

ÁGUAS RASAS E A INTERAÇÃO ENTRE EMBARCAÇÕES

SÉRGIO LUKINE¹

¹Fatec Jahu – Coordenadoria de Construção Naval
Sergio.lukine@fatec.sp.gov.br

Shallow Waters and the Interaction between Vessels

Eixo Tecnológico: *Produção Industrial*

Resumo

Quando um navio está em movimento as forças hidrodinâmicas são distribuídas de uma forma quase uniforme pela carena. Quando uma embarcação se aproxima de outra ocorre uma redistribuição dessas forças hidrodinâmicas podendo afetar a governabilidade das embarcações envolvidas. Consideraremos águas rasas no presente estudo quando o pé-de-piloto (distância entre a quilha e o fundo da embarcação) for igual ou inferior à metade de seu calado operacional. O objetivo geral do presente trabalho é desenvolver critérios para garantir uma navegação de segurança quando duas embarcações interagem em águas rasas. Um objetivo específico foi tratar as questões da governabilidade de embarcações em águas restritas- navegando em canais ou rios estreitos e rasos- na sala de aula. Um segundo objetivo específico foi a utilização do estaleiro escola, com seu tanque de provas, para testes práticos de manobras em águas restritas com modelos de embarcações em escala reduzida. Um terceiro objetivo específico foi a interação com os profissionais da Hidrovia Tietê-Paraná, gerentes de frota fluviais e comandantes, sobre as dificuldades de manobra em águas restritas. A metodologia empregada foi a de comparar os comportamentos (governabilidade) de embarcações em águas profundas e em águas rasas. Inicialmente analisou-se o comportamento da embarcação navegando sozinha e depois interagindo com outra embarcação. Um capítulo de livro foi escrito. Duas alunas realizaram estágio no projeto em 2024 e colaboraram na redação do capítulo do livro e na elaboração do formulário aplicado ao público externo. Duas coletâneas de exercícios foram elaboradas, uma teórica e outra prática. Oito resultados do projeto foram obtidos.

Palavras-chave: *Embarcação, Águas rasas, Interação entre barcos.*

Abstract

When a ship is in motion, the hydrodynamic forces are distributed almost evenly across the hull. When one vessel approaches another, there is a redistribution of these hydrodynamic forces, which can affect the governability of the vessels involved. We will consider shallow waters in the present study when the pilot's foot (distance between the keel and the bottom of the vessel) is equal to or less than half of its operational draft. The general objective of the present work is to develop criteria to ensure safe navigation when two vessels interact in shallow waters. A specific objective was to address the issues of the governability of vessels in restricted waters – navigating narrow and shallow channels or rivers – in the classroom. A second specific objective was the use of the school shipyard, with its test tank, for practical tests of maneuvers in restricted waters with models of vessels on a reduced scale. A third specific objective was the interaction with the professionals of the Tiete-Paraná Waterway, river fleet managers and captains, about the difficulties of maneuvering in restricted waters. The methodology used was to compare the behaviors (governability) of vessels in deep waters and in shallow waters. Initially, the behavior of the vessel sailing alone and then interacting with another vessel was analyzed. A chapter of a book was written. Two students did an internship in the project in 2024 and collaborated in the writing of the book chapter and in the preparation of the form applied to the external public. Two collections of exercises were elaborated, one theoretical and the other practical. Eight results of the project were obtained.

Key words: *Vessel, Shallow waters, Interaction between boats.*

1. Introdução

A temática das águas rasas como projeto RJJ possibilita introduzir no meio acadêmico assunto relevante operacional dos navios navegando em águas restritas. A condução de barcos em águas restritas é o trabalho da praticagem nos principais portos do mundo. As manobras de um navio auxiliado por rebocadores são muito afetadas quando operando em águas rasas. Mesmo na esfera das embarcações de esporte e recreio tem-se relatos da dificuldade de manobra quando a lâmina d'água fica restrita [1]. A perda de governabilidade da embarcação em águas restritas é uma figura de mérito na presente pesquisa. Uma primeira premissa, da lenta obediência ao leme e ao hélice, em águas rasas, do barco, já é um consenso na boa literatura naval. Quando uma embarcação navega em águas rasas seu comportamento dinâmico é muito diferente daquele em águas profundas [2]. Em águas profundas as ondas geradas pelo barco têm um comportamento muito próprio, o trem de ondas segue o navio em movimento, não muda sua forma, ficando confinado numa região à ré do barco, tomando a forma de um "V". Nessa região aparecem dois conjuntos de ondas, um que segue o navio-sistema divergente- e outro que faz um ângulo reto ao curso da embarcação-sistema transversal. Em águas rasas essas ondas têm mudanças sensíveis. Podemos ter três padrões de ondas geradas, dependendo da velocidade da embarcação e da profundidade local. Na situação de águas rasas observa-se ainda que a embarcação se torna mais lenta na manobra e pode apresentar vibração. Alguns de seus movimentos, como o cabeceio, a arfagem e o balanço são arrefecidos. Uma embarcação navegando com certa velocidade em águas rasas pode gerar um afundamento de sua parte posterior ou anterior em relação ao fundo do mar ou do rio-fenômeno conhecido como "squat" [3]. O risco de encalhe é grande, portanto, um bom conhecimento da carta náutica da região é fundamental, assim como um ecobatímetro aferido, pleno conhecimento das tábuas de maré da área e, sempre, navegar em baixas velocidades. Quando uma embarcação está em movimento são criadas forças distribuídas ao longo da carena (obras vivas) dessa embarcação. Essas forças, hidrodinâmicas, se distribuem de uma maneira aproximadamente uniforme. Quando outra embarcação se aproxima ou quando essa embarcação se aproxima de uma margem ou de um dos lados de um canal essas forças se alteram, apresentando nova distribuição na carena. O objetivo geral do presente trabalho foi desenvolver critérios para garantir uma navegação de segurança quando duas embarcações interagem em águas rasas. Um objetivo específico foi tratar as questões da governabilidade de embarcações em águas restritas- navegando em canais ou rios estreitos e rasos- na sala de aula (uma lista de exercícios com perguntas e respostas foi elaborada). Um segundo objetivo específico foi a utilização do estaleiro escola, com seu tanque de provas, para testes práticos de manobras em águas rasas e/ou restritas com modelos de embarcações em escala reduzida (já existentes e confeccionados por alunos) por ocasião dos estágios ali oferecidos (uma lista de exercícios com situações de manobras dos modelos reduzidos no tanque de provas, com respostas, foi elaborada). Um terceiro objetivo específico foi a interação com os profissionais da Hidrovia Tietê- Paraná, gerentes de frota fluviais e comandantes, sobre as dificuldades de manobra em águas rasas e/ou restritas.

2. Materiais e métodos

A presente pesquisa é aplicada, qualitativa, exploratória e descritiva. A metodologia empregada foi a de comparar os comportamentos (governabilidade) de embarcações em águas profundas e em águas rasas e/ou restritas a partir da revisão bibliográfica, primeiramente considerando a embarcação navegando sozinha (escoteira) e depois interagindo com outras embarcações. Ainda com base em revisão bibliográfica, a abordagem contém: interação entre embarcações navegando roda a roda (bico de proa com bico de proa);

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJI

interação entre embarcações a velocidades constantes e rumos paralelos; interação entre embarcações alcançada e alcançadora; e interação entre duas embarcações que se cruzam em um canal. As NORMAM'S- Normas da Autoridade Marítima são publicadas pela DPC- Diretoria de Portos e Costas e norteiam toda atividade naval nas águas jurisdicionais brasileiras. No presente projeto foi aplicada uma dessas normas [4] que regulamenta a folga dinâmica abaixo da quilha para as embarcações em portos nacionais. A folga abaixo da quilha é a distância entre o ponto mais baixo da quilha (peça estrutural, reforçada, que vai da proa à popa e se encontra na parte inferior do barco) e o fundo marinho. Representa a margem de segurança para evitar o encalhe ou a colisão com o relevo submarino ou com objetos submersos.

Na sala de aula, a governabilidade das embarcações em águas rasas e/ou restritas foi abordada na disciplina "Tecnologia Naval" por meio da elaboração e resolução de exercícios pelos alunos a partir de casos reais vinculados ao tema do projeto. Aqui, o documento que norteará essa atividade será o da referência [5] que contém procedimentos para uma navegação de segurança. As regras de governo e de navegação foram exploradas em sala de aula e visualizadas no tanque de provas.

Concomitantemente, nos estágios internos realizados no estaleiro escola, ocorreu a elaboração de relatórios, pelos estagiários, sobre manobras em águas rasas e/ou restritas com modelos de embarcações em escala reduzida. Os exercícios no tanque de provas constam de navegação com os modelos reduzidos primeiramente navegando sozinhos (escoteiros) depois interagindo entre si nas seguintes situações: roda a roda (bico de proa com bico de proa); duas embarcações com velocidade constante e rumos paralelos; embarcação alcançada e alcançadora; e, duas embarcações que se cruzam em um canal. Como citado acima, com aplicação das regras do RIPEAM.

Junto aos gerentes de frotas fluviais e comandantes foi aplicado um questionário sobre as dificuldades de navegação em águas rasa/restritas. Um formulário com quatro perguntas sobre a navegação em águas rasa e/ou restritas foi direcionado para 24 colaboradores externos da Instituição e suas respostas corroboram as dificuldades de navegação nessas águas

Manter a segurança da navegação e a salvaguarda da vida humana no mar (ou nos rios e lagos) são os objetivos de uma correta manobra com a embarcação, estando a embarcação escoteira (sozinha) ou interagindo com outras embarcações.

3. Resultados e Discussão

A operação de uma embarcação em águas rasas e restritas leva a uma dificuldade de governabilidade que não existe em mar aberto ou em águas profundas e irrestritas [6]. As linhas de fluxo que contornam os bordos e o fundo da embarcação criam um momento que, se a embarcação se encontra em um canal estreito, tende a direcionar a proa em sentido oposto ao lado do canal que se encontra mais próximo e propiciar uma aproximação perigosa com a margem do canal mais próxima, e se estiver interagindo com outra embarcação, a ocasionar uma aproximação que pode resultar em abalroamento (colisão) das duas embarcações. A recomendação é navegar em velocidade reduzida. Quando em navegação em águas restritas, aproximação de fundeadouros e navegação em formatura (com outras embarcações) devemos conhecer bem os dados táticos de nosso navio (elementos da curva de giro, como avanço e diâmetro tático, e informações das máquinas, como tabelas de rotação x velocidade, e tabelas de aceleração e desaceleração) [7]. Na situação de águas rasas observa-se ainda que a embarcação se torna mais lenta na manobra e pode apresentar vibração. Alguns de seus movimentos, como o cabeceio, a arfagem e o balanço são arrefecidos. Uma embarcação navegando com certa velocidade em águas rasas pode gerar um afundamento de sua parte posterior ou anterior em relação ao fundo do mar ou do rio-fenômeno conhecido

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

como "squat". O risco de encalhe é grande, portanto, um bom conhecimento da carta náutica da região é fundamental, assim como um ecobatímetro aferido, pleno conhecimento das tábuas de maré da área e, sempre, navegar em baixas velocidades. Nas atividades desenvolvidas no projeto foram analisadas 6 situações: primeira situação- **embarcação navegando sozinha (escoteira) em águas profundas**- A embarcação navegando em águas profundas, e se deslocando com velocidade constante, gera ondas limitadas em uma área com a forma de um "V" que seguem a embarcação em movimento. Nessa área pode se identificar dois conjuntos de ondas geradas pela embarcação-divergentes e transversais. A manobra do navio é mais confiável e não sofre interferência do meio que o circunda. O conceito de águas profundas no presente trabalho se entende quando a folga entre a quilha (peça disposta em grande extensão do comprimento do casco no plano diametral e na parte mais baixa da embarcação) e o fundo do mar, ou do rio, for superior à metade do calado (distância vertical entre a superfície da água e a parte mais baixa da embarcação) de operação da embarcação. Por exemplo, se temos uma embarcação com 4 metros de calado essa embarcação navegaria em águas profundas a partir de uma lâmina de água de 6 metros. A distância entre o ponto mais baixo da quilha e o fundo marinho representa a margem de segurança para evitar o encalhe ou a colisão com o relevo submarino ou com objetos submersos, conhecida como FAQ-Folga Abaixo da Quilha-bruta. Quando consideramos o tipo de fundo existente teremos a FAQ líquida. Segunda situação- **embarcação navegando sozinha (escoteira) em águas rasas**- O efeito das águas rasas na manobra das embarcações é aumentar a resistência ao avanço. A embarcação navegando em águas rasas e/ou restritas perde respostas do leme e do hélice em suas manobras. Como já citado anteriormente, cabe lembrar a diferença entre o termo "águas rasas"- que se caracteriza por uma navegação com restrição de profundidade e "águas restritas"- que se caracteriza por uma navegação também em águas rasas, porém com restrições laterais (canal estreito). O espaço reduzido em torno das obras vivas (parte do casco que se encontra abaixo da linha d'água, também denominada carena) induz os filetes de água a terem uma maior velocidade gerando pontos de pressão mais baixas (Princípio de Bernoulli) e a embarcação passa a apresentar uma dificuldade na manobra podendo, inclusive, a vir a colidir com o fundo ou com as laterais do canal de navegação. A pouca água abaixo da quilha acaba por restringir um volume adequado de líquido para o bom funcionamento do hélice decorrendo uma perda de velocidade da embarcação [8]. A análise do comportamento de uma embarcação em águas rasas é facilitada pela verificação do coeficiente velocidade-comprimento. Esse coeficiente é igual à velocidade (em nós) dividida pela raiz quadrada da embarcação (em pés). Para embarcações com esse coeficiente que não exceda 0,9 foi constatado que a profundidade mínima para não haver um aumento na resistência à propulsão é igual a dez vezes o calado (em pés) multiplicado pelo coeficiente velocidade-comprimento. Uma embarcação em movimento tem um calado maior que quando parada em águas tranquilas. Navegando em águas rasas esse trim se torna maior. É o efeito "squat" que acontece devido às mudanças da pressão hidrostática sobre o casco (obras vivas) da embarcação em movimento. Uma embarcação que estiver navegando ao longo de um canal estreito ou em uma via de acesso a um porto ou atracadouro deverá se manter tão próxima quanto possível e seguro do limite exterior desse canal ou via de acesso à BE (boreste). Uma distância considerada segura é de metade da boca (largura) da embarcação. Quando muito próxima da margem temos que as ondas que se formam na bochecha (ou amura) encontram resistência na margem mais próxima, repelindo a proa para o bordo oposto. Ao mesmo tempo o efeito da corrente de sucção dos hélices ocasiona um abaixamento do nível da água junto à margem mais próxima, atraindo a popa para esta margem. O resultado é que a embarcação tende a guinar para o lado da margem mais afastada. Terceira situação- **embarcação navegando na condição de roda a roda com outra embarcação**- Essa situação se concretiza quando as embarcações se avistam, uma a proa da outra, ou em

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

marcações relativas próximas de 000°, de modo que à noite, uma avistará as luzes de mastro da outra alinhadas (enfiadas) ou quase alinhadas e avistará as luzes de bordo (verde e encarnada). As duas embarcações que se encontram nessa situação devem guinar para boreste (BE), passando por bombordo (BB) uma da outra. Essa regra se aplica a duas embarcações à propulsão mecânica que estiverem se aproximando em rumos diretamente opostos ou quase diretamente opostos e em condições que envolvam risco de colisão. No instante que as duas embarcações guinam para boreste, em razão da velocidade de aproximação ser máxima, o tempo de interação entre elas será mínimo, não provocando alterações significativas na distribuição das pressões hidrostáticas nos dois cascos envolvidos. Acresce-se o fato que as pressões positivas das amuras (bochechas) agem no sentido de afastar uma proa da outra. Quarta situação-**embarcações com velocidades constantes e rumos paralelos**- Devido à velocidade dos filetes de água entre as duas embarcações aumentarem teremos uma queda de pressão, segundo o Princípio de Bernoulli, fazendo com que os centros de gravidade das duas embarcações se aproximem. Outro fato observado dessa interação é que as proas tendem a se afastar. É recomendada uma distância segura- de valor igual à boca da maior embarcação envolvida- nessa navegação. Uma distância menor que essa entre os dois barcos e poderemos ter uma colisão (abalroamento). Quinta situação- **embarcação alcançada e alcançadora (ultrapassagem)**- É considerada uma embarcação alcançadora toda embarcação que se aproximar de outra, vinda de uma direção de mais de 22,5° para ré do través dessa última, isto é, que se acha numa posição tal em relação à embarcação alcançada que, durante a noite, só poderá ver a luz de alcançado (ou de popa) dessa outra, sem avistar nenhuma de suas luzes de bordo. Qualquer alteração que venha a ocorrer na marcação relativa da embarcação alcançada não mudará a condição da embarcação alcançadora, obrigando-a a se manter fora do caminho da embarcação alcançada, até que a ultrapassagem seja totalmente realizada e ambas as embarcações estejam seguras. No início da aproximação a proa da embarcação alcançadora tende a cair para cima da alheta da embarcação alcançada por encontrar menor resistência ao avanço. Quando estiverem pelo través uma da outra a velocidade relativa das duas embarcações vai determinar se os navios se aproximam de uma forma comprometedora, podendo chegar ao choque ou não. Quanto maior for essa velocidade relativa menor o risco de abalroamento pois o tempo de interação entre os barcos diminui. Uma ultrapassagem com uma distância segura entre as duas embarcações é o recomendado (distância de uma boca- considerando a boca maior entre as duas embarcações). Sexta situação- **embarcações que se cruzam em um canal**- Ao se cruzar com outra embarcação em um canal deve-se tomar alguns cuidados, como reduzir a rotação das máquinas já na distância de 30 x comprimento total do navio do ponto de cruzamento e evitar uma aproximação no momento do cruzamento de uma distância inferior à boca do maior barco [9]. Duas embarcações em rumos paralelos e diretamente opostos que se cruzam a uma distância pequena podem gerar interferências recíprocas em razão do movimento das águas. É de todo interessante e recomendado que ambas mantenham velocidade reduzida. Inicialmente as proas se repelem em razão das ondas de proa, que, no caso de águas rasas, existe maior formação de ondas de proa do que em águas profundas. Quando já pelo través um barco do outro as forças hidrodinâmicas se equilibram e não há risco de colisão (abalroamento) se estivermos a uma distância segura e quando as alhetas estão na mesma altura, os filetes de água da popa de cada uma das embarcações e a corrente de sucção dos hélices tendem a atrair as duas popas. Uma atenção especial ao leme dos barcos deve ser dada para não se agravar essa tendência de aproximação.

Foram desenvolvidas propostas de melhorias à NPCF-Normas e Procedimentos da Capitania Fluvial do Tietê-Paraná, propondo um novo anexo, com o título “Navegação em águas rasas”.

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

Foi publicado capítulo de livro sendo autores 4 alunos dos cursos navais da Fatec-Jahu, uma tecnóloga naval, e três professores dos cursos navais de nossa Instituição.

4. Considerações finais

Foram desenvolvidos critérios para garantir uma navegação segura em águas rasas e/ou restritas estando a embarcação navegando escoteira (sozinha) ou interagindo com outras embarcações. Os objetivos propostos na introdução foram atingidos. Do ponto de vista da regulamentação nacional, o tema pode ser considerado atual, pois a primeira norma brasileira que trata sobre o assunto foi emitida em 10 de setembro de 2019, através da Portaria No 430/DPC/2019 que aprovava as Normas da Autoridade Marítima para Implantação e Operação de Sistemas para determinação de Folga Dinâmica Abaixo da Quilha - NORMAM-33/DPC -, cuja identificação foi alterada no ano de 2023 para NORMAM-224/DPC. Os discentes participaram do projeto, através de trabalhos práticos aplicados nas disciplinas de responsabilidade do docente (familiarização com a NORMAM-224/DPC e o Regulamento Internacional para Evitar Abalroamento no Mar, e simulações com modelo reduzido no Tanque de Provas da Faculdade de Tecnologia de Jahu - Fatec -Jahu) e estágios internos oferecidos. A consulta realizada com os especialistas (Comandantes de embarcações e gerentes de frota), além de contribuir para as análises e as conclusões do trabalho, possibilitou uma maior visibilidade da Fatec -Jahu no mercado, demonstrando que a Instituição desenvolve pesquisas relevantes na área naval.

Referências

- [1] BARROS, GERALDO LUIZ MIRANDA DE. **Navegar é fácil**. ISBN 85-86200-04-2. Editora Catau Ltda. Rio de Janeiro, 2001.
- [2] FONSECA, MAURILIO MAGALHÃES. **Arte Naval**. ISBN 978-85-7047-119-2. Serviço de Documentação da Marinha. Rio de Janeiro, 2019.
- [3] MAIA, ELISANA DE OLIVEIRA. **Manobrabilidade do Navio**. Monografia. Escola de Formação da Marinha Mercante. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha -CIAGA. Rio de Janeiro, 2013.
- [4] MARINHA DO BRASIL. DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS. **NORMAM-224- Normas da Autoridade Marítima para folga dinâmica abaixo da quilha**. Rio de Janeiro, 2023.
- [5] MARINHA DO BRASIL. DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS. **RIPEAM- Regulamento Internacional para evitar abalroamento no mar**. Rio de Janeiro, 2023.
- [6] MANNING, GEORGE C. **Fundamentos de Teoria de Arquitetura Naval- DINÂMICA- VOLUME II**. Imprensa Naval. Rio de Janeiro, 1962.
- [7] MIGUENS, ALTINEU PIRES. **Navegação: A ciência e a arte**. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Rio de Janeiro, 2019. 1ª Revisão atualizada.
- [8] MINISTÉRIO DA MARINHA. DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS. ENSINO PROFISSIONAL MARÍTIMO. **Interação-Águas rasas**. Rio de Janeiro, 1993.
- [9] HORA, MARIANA MIRANDA DA. **Navegação em águas rasas e efeito squat**. Monografia. Escola de Formação da Marinha Mercante. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha -CIAGA. Rio de Janeiro, 2015.