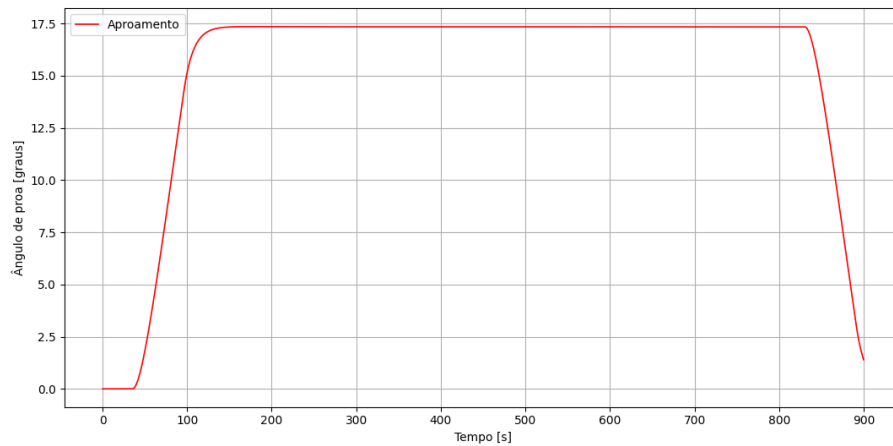
Como primeira hipótese, foi realizada uma tentativa de aproximação, utilizando propulsores principais e *thrusters*, em conformidade com aquilo que é transmitido nas instruções de atracação da Escola Naval (EN). Segundo Fonseca (2002), a aproximação deve ser realizada com um ângulo entre 10 e 20 graus em relação ao cais. Contudo, o resultado dessa alternativa não se mostrou exequível em locais com pouco espaço para realizar a manobra, a não ser que haja uma guinada nas proximidades do local de atracação, deixando o navio mais exposto à ação da corrente, o que não é desejável, segundo Barcellos (2023). O empecilho é a distância lateral do cais que precisaria ser de cerca de 550 metros. O Gráfico 1 ilustra como se daria o deslocamento da embarcação no plano horizontal, enquanto o Gráfico 2 representa a variação do ângulo de *yaw* ao longo tempo.

Gráfico 1 - Deslocamento no plano horizontal (hipótese segundo o Arte Naval)



Fonte: Autor.

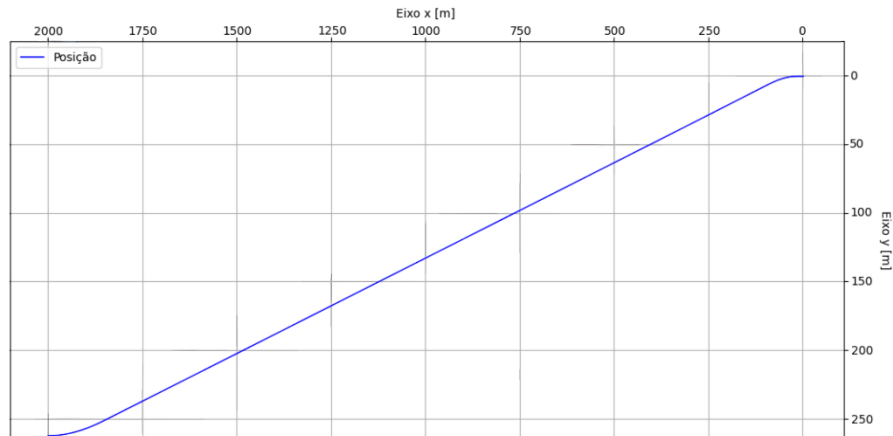
Gráfico 2 - Variação da proa em função do tempo (hipótese segundo o Arte Naval)



Fonte: Autor.

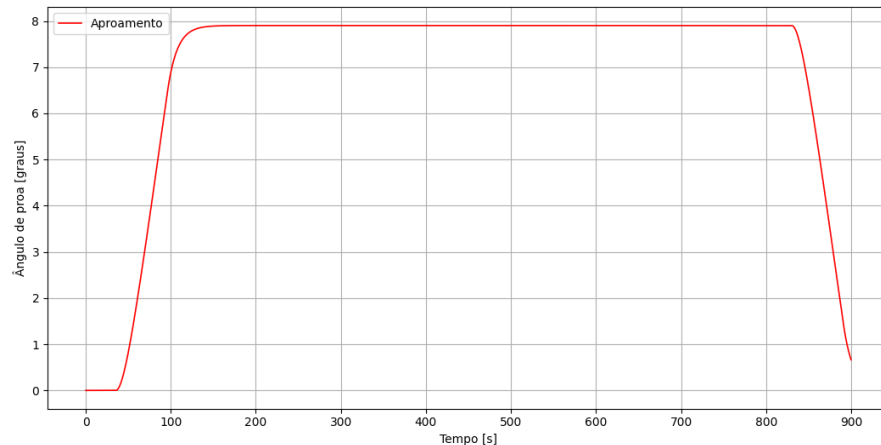
Com base nesses resultados, buscou-se alternativas para redução da distância lateral, tendo em vista que em Rio Grande-RS, por exemplo, que é o porto sede do NApOc “Mearim”, a distância disponível é de, no máximo, cerca de 250 metros. Desta forma, testou-se a segunda hipótese, que levou em consideração a utilização apenas do propulsor principal em sua execução. Os Gráficos 3 e 4 ilustram os resultados com relação ao deslocamento no plano horizontal e a variação do aproamento ao longo do tempo, respectivamente.

Gráfico 3 - Deslocamento no plano horizontal (hipótese utilizando apenas os MCP)



Fonte: Autor.

Gráfico 4 - Variação da proa em função do tempo (hipótese utilizando apenas os MCP)

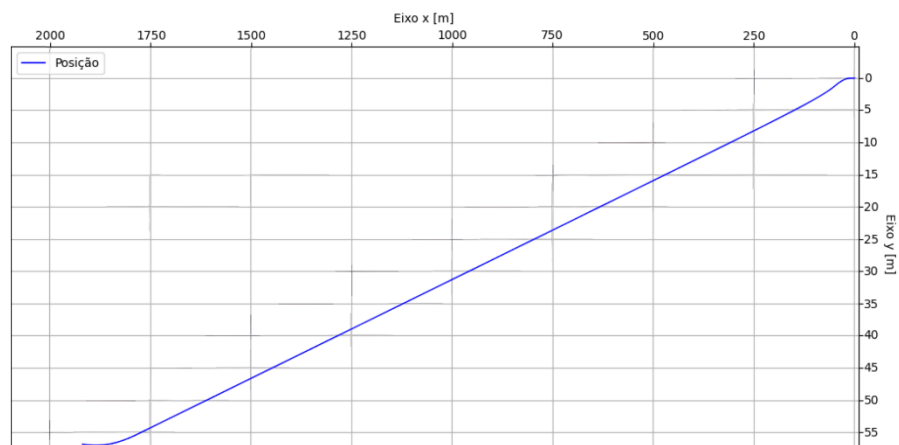


Fonte: Autor.

Percebeu-se, já nessa segunda alternativa, uma variação pequena do ângulo de proa da embarcação, ou seja, o navio foi capaz de se aproximar lateralmente com pouca influência de sua velocidade longitudinal. Além disso, a distância lateral foi limitada à distância máxima observada no porto sede do navio que motivou este estudo.

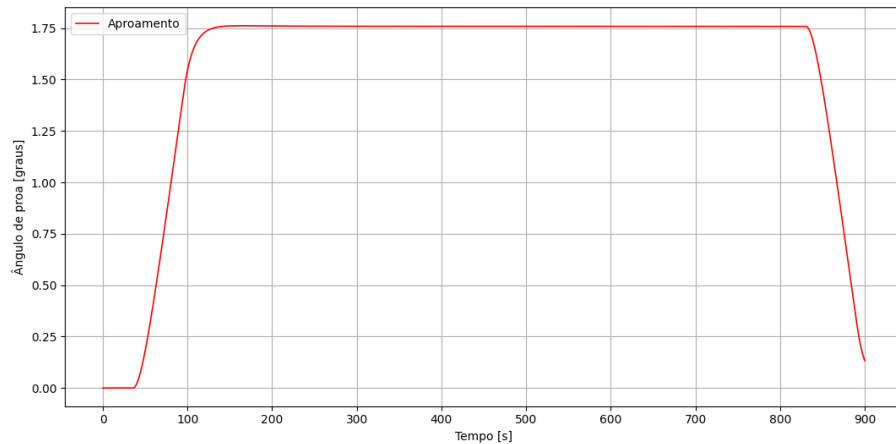
Finalmente, realizou-se a terceira hipótese, fazendo a atracação da embarcação usando uma configuração propulsiva com a combinação de *bow thruster* e propulsores. Os resultados demonstrados pela posição no plano horizontal no Gráfico 5 e pela variação do *yaw* no tempo no Gráfico 6 evidenciaram as diferenças entre as manobras.

Gráfico 5 - Deslocamento no plano horizontal (hipótese com auxílio do *bow thruster*)



Fonte: Autor.

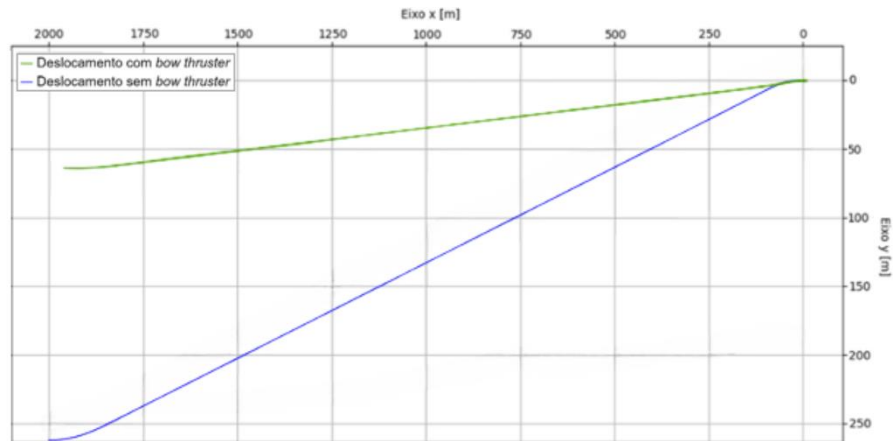
Gráfico 6 - Variação da proa em função do tempo (hipótese com auxílio do *bow thruster*)



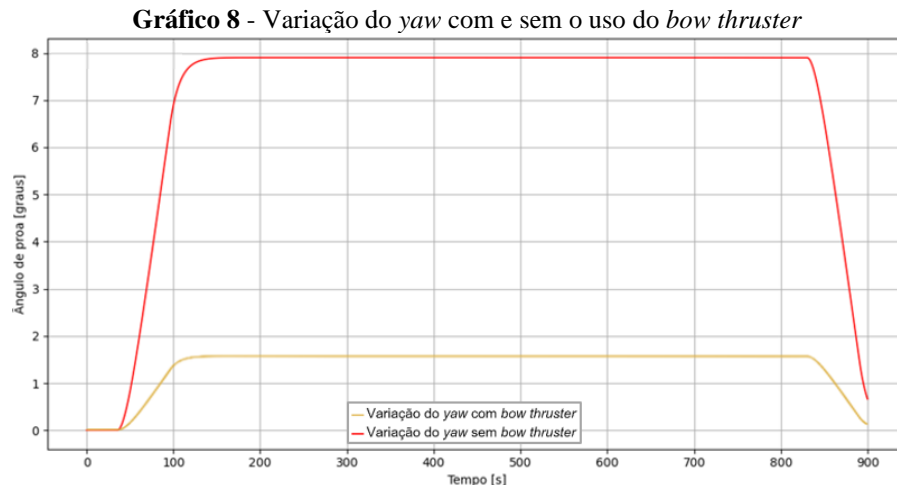
Fonte: Autor.

Os resultados mostraram que, através do emprego de um *tunnel thruster*, foi possível reduzir ainda mais a distância lateral para o cais no início da manobra. Além disso, observou-se a variação de *yaw* em menos de 2 graus, o que, segundo Coreixas (2023) e Barcellos (2023), é o ideal para uma manobra mais segura e precisa. O Gráfico 7 evidencia a comparação entre os deslocamentos no plano horizontal entre a manobra com e sem o uso do *bow thruster* enquanto o Gráfico 8 deixa claro a vantagem do uso do *thruster* com relação a variação do *yaw*.

Gráfico 7 - Deslocamento no plano horizontal com e sem o uso do *bow thruster*



Fonte: Autor.



Fonte: Autor.

Em entrevista cedida ao autor desta produção acadêmica, Barcellos validou a execução da manobra realizada nas simulações. Ele afirmou que para o exemplo prático de Rio Grande-RS, o caso proposto neste trabalho se mostra bem realista. Ao dizer isso, ressaltou a vantagem de se manter o navio alinhado a corrente, fazendo ajustes da popa com o leme, enquanto controla a proa com o *bow thruster*.

4.2. Discussão

4.2.1. A atracação ideal

Fonseca (2002), em sua obra, que é referência para a formação dos militares da MB, buscou prever os diferentes tipos de situações, durante a manobra de atracação, que podem ser enfrentadas por um comandante ou oficial que esteja na manobra de uma embarcação. Além disso, ele define como aproximação ideal aquela com um ângulo entre 10 e 20 graus em relação ao cais.

Como um contraponto, Coreixas (2023) defendeu que a determinação de um procedimento padrão para atracação só é possível levando-se em conta o mesmo local de atracação e as mesmas condições de vento e corrente reinantes. Ele ressaltou ainda sobre as particularidades de cada embarcação no que diz respeito ao formato do casco, obras vivas, obras mortas e recursos propulsivos disponíveis. Dessa forma, cada navio funcionará de uma forma e terá sua maneira de manobrar.

Sob uma visão ampla, é prática comum na MB a manobra com a aproximação da proa, onde se passa a espia de proa para mantê-la próxima ao cais e aplica-se conjugados propulsivos dos propulsores principais para aproximação da popa. No entanto, a boa prática com a disponibilidade de *thrusters* indica como mais adequada a aproximação lateral com o navio já

paralelo ao cais, trazendo mais conforto e segurança para a manobra executada (COREIXAS, 2023).

Este estudo, através das simulações propostas comprovou no ambiente de simulação as vantagens dessa aproximação com o uso do *bow thruster*. A manobra passa a ser possível de se executar em ambientes com condições mais desfavoráveis, o navio fica menos exposto às condições externas e a execução da atracação ocorre de maneira mais segura e precisa.

4.2.2. Criação do vetor de aproximação

A obra Arte Naval, de autoria de Fonseca (2002), detalhou os vetores que devem ser criados em diferentes situações de manobra. Contudo, de modo geral, ele definiu que, logo que possível, as retinidas devem ser lançadas para o cais, mesmo que as espias somente sejam passadas momentos depois. A necessidade desse lançamento precoce se dá pela utilização dos cabos que amarram o navio como auxílio na criação do vetor lateral que fará a embarcação se aproximar do cais. Além de definir os tipos de espias existentes, ele se preocupou em detalhar o efeito prático de cada uma delas.

Por outro lado, Coreixas (2023) e Barcellos (2023) alertaram para a comodidade da criação desse vetor de forma mais simples e efetiva. Ao passo que, com espias e propulsores principais, a manobra exige a composição de diversos fatores para que se alcance um resultado, com os *side thrusters* alcança-se o mesmo efeito com apenas um elemento. Isso torna a manobra mais fácil e segura. Entretanto, entende-se a grande importância da manobra com espias em navios com menos recursos, onde esse tipo de manobra acaba sendo a única opção (COREIXAS, 2023).

4.2.3. Vantagens e desvantagens do uso dos *thrusters*

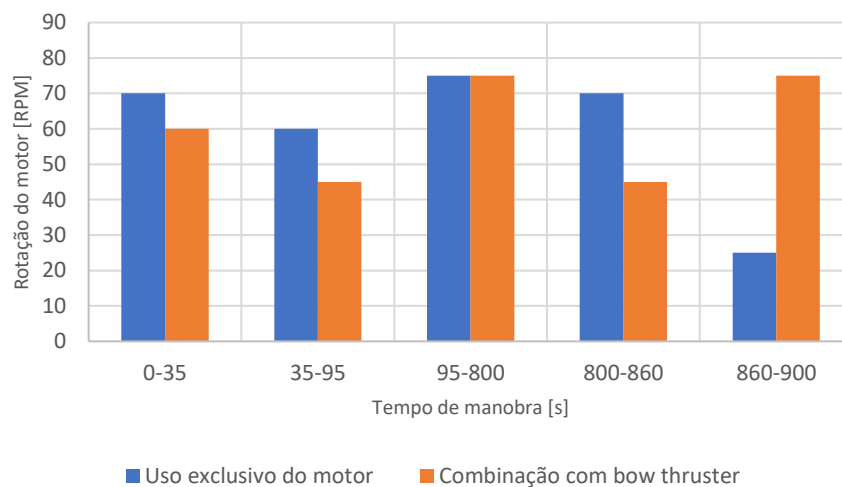
Coreixas (2023) afirmou que uma grande vantagem da utilização de *tunnel thrusters* se dá pela redução de processos a serem processados pelo comandante da embarcação. A tensão de uma manobra de atracação já exige grande habilidade cognitiva para concatenar as informações recebidas, portanto, a redução dos fatores a serem levados em consideração mostra-se bastante atrativa, principalmente quando ainda não se tem experiência e total domínio daquela embarcação. Ao contrário da composição vetorial com propulsores, espias e lemes, com o *thruster* basta o oficial observar a direção que espera que o navio se desloque e comandar a potência desejada naquela direção.

4.2.3.1. Consumo elétrico e de combustível

Barcellos (2023) mencionou o possível gasto elétrico e de combustível adicional que pode envolver o emprego do *bow thruster*. Entretanto, ele afirmou que esse gasto é compensado por: uma maior segurança na manobra; possibilidade de atracação em locais mais estreitos, onde sem o *thruster* seria inviável; e minimização das chances da necessidade de uma segunda aproximação, reduzindo o tempo de atracação. Ao se realizar a comparação das manobras através dos Gráficos 7 e 8, pode-se identificar com clareza as diferenças em termos de distância lateral na aproximação e variação do aproamento. No entanto, no quesito consumo não é possível extrair nenhuma informação. Desta forma, procurou-se realizar uma análise comparativa que fornecesse algum dado nesse sentido.

O Gráfico 9 mostra a demanda da rotação da propulsão principal de bombordo em função do tempo para a atracação com e sem a utilização do *bow thruster*.

Gráfico 9 - Comparação da demanda do MCP nas hipóteses com e sem *bow thruster*

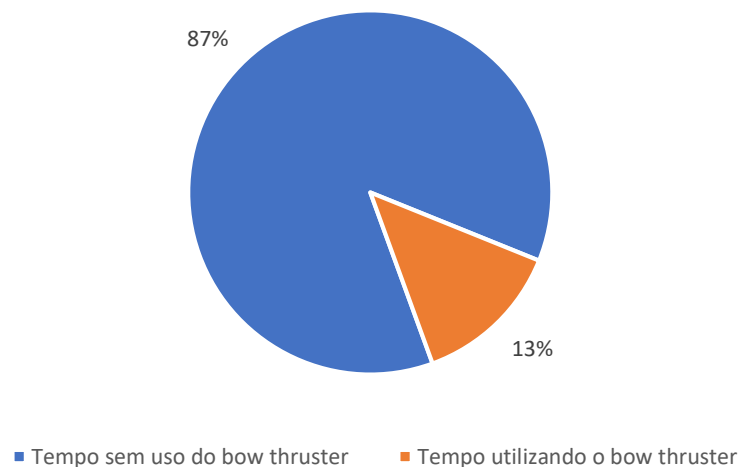


Fonte: Autor.

Percebeu-se que a exigência do propulsor na aproximação sem o uso do *thruster* foi menor ou igual àquela que utilizou esse recurso durante 860 segundos. Apenas no último período houve uma alternância nessa comparação. Desta forma, a média da demanda dos motores na aproximação com seu uso exclusivo foi de 71,25 RPM, enquanto que no segundo caso a média foi de 70,42 RPM. Vale ressaltar que esses valores não representam uma analogia direta com a realidade do AHTS motivador deste estudo, mas apenas uma referência do modelo aplicado que possibilita esse comparativo.

Portanto, como as exigências dos motores são praticamente equivalentes, a diferença no consumo consiste exclusivamente no uso do *bow*. Quanto a isso, o Gráfico 10 representa a porcentagem de tempo dessa ocorrência. Foram 120 segundos utilizando o *thruster* com a demanda de 50 RPM, que representam uma exigência média de 6,67 RPM. Essa utilização implica num aumento no consumo, mas que se mostra irrelevante no comparativo com as vantagens proporcionadas, de acordo com Barcellos (2023).

Gráfico 10 - Percentual de tempo utilizando o *bow thruster* durante a manobra



Fonte: Autor.

4.2.3.2. Custo de manutenção

Apesar de, na coleta de dados com base nas entrevistas, não ter sido mencionado, a existência de mais um equipamento em operação na Praça de Máquinas implica em custos adicionais com manutenção. Para que se quantificasse esse custo, utilizou-se como exemplo o NApOc “Mearim”, embarcação que motivou este estudo.

Os *thrusters* instalados no “Mearim” são do fabricante “HRP” e do tipo “4007 TT CP”. De acordo com o manual do equipamento, as rotinas de manutenção são de origem mecânica e geram custos apenas quando se trata de lubrificação. O documento informa que o nível de óleo lubrificante deve permanecer acima de 75% da capacidade do tanque e as peças devem ser engraxadas anualmente. Desta forma, assim como no combustível, o gasto é recompensado pelas vantagens do uso do propulsor. Em especial na lubrificação, tendo em vista que o lubrificante e a graxa recomendados também se aplicam a outros equipamentos, portanto, o navio já tem como prática o armazenamento a bordo.

4.2.3.3. Ângulo de aproximação

Coreixas (2023) afirmou que em manobras portuárias de um práctico não há manobra de atracação com ângulo de incidência em relação ao cais. A manobra adotada é parar a embarcação paralela ao cais e realizar a aproximação lateral, seja com rebocador ou com *side thruster*. A técnica aplicada pela MB é muito efetiva para um determinado tipo de navio, que é aquele com linha de eixo e propulsão convencional e normalmente com um ou nenhum rebocador para apoiar a manobra. Mas numa situação da embarcação com recursos de *thrusters* não se mostra como a melhor opção. O motivo é que quando se aproxima em ângulo, a chance de tocar no cais em um ponto sem defesa com a proa é maior. Numa aproximação paralela, com um cais bem equipado, toca-se em pelo menos dois pontos defendendo no cais, proporcionando melhor distribuição de forças.

Barcellos (2023) chamou atenção para a manobra utilizada pelos tripulantes filipinos do antigo *Sea Stoot*, mais especificamente sobre a utilização dos lemes para deslocamento lateral e conseqüente minimização do ângulo de incidência. A partir de determinada distância do cais posicionava-se o leme de forma fixa e em sentidos opostos, de forma a aumentar a capacidade dos motores como um vetor lateral. Dessa forma, a configuração conjugada dos eixos era ampliada para que o efeito final seja um movimento lateral e não avante ou a ré. Com isso, além do *bow* e *Stern thrusters*, o navio possuía uma capacidade ainda mais efetiva na aproximação em detrimento do movimento longitudinal. O comandante filipino possuía mais de 10 anos de experiência naquela embarcação e fazia questão de explorar o movimento lateral do navio. É um grande contraponto à atracação tradicional da MB, onde se explora muito manobra de espias para segurar o navio e se aproximar do cais, resultando num ângulo de incidência relevante.

O estudo desenvolvido corroborou com o que afirmaram os Comandantes entrevistados. Ficaram nítidas as vantagens da redução do *yaw* na aproximação da manobra de atracação. Entre as vantagens citadas destacam-se uma menor exposição da embarcação aos efeitos de corrente e vento e a segurança na aproximação final do cais ao possibilitar um contato mais controlado do casco do navio.

4.2.4. Utilização do *thruster* na Marinha do Brasil

Ao se referir à bibliografia adotada para o adestramento de manobras de navios na MB, Coreixas (2023) alegou que é muito proveitosa ao que se propõe, que é tratar do tipo de embarcação que possua apenas um ou dois eixos com propulsão convencional e lemes.

Contudo, no mundo atual, onde a MB dispõe de diversos meios com a disponibilidade de *side thrusters*, esse conhecimento não é capaz de preparar de forma adequada o aspirante a oficial para os desafios de assumir um comando no mar em navios mais modernos.

Deste modo, destaca-se a iniciativa do C-ApA no ensino da manobrabilidade, disciplina considerada fundamental para domínio de todos os fatores envolvidos na movimentação e uma embarcação. Coreixas (2023) afirmou que a EN deveria ministrar esse conteúdo já na formação do aspirante a oficial. Assim, seria possível obter um preparo mais adequado para o entendimento das influências externas na manobrabilidade do navio e, conseqüentemente, manobrá-lo com mais conhecimento técnico aliado ao empírico adquirido. Além disso, através da modelagem de diferentes embarcações nos simuladores já existentes na EN, ainda que os navios destinados ao preparo dos futuros oficiais não disponham do *bow thruster* como recurso propulsivo, obter-se-ia entendimento sobre sua utilização.

4.2.5. Comparação das simulações com a realidade

Santos (2023) destacou as diferentes interações com o meio externo que são difíceis de serem replicados no simulador, como as reações da embarcação às influências da corrente e do vento. Além disso, relatou que a manobra a bordo da embarcação permite maior percepção dos movimentos do navio. O simulador aproxima, mas não consegue reproduzir de forma idêntica as noções de distância e as possibilidades de manobra devido aos diferentes fatores envolvidos na navegação no mundo real. Contudo, ressaltou que a aproximação apresentada pelo simulador está bem condizente com a realidade.

Stersi (2023) deu grande importância ao simulador como ferramenta de treino para novos profissionais que manobrarão pela primeira vez determinado tipo de embarcação. Afirmou que o ideal seria sempre se ter essa experiência no simulador, que é capaz de trazer uma noção bem realista do que se encontrará na manobra real. Como principal diferença ele destacou a ausência de determinadas funções de automatização da manobra que, segundo ele, diminuem a margem de erro ao atracar o navio em determinados locais.

5. CONCLUSÃO

A celeridade evolutiva da tecnologia nos dias atuais desperta para a necessidade de preparação para acompanhar esse avanço. Nesse contexto, observamos que, com o passar dos anos, diferentes modelos de embarcações e recursos propulsivos se tornam corriqueiros. O *bow thruster*, apesar de não ser uma inovação, representa um paradigma operativo para o ensino tradicional adotado na MB. A consagrada utilização dos propulsores convencionais aliados ao leme e manobras com espias se apresenta como um caminho menos efetivo em navios com maior amplitude de recursos propulsivos.

5.1. Considerações finais

O Comandante deve sempre ter em mente as configurações propulsivas que mais lhe agregarão em questão de segurança e manobrabilidade. Sob essa perspectiva, o estudo mostra que é contraintuitivo adotar um regime com uso exclusivo dos propulsores principais em detrimento dos *side thrusters*. O uso do propulsor lateral se mostrou fundamental na redução do ângulo de incidência em relação ao cais, bem como na possibilidade de redução da distância lateral no início da aproximação.

Destaca-se entre as vantagens do uso do *tunnel thruster* a redução de variáveis a serem processadas pelo oficial responsável pela manobra. A atracação é um momento de grande tensão, possui muitos atores envolvidos e diversas variantes externas, portanto, qualquer vantagem temporal no raciocínio pode ser essencial. O bom uso dos recursos que se dispõe pode representar um ganho cognitivo considerável. Por outro lado, a desvantagem que se apresenta é a elevação do consumo, porém os ganhos se sobressaem significativamente.

É importante ressaltar que não existe uma manobra considerada ideal. É desejável a redução da variação do aproamento visando a possibilidade de atracação em locais mais remotos, mas as condições reinantes de vento e corrente e, principalmente, a experiência do condutor irão indicar a maneira que se adequa a cada situação. Este estudo comprovou a efetividade do uso do *tunnel thruster*, entretanto, o desenvolvimento da manobra poderá sempre variar.

Portanto, a grande contribuição que se deixada para a oficialidade futura é o conhecimento sobre as diferentes configurações propulsivas disponíveis em cada navio, de forma a adotar aquela que mais se adequa às condições do meio externo e proporciona maior

confiança em uma manobra precisa e segura. O estudo mostrou como a ciência da manobrabilidade se alia a arte do empirismo das manobras no mar, exaltando a importância das duas vertentes e elencando diferentes formas da aplicação desse entendimento, tanto na MB quanto no meio civil.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

Por fim, para dar prosseguimento a esta produção acadêmica, sugere-se a realização de experimento em um tanque através do desenvolvimento de um modelo proporcional a embarcação estudada. Desta forma, serão obtidos resultados mais palpáveis e possíveis de se aplicar a realidade, haja vista que as manobras seriam realizadas em diferentes circunstâncias de vento e corrente; sem a prévia estipulação de um tempo de manobra ou distância; e em variadas situações em relação ao espaço disponível no cais. Ainda que não seja possível desenvolver uma maneira de atracar única e aplicável a todas as situações, será de grande valia possuir um estudo que aborde diferentes condições reinantes. Além disso, sugere-se a coleta dos dados técnicos reais do maquinário disponível para realização de um levantamento preciso de gastos com manutenção, consumo de combustível e demanda elétrica nas diferentes manobras.

REFERÊNCIAS

- BARCELLOS, Antonio. Entrevista concedida a Jonas Ferreira dos Santos. Rio de Janeiro, 13 out. de 2023.
- BRASIL. Centro de Adestramento “Almirante Marques de Leão” (CAAML). **Oficial de Quarto**. Niterói-RJ, 2014.
- BRASIL. Decreto nº 95.480, de 13 de dezembro de 1987. Dá nova redação para a Ordenança Geral para o Serviço da Armada. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.
- CLARKE, D.; Gedling, P.; Hine, G. (1982). The Application of Manoeuvring Criteria in Hull Design Using Linear Theory. (RINA 1983-03). **Royal Institution of Naval Architects**, RINA.
- COREIXAS, Claudio. Entrevista concedida a Jonas Ferreira dos Santos. Rio de Janeiro, 17 out. de 2023.
- FONSECA, Maurílio Magalhães. **Arte Naval**. 6. ed. Rio de Janeiro-RJ: Serviço de Documentação da Marinha, 2002.
- FOSSSEN, Thor I. **Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control**. 2. ed. [S. l.]: John Wiley & Sons Ltd., 2021.
- GALANTE, Alexandre. Marinha do Brasil compra três AHTS da Solstad Farstad. **Poder Naval**, 2017. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2017/09/05/marinha-do-brasil-compra-tres-ahts-da-solstad-farstad/>. Acesso em: 10 set. de 2023.
- LEITÃO, Carla. A entrevista como instrumento de pesquisa científica em Informática na Educação: planejamento, execução e análise. In: PIMENTEL, Mariano; SANTOS, Edméa. (Org.) **Metodologia de pesquisa científica em Informática na Educação: abordagem qualitativa**. Porto Alegre: SBC, 2021. (Série Metodologia de Pesquisa em Informática na Educação, v. 3) Disponível em: <https://metodologia.ceie-br.org/livro-3/>. Acesso em: 10 out. de 2023.
- MIGUENS, Altineu Pires. **Navegação: A Ciência e a Arte (DN3-I)**. Niterói-RJ: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2005.
- SANTOS, Edson Mesquita. **A manobrabilidade do Navio no século 21**. 1. ed. Rio de Janeiro: Conapra, 2021.
- SANTOS, Kennedy. Entrevista concedida a Jonas Ferreira dos Santos. Rio de Janeiro, 19 out. de 2023.
- SILVA, Misleine Neris de Souza. História das Navegações. **InfoEscola**, [s. d.]. Disponível em: <https://www.infoescola.com/historia/historia-das-navegacoes/>. Acesso em: 16 set. de 2023.
- STERSI, Vitor. Entrevista concedida a Jonas Ferreira dos Santos. Rio de Janeiro, 19 out. de 2023.

UMANA, Emediong Christopher *et. al.* Maneuverability of a vessel using bow thrusters. **Global Journal of Engineering and Technology Advances**. Akwa Ibom State, Nigéria, 11 ago. de 2022. Disponível em: <https://gjeta.com/content/maneuverability-vessel-using-bow-thrusters>. Acesso em: 19 set. de 2023.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1998.

ANEXO A

Capturas de tela realizadas na linguagem de programação *Python* referentes às mudanças implementadas pelo autor no *software Python Vehicle Simulator*:

```
def stepInput(self, t): #Inserir rotações em [RPM] de acordo com a seguinte ordem:
                        #[bow thruster, bow thruster, MCP 1, MCP 2]
    """
    u = stepInput(t) generates propeller step inputs (RPM).
    """
    n = np.array([0, 0, 60, 60], float)

    if t > 35:
        n = np.array([50, 0, 45, 45], float)
    if t > 95:
        n = np.array([0, 0, 75, 75])
    if t > 830:
        n = np.array([-50, 0, 45, 45], float)
    if t > 890:
        n = np.array([0, 0, 75, 75], float)

    u_control = n

    return u_control
```

```
import python_vehicle_simulator as pv
import python_vehicle_simulator.vehicles as pvs
from vehicles import supply_modificado
import python_vehicle_simulator.vehicles.supply_modificado as sup
#from supply_modificado import supply

def R2D(value): # radians to degrees
    return value * 180 / math.pi

#####
# Informacoes dos navios
#####

jonas_ship = supply_modificado.supply ('stepInput',4.0,4.0,90.0,0.0,20.0) #Opção pelo stepInput ao invés de DPcontrol
#A variável recebe a função gerada em 'supply_modificado'
#(controlSystem='DPcontrol',
    #r_x = 4.0,
    #r_y = 4.0,
    #r_n = 100.0,
    #V_current = 0.0,
    #beta_current = 20.0) # objeto 1

jonas_ship.L = 63.0 #Comprimento da nova embarcação
jonas_ship.T_n = 0.5
```



```
#####
# Informacoes da simulacao
#####

from python_vehicle_simulator.lib import *

sampleTime = 0.02          # sample time [seconds]
N = 45000                 # number of samples

[simTime, simData] = simulate(N, sampleTime, jonas_ship)

#plotVehicleStates(simTime, simData, 1)

# Time vector
t = simTime

# State vectors
x = simData[:, 0]
y = simData[:, 1]
#z = simData[:, 2]
#phi = R2D(ssa(simData[:, 3]))
#theta = R2D(ssa(simData[:, 4]))
from python_vehicle_simulator.lib.gnc import ssa
psi = R2D(ssa(simData[:, 5]))
#u = simData[:, 6]
#v = simData[:, 7]
#w = simData[:, 8]
#p = R2D(simData[:, 9])
#q = R2D(simData[:, 10])
#r = R2D(simData[:, 11])
```

```
fig, axs = plt.subplots(1,1, figsize=(18,18), sharex=True)

axs.plot(x, y, lw=1.2, label="Posição", color = "blue")
axs.set_xlabel('Eixo x [m]')
axs.set_ylabel('Eixo y [m]')
axs.grid(False)
axs.legend()
plt.yticks(np.arange(0, 300, 50))
plt.xticks(np.arange(0, 2250, 250))

fig, axs1 = plt.subplots(1,1, figsize=(18,18), sharex=True)

axs1.plot(t, psi, lw=1.2, label="Aproamento", color = "red")
axs1.set_xlabel('Tempo [s]')
axs1.set_ylabel('Ângulo de proa [graus]')
axs1.grid(False)
axs1.legend()
plt.yticks(np.arange(0, 8, 1))
plt.xticks(np.arange(0, 1000, 100))

plt.show()
plt.close()
```