

# **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE NAVIOS ATRACADOS QUANDO SUBMETIDOS À FORÇA DO VENTO**

**Ramiro Fernandes Ramos**

**Orientador: Jean David Job Emmanuel Marie Caprace**

**Curso de Graduação em Engenharia Naval e Oceânica**

**Escola Politécnica/Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)**

**Resumo do Projeto de Graduação para obtenção do diploma em Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro**

## **Resumo**

A amarração é uma operação realizada por todos os navios quando atracados em portos. Com o crescimento das dimensões principais dos navios e o crescimento da área vélica dos mesmos, as forças exteriores que são suportadas pela amarração também cresceram. Para garantir que um navio suporte um determinado vento, os responsáveis pela amarração, em muitos casos, utilizam mais amarras que necessário. Esta atitude gera uma maior utilização de recursos e tempo. É possível, através de métodos que integrem o problema mecânico da amarração, calcular qual a velocidade máxima de vento uma determinada configuração de amarração pode suportar. O presente trabalho demonstra um método para o cálculo desta velocidade. Após a apresentação deste método, três análises são feitas, utilizando-se de um navio e um cais teóricos. Estas análises, feitas através de cálculos com o método, observam qual a influência de determinadas variáveis do método na velocidade máxima de vento suportada pelo navio. Os resultados mostram que é possível aumentar a resistência ao vento em até 44% com as modificações propostas. Conclui-se então que existem outras maneiras de aumentar a resistência ao vento sem ter que adicionar amarras extras ao navio.

## **1 - Introdução**

O transporte marítimo é uma atividade que regula muitas outras atividades no seu entorno. A construção naval é uma delas. Se existe uma demanda crescente do transporte isto implicará em uma demanda também crescente da construção de novos navios. E o projeto do navio também se altera de acordo com a demanda.

Essa demanda para o aumento do transporte se traduz em muitos casos no aumento das dimensões principais do navio para permitir que um mesmo navio transporte mais mercadoria ou passageiros. Quando o comprimento de um navio aumenta, a superfície que estará exposta ao vento será maior e isso ocasionará que a força do vento que deve ser considerada no seu projeto aumente.

Quando se fala das forças atuantes em um navio atracado, a força do vento é uma das mais importantes. Outra força que pode ser muito relevante é a força da corrente e da maré. Em todo caso, a somas dos esforços sobre o navio fazem com que ele esteja submetido a um deslocamento e uma rotação. Visto que o navio está atracado, uma operação de embarque ou desembarque pode estar ocorrendo e esses movimentos podem

vir a atrapalhar as operações que estão em curso. Por este motivo, as amarras fazem uma ligação entre o navio e o cais para que a embarcação possa resistir aos esforços externos e ter o mínimo de movimento possível. Neste intuito é possível entender que quanto mais amarras estiverem fazendo a conexão entre o navio e o cais, menor o movimento do navio.

Por outro lado, cada amarra que se adiciona a um navio, aumenta o custo de construção deste navio. Pois, além da própria amarra, o armador terá que arcar com os custos dos equipamentos relacionados a amarração, como por exemplo o tambor, que são necessários para se passar mais uma amarra. Outro ponto negativo em se adicionar amarras é que isso pode aumentar o tempo da operação de atracação do navio. De qualquer forma, entende-se que o aumento de amarras gera um custo maior ao armador do navio.

Para isto é importante que o estaleiro que será responsável pela construção do navio saiba definir uma configuração ótima, que se constitui do número de amarras e da posição delas no navio. E, desta forma, minimizar os custos de capital e os custos variáveis do navio para o armador, se mantendo competitivo no mercado. Além de minimizar os custos, o estaleiro precisa garantir que o navio será capaz de resistir aos esforços externos em dadas situações de atracação com a configuração definida.

## **2 - Equipamentos de Amarração**

A amarração é uma operação realizada com o navio parado em um cais. O propósito principal dessa operação é garantir que o navio não se afaste do cais ou que ele rotacione sobre o mesmo quando forças externas forem aplicadas na embarcação.

Existem alguns elementos envolvidos nesta operação. Os que fazem parte do navio são normalmente chamados de equipamentos de amarração. Os principais entre eles estão listados abaixo.

**Amarra ou cabo:** Linha que liga o navio ao cais. Elas são fabricadas em diferentes tipos de materiais. Em geral, materiais compósitos, como o nylon, o polipropileno e o Dyneema. Um material que era amplamente usado antigamente, mas vem caindo em desuso dado a dificuldade na operação gerada pelo seu peso, é o aço. Normalmente, o termo cabo é usado somente se o material for aço.

**Guincho:** Aparelho onde a amarra fica enrolada e estocada. Ele é considerado como o ponto de partida da amarra para fins de cálculo. Ele também serve para recolher a amarra ou fornecer uma tensão para a mesma.

**Cabeço Duplo:** Estrutura fixa e resistente onde a amarra pode ser fixada. Normalmente ele é utilizado quando se precisa realizar uma amarração reforçada ou para se realizar uma operação de reboque. Para efeitos de cálculo, ele é considerado como um guincho, que não pode gerar tensão inicial.

**Rolete:** Aparelho onde a amarra irá passar caso seja necessária uma mudança na sua trajetória. Em geral, são colocados para garantir que um mesmo guincho possa enviar uma amarra para diferentes buzinas.

**Buzina:** Aparelho onde a amarra passa antes de sair do navio. Se parece com um buraco no casco do navio. Existem dois tipos de buzina diferentes. A buzina de rolos e a

buzina Panamá (ou de reboque). A diferença entre elas é a tensão de cisalhamento gerada entre a buzina e a amarra, considerada pequena, ou desprezível, para a buzina de rolos.

Existem dois outros elementos que são usados durante a amarração, mas que pertencem ao cais. Eles estão listados abaixo.

**Cabeço (de cais):** São os elementos onde as amarras são fixadas. Para fins de cálculos, eles são o último ponto das amarras.

**Defensas:** Grandes elementos que impedem o navio de se chocar diretamente com o cais. Durante o período que o navio está atracado, ele tende a estar pressionado contra as defensas.

A experiência dos operadores de porto e da parte da tripulação do navio responsável pela amarração mostra que existe uma configuração de amarração típica. Nessa configuração, existem 3 tipos diferentes de amarras, separadas por suas funções e posições: as Través (amarras transversais), as Lançantes (amarras longitudinais de ponta) e as Espringues (amarras longitudinais interiores). Podendo elas serem divididas entre proa e popa. A Figura 1 juntamente com a Tabela 1 ilustram como são esses tipos de amarras.

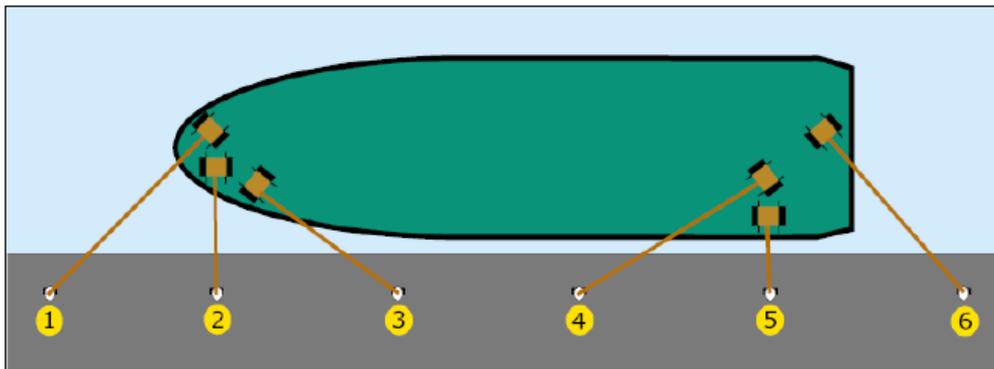


Figura 1 – Demonstração das funções dos diferentes tipos de amarras

Tabela 1 - Definição dos tipos de amarra correspondentes a Figura 1

Número	Nome	Função
1	Lançante de proa	Impede o navio de recuar
2	Través de proa	Impede o deslocamento transversal
3	Espringue de proa	Impede o navio de avançar
4	Espringue de popa	Impede o navio de avançar
5	Través de popa	Impede o deslocamento transversal
6	Lançante de popa	Impede o navio de recuar

### 3 - Problema Mecânico da Amarração

#### 3.1 Força do Vento

Na operação de amarração, são as forças externas que causam os movimentos do navio e consecutivamente geram a força de reação nas amarras e as deformam. A principal força externa estudada neste projeto é a força gerada pela ação do vento. Especialmente se o navio considerado tem uma área vélica de grande importância.

Outra força relevante para os navios amarrados são as forças das correntes e das ondas. Ainda, existem forças geradas pela passagem de outros navios próximos que atuam sobre o navio amarrado. Dado o tipo de navio que está sendo estudado neste projeto, um modelo de forças estáticas é proposto e a força do vento será a única força externa atuante.

Sabendo que um navio amarrado está sujeito ao vento e que a velocidade do vento é conhecida e igual a  $V$ , é possível calcular a força do vento atuante no navio. A Equação 1 mostra essa relação entre a força resultante e a velocidade do fluido.

$$F_D = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_D * A \quad (1)$$

Nesta equação,  $F_D$  é a força de arrasto (drag force em inglês) resultante de um escoamento de um fluido com densidade igual a  $\rho$  em uma velocidade  $V$ . Como o fluido estudado é o ar, a densidade usada é igual a  $1,223 \text{ kg/m}^3$ .

A variável chamada  $A$  é igual a área exposta ao fluido. O último elemento é o coeficiente de arrasto  $C_D$  entre o fluido e a superfície estudada. Ele depende da forma da superfície e é diferente para cada navio.

Existem diferentes maneiras de se determinar o coeficiente  $C_D$ . Isso é tema de estudo de diversos trabalhos, como *Ueno et al*, *Chen et al* e *Haddara et al*. Dentre esses diferentes métodos, alguns se destacam por serem mais precisos que os outros.

Independentemente do método usado para se encontrar o coeficiente de arrasto aerodinâmico, um  $C_x$ , um  $C_y$  e um  $C_n$  (coeficiente relacionado ao momento) serão obtidos e serão usados para calcular a força resultante na direção principais (X e Y) e para calcular o momento aplicado ao navio (momento em torno do eixo Z), ver Figura 2. As Equações 2, 3 e 4 demonstram como é possível calcular essas duas forças e o momento a partir da Equação 1.

$$F_x = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_x * S_{transv} \quad (2)$$

$$F_y = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_y * S_{longi} \quad (3)$$

$$M_z = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_n * S_{longi} * LOA \quad (4)$$

$S_{longi}$  e  $S_{transv}$  são as projeções da área vélica do navio no plano longitudinal e transversal respectivamente. A Figura 2 demonstra a orientação desses eixos.

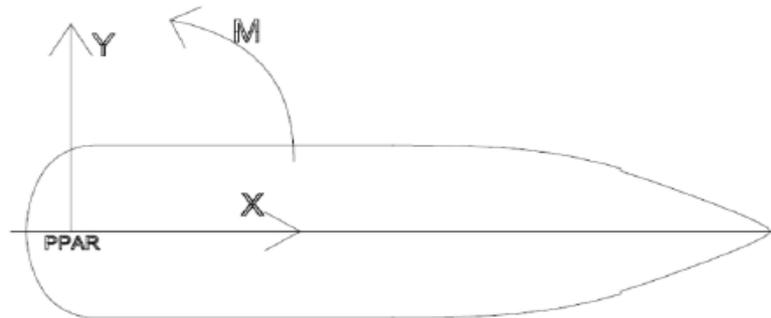


Figura 2 - Convenção dos eixos e sinais. PPAR mostra a perpendicular de ré do navio.

Após ser submetido as forças do vento, o navio vai reagir de forma a procurar uma posição de equilíbrio.

### 3.2 Reação do Navio

Assumindo que o navio é um corpo rígido, ele não irá deformar quando submetido as forças externas. A única reação oferecida por ele, é o seu deslocamento (que pode ser dividido na direção X e Y) e a sua rotação. A Figura 3 mostra a posição inicial do navio e a Figura 4 mostra a posição final.

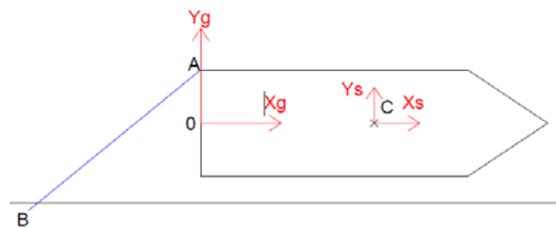


Figura 3 - Posição inicial do navio

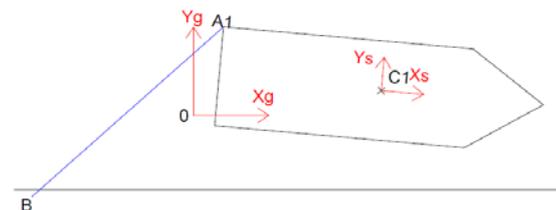


Figura 4 - Posição final do navio

Para realizar os cálculos, existem dois eixos de referência distintos. O ponto C mostra o centro do eixo de referência do navio e o ponto 0 mostra o centro do eixo de referência global. Os pontos B e A representam a trajetória da amarra, onde o ponto B é um cabeço e o ponto A é uma buzina. Os pontos A1 e C1 mostram as novas posições dos pontos A e C após o movimento do navio.

A determinação do novo ponto C1 e A1 é dada através de cálculos geométricos, assumindo um deslocamento conhecido ( $U_x$  e  $U_y$ ) e uma rotação conhecida ( $\theta$ ). Para isso,

as coordenadas de cada ponto são divididas nos eixos X e Y. As Equações 5 e 6 mostram como encontrar as coordenadas do ponto C1.

$$C_{1x} = C_x + U_x \quad (5)$$

$$C_{1y} = C_y + U_y \quad (6)$$

As coordenadas do ponto A1 são consideradas iguais as coordenadas do vetor  $\overrightarrow{0A_1}$ . Dessa forma, é possível encontrar essas coordenadas seguindo a Equação 7.

$$\overrightarrow{0A_1} = \overrightarrow{0A} + \overrightarrow{AA_1} = \overrightarrow{0A} + \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CA_1} = \overrightarrow{0A} + \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CC_1} + \overrightarrow{C_1A_1} \quad (7)$$

O vetor  $\overrightarrow{CC_1}$  é igual ao deslocamento do navio, como mostra a Equação 8. Os vetores  $\overrightarrow{0A}$  e  $\overrightarrow{AC}$  podem também ser descritos por suas coordenadas como mostram as Equações 9 e 10.

$$\overrightarrow{CC_1} = \overrightarrow{CC_1}x + \overrightarrow{CC_1}y = (U_x, U_y) \quad (8)$$

$$\overrightarrow{0A} = \overrightarrow{0A}x + \overrightarrow{0A}y = (A_x, A_y) \quad (9)$$

$$\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AC}x + \overrightarrow{AC}y = (A_x - C_x, A_y - C_y) \quad (10)$$

Para determinar as coordenadas do ponto A1, é também necessário conhecer o vetor  $\overrightarrow{C_1A_1}$ . Com este intuito, a rotação do navio é usada nas Equações 11, 12 e 13.

$$\overrightarrow{C_1A_1} = \overrightarrow{C_1A_1}x + \overrightarrow{C_1A_1}y \quad (11)$$

$$\overrightarrow{C_1A_1}x = (A_x - C_x) * \cos\theta - (A_y - C_y) * \sin\theta \quad (12)$$

$$\overrightarrow{C_1A_1}y = (A_x - C_x) * \sin\theta + (A_y - C_y) * \cos\theta \quad (13)$$

Finalmente, aplicando os resultados das últimas três equações na Equação 7, as coordenadas do ponto A1 são encontradas, conforme demonstram as Equações 14, 15 e 16.

$$\overrightarrow{0A_1} = \overrightarrow{0A_1}x + \overrightarrow{0A_1}y \quad (14)$$

$$\overrightarrow{0A_1}x = 2A_x - C_x + U_x + (A_x - C_x) * \cos\theta - (A_y - C_y) * \sin\theta \quad (15)$$

$$\overrightarrow{0A_1}y = C_y + U_y + (A_x - C_x) * \sin\theta + (A_y - C_y) * \cos\theta \quad (16)$$

Da mesma forma que o deslocamento do ponto A foi determinado, é possível também determinar o deslocamento de todos os outros equipamentos de amarração presentes no navio conhecendo apenas sua posição inicial relativa ao centro do eixo do navio.

### 3.3 Reação das Amarras

Com as forças externas agindo sobre o navio ele irá se movimentar. Com esse movimento, os guinchos, cabeços e todos os elementos de amarração irão se movimentar com o navio. Na consideração do cálculo apresentado neste trabalho, uma amarra necessariamente passa por um guincho (ou por um cabeço duplo), por uma buzina e termina em um cabeço de cais. A passagem da amarra por um rolete é opcional. Contudo, na explicação abaixo sobre a deformação da amarra, é considerado o caminho onde a amarra também passa por um rolete. Dessa forma, a situação mais complexa é abordada e, a partir dela, pode-se entender a resolução quando a amarra não passa por um rolete.

Uma amarra no seu estado inicial irá passar por um máximo de quatro pontos como mostra a Figura 5.

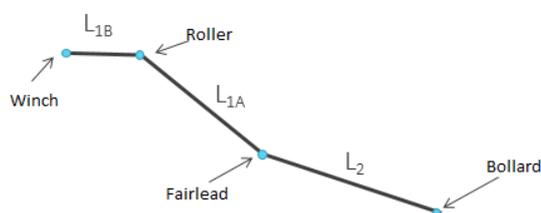


Figura 5 - Amarra na posição inicial

A partir desses três comprimentos mostrados na Figura 5, é possível calcular o comprimento total ( $L$ ) de uma amarra que sai do guincho até o cabeço do cais, como mostra a Equação 17.

$$L = L_{1B} + L_{1A} + L_2 \quad (17)$$

Após o movimento do navio, os comprimentos  $L_{1A}$  e  $L_{1B}$  permanecerão os mesmos, dado que os equipamentos de amarração a bordo conservam a mesma distância relativa entre eles. Por outro lado, o comprimento entre a buzina e o cabeço de cais irá mudar e o novo comprimento entre eles será  $L'_2$ . Para melhor entender, a Figura 6 mostra a amarra após a deformação.

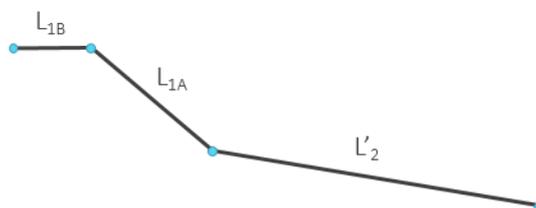


Figura 6 - Amarra após deformação

E então, o novo comprimento total da amarra, chamado de  $L'$ , será calculado conforme mostra a Equação 18.

$$L' = L_{1B} + L_{1A} + L'_2 \quad (18)$$

Colocando em análise a diferença entre os comprimentos totais no estado inicial e após o deslocamento do navio, é possível notar que esta diferença depende apenas da distância entre a buzina e o cabeço do cais nas duas situações. Chamando esta diferença de  $\Delta L$ , observa-se a relação da equação 19.

$$\Delta L = L' - L = L'_2 - L_2 \quad (19)$$

O resultado será usado na Equação 20, que mostra como calcular a deformação final de uma amarra.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (20)$$

Com a deformação da amarra definida, seu valor é aplicado na curva de deformação do material em questão, que mostra uma relação entre força e deformação. Um exemplo dessa curva pode ser visto na Figura 7. Essa curva é obtida com os fornecedores de amarras e é em geral um resultado de testes de tração.

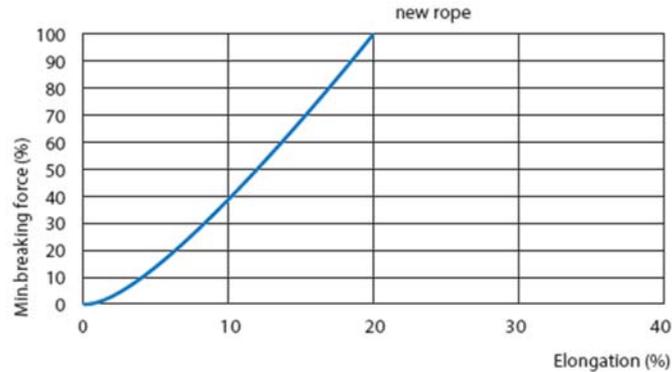


Figura 7 - Exemplo de uma curva de relação entre força e deformação

Usando essa curva, o valor da força aplicado na amarra é encontrado. A direção da força é dada pela direção do eixo da amarra. Essa direção é encontrada usando as coordenadas geométricas (nos eixos X, Y e Z) da buzina e do cabeço de cais. Logo, o vetor  $\vec{F}a$  é calculado e pode ser decomposto em três direções, como mostra a Equação 21.

$$\vec{F}a = \vec{F}a_x + \vec{F}a_y + \vec{F}a_z \quad (21)$$

A força da amarra também gera um momento no navio, em torno do eixo Z. Para encontrar a intensidade do momento, as forças decompostas são multiplicadas pelas distâncias (também decomposta nos eixos principais X e Y) em relação a um ponto qualquer (geralmente, o centro do eixo do navio é escolhido, mas pode ser qualquer outro ponto arbitrário). Esse momento é chamado de  $M_a$ .

A força e momento encontrados representam o valor apenas para uma das amarras do navio. Realizando a soma para todas as amarras, a força e o momento que as amarras aplicam sobre o navio é encontrado.

### 3.4 Equilíbrio de Forças

Se os dados geométricos do navio são fornecidos como entrada e as propriedades das amarras são conhecidas, o problema é simplificado em apenas uma relação entre as forças e os momentos com o deslocamento do navio e a sua rotação, definida em três equações. Então, respeitando a lei de Newton para se garantir o equilíbrio do navio após ter sido submetido à força do vento, tem-se as Equações 22, 23 e 24.

$$\overrightarrow{Fw_x} + \sum_i \overrightarrow{Fa_{xi}} = 0 \quad (22)$$

$$\overrightarrow{Fw_y} + \sum_i \overrightarrow{Fa_{yi}} = 0 \quad (23)$$

$$\overrightarrow{Mw} + \sum_i \overrightarrow{Ma_i} = 0 \quad (24)$$

Nessas equações,  $\overrightarrow{Fw_x}$ ,  $\overrightarrow{Fw_y}$  and  $\overrightarrow{Mw}$  são as forças e o momento do vento, respectivamente. A letra i representa cada amarra.

Através das deduções feitas no capítulo anterior, é sabido que as forças e o momento das amarras podem ser calculados se o movimento do navio é conhecido. Então, um método para solucionar o problema é assumir deslocamentos e rotação para achar as posições de equilíbrio da embarcação.

A Figura 8 contém um fluxograma que mostra como encontrar as forças externas sendo aplicadas sobre o navio assumindo seu deslocamento e rotação.

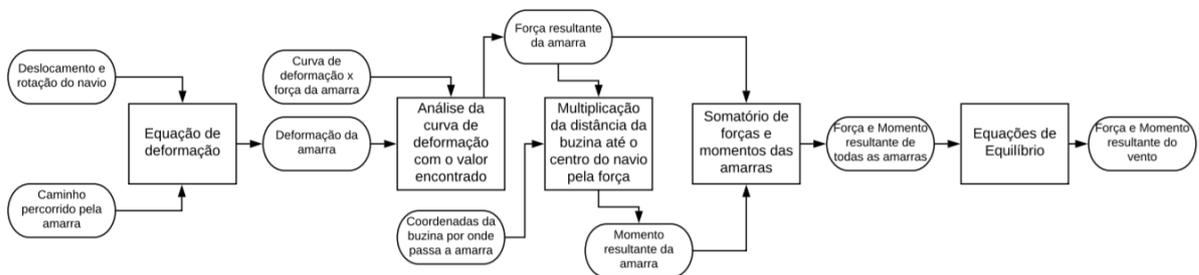


Figura 8 - Fluxograma da solução do problema mecânico

Complementando o fluxograma anterior, a Figura 9 contém um outro fluxograma que mostra como transformar a forças e momentos calculados em velocidade de vento.

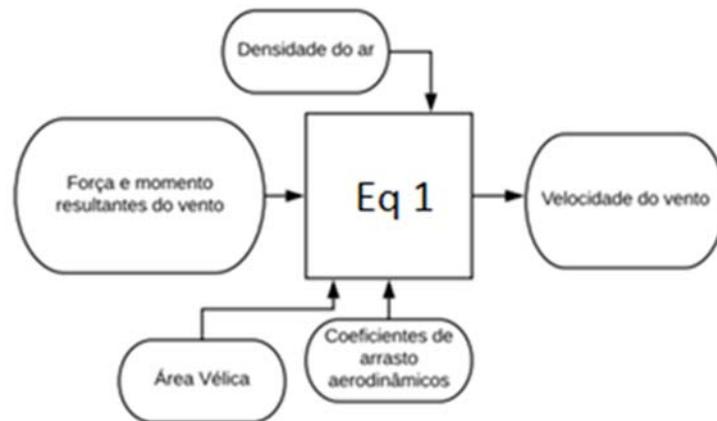


Figura 9 - Fluxograma para encontrar a velocidade do vento

#### 4 - Método de Cálculo

Para determinar a velocidade de vento máxima que um navio pode suportar assumindo uma certa configuração de amarração, uma única suposição de deslocamento e rotação não é suficiente. É necessário fazer várias suposições para encontrar uma com uma velocidade de vento máxima e sem nenhuma amarra rompida

É também necessário encontrar, além da velocidade do vento, a direção na qual o vento estará atuando na superfície do navio. Para cada direção do vento existem diferentes coeficientes aerodinâmicos, o que implica em uma resistência ao vento diferente para cada direção.

O método requer como dado de entrada as dimensões principais do navio, as áreas vélicas projetadas no plano longitudinal e transversal, os coeficientes aerodinâmicos do navio, a posição de todos os equipamentos de amarração, as dimensões principais do cais, o material de cada amarra e sua tensão máxima.

Usando toda essa informação de entrada, o método resulta em um relatório contendo a velocidade máxima suportada pelo navio em 17 direções diferentes. Essas direções variam 180°, entre o vento de proa e o vento de popa, passando pelo vento transversal que afasta o navio do cais. A ideia é obter diferentes direções onde nenhuma delas representa um vento que comprime o navio contra o cais. Outras informações são também apresentadas nos resultados, como por exemplo a força aplicada em cada amarra para cada uma das 17 direções.

O fluxograma apresentado na Figura 10 mostra como o método realiza suas iterações para obter os resultados.

Para cada caso de cálculo, o método realiza em torno de 10 mil iterações antes de aplicar o critério de parada. O conjunto de todas essas iterações levam em torno de 1 minuto para serem executadas. Após a realização dessas iterações, o resultado armazenado é exibido.

A Figura 11 mostra um exemplo de resultado obtido usando este método. Os resultados são combinados e um gráfico de radar para uma melhor visualização.

É importante enfatizar que esse método foi realizado considerando as recomendações do “Mooring Equipment Guidelines – OCIMF”.

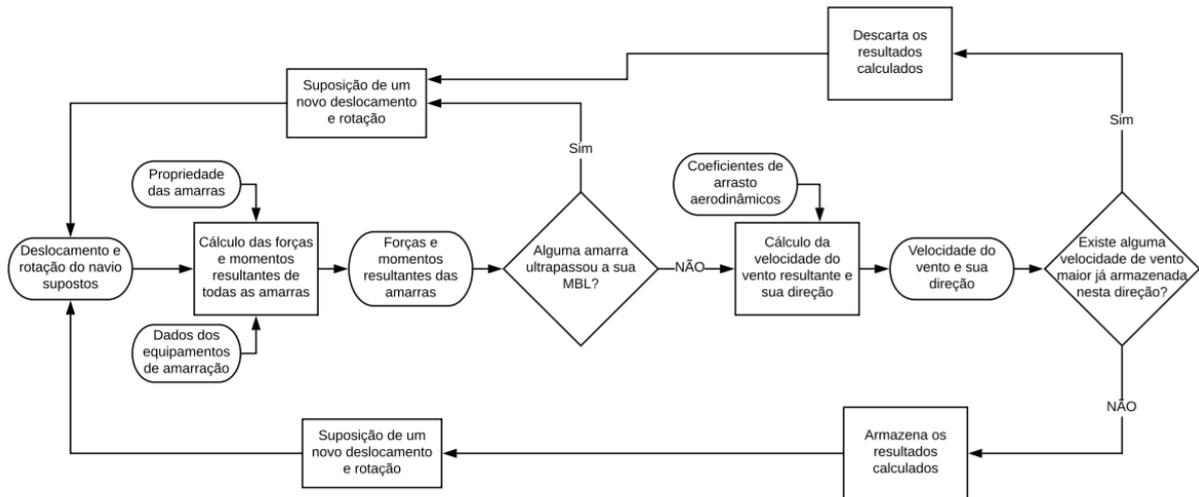


Figura 10 - Fluxograma do método de cálculo

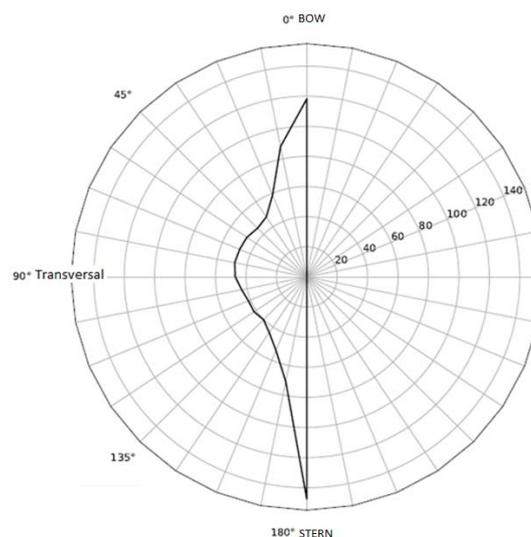


Figura 11 - Exemplo de resultado obtido pelo método

## 5 - Estudo de Caso

### 5.1 Dados de Entrada

Para as análises realizadas no trabalho, foram escolhidos um navio e um cais teóricos. O navio teórico escolhido é um navio do tipo Ferry que tem as seguintes características:

- LPP = 170 m
- LOA = 186 m
- B = 27,3 m
- T = 6,5 m
- Deslocamento ( $\Delta$ ) = 19264 t
- Área vélica longitudinal = 4263 m<sup>3</sup>

- Área vélica transversal = 1000 m<sup>3</sup>

Os coeficientes aerodinâmicos utilizados para realizar os cálculos com esse navio foram encontrados no livro “Manoeuvring Technical Manual”. Esse livro apresenta diversos perfis aerodinâmicos de navios, separando-os por tipo de navio e comprimento. A Figura 12 mostra os dados usados neste trabalho.

A Figura 12 mostra 4 tabelas, uma para C<sub>x</sub>, outra para C<sub>y</sub>, outra para C<sub>n</sub> e uma última para C<sub>k</sub>. Apenas as 3 primeiras tabelas são usadas no método apresentado.

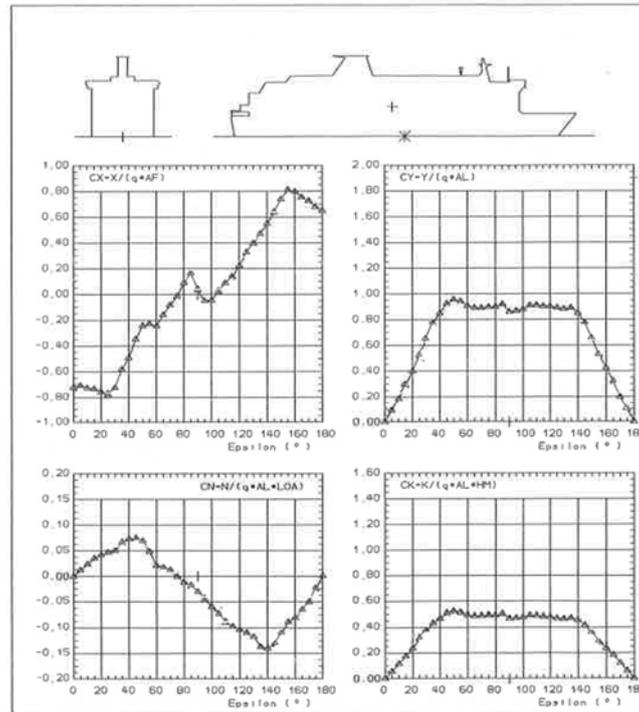


Fig. 1.15: Passenger/car ferry;  $L_{pp} = 144,00$  m;  $L_{oa} = 161,00$  m;  $B = 29,00$  m;  $T = 6,05$  m;  $AL = 4223,29$  m<sup>2</sup>;  $AF = 898,21$  m<sup>2</sup>;  $SL$  rel. to main section =  $-5,90$  m;  $SH$  rel. to above water-line =  $14,85$  m;  $lfs$

Figura 12 - Curvas de coeficientes aerodinâmicos. Extraídas do livro “Manoeuvring Technical Manual”

## 5.2 Discussão

No relatório completo é possível encontrar as 3 análises distintas que foram realizadas. Uma relativa às diferentes matérias que uma amarra pode ter, outra relativa a variação da altura dos equipamentos de amarração em relação ao cais e uma terceira que analisa o impacto na resistência ao vento do aumento da quantidade de amarra de Través na configuração de amarração. Para este resumo, apenas a terceira análise será apresentada, pois esta contém resultados mais interessantes.

Como mostrado na Figura 1, uma amarra pode exercer diferentes funções. O propósito dessa análise é determinar se existe interesse em usar mais amarras do tipo Través do que os outros dois tipos.

Profissionais que realizam a operação de amarração tem como costume utilizar o mesmo número de amarras para cada tipo. A configuração típica para o navio teórico que está sendo estudado seria usar 2 amarras Lançantes de proa, 2 amarras Lançantes de popa, 2 amarras Través de proa, 2 amarras Través de popa, 2 amarras Espringues de proa e 2 amarras Espringues de popa. Totalizando 12 amarras.

Esta análise terá 4 cenários diferentes para verificar a variação da resistência ao vento em diferentes configurações de amarração, porém mantendo o número de amarras sempre igual a 12. O primeiro cenário, chamado Sn1, será a configuração típica descrita no parágrafo anterior. O segundo cenário, chamado Sn2, mudará a trajetória de 2 amarras Lançantes em relação ao primeiro cenário, fazendo elas agirem com Través. O terceiro cenário, chamado Sn3, irá mudar a trajetória de 4 amarras Lançantes em relação ao primeiro cenário, fazendo elas agirem com Través. O quarto cenário, chamado Sn4, irá mudar a trajetória das 4 amarras Lançantes e de 4 amarras Espringues fazendo elas atuarem como Través. Isso significa que, neste cenário, todas as amarras estarão agindo como Través.

Para uma melhor visualização dessas diferenças entre os cenários, a Figura 13, Figura 14, Figura 15 e Figura 16 representam a posição inicial do navio em cada cenário.

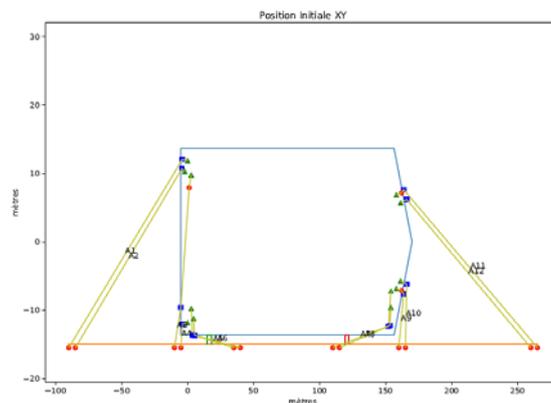


Figura 13 - Posição inicial do navio em Sn1

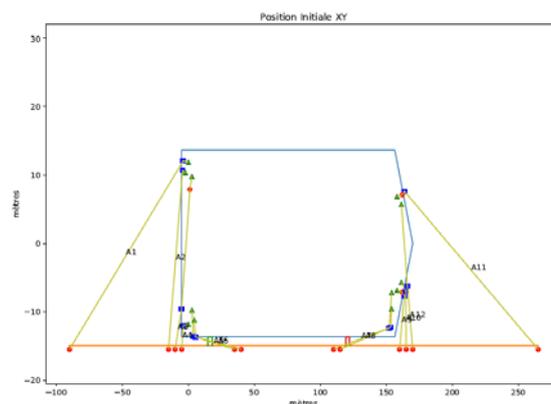


Figura 14 - Posição inicial do navio em Sn2

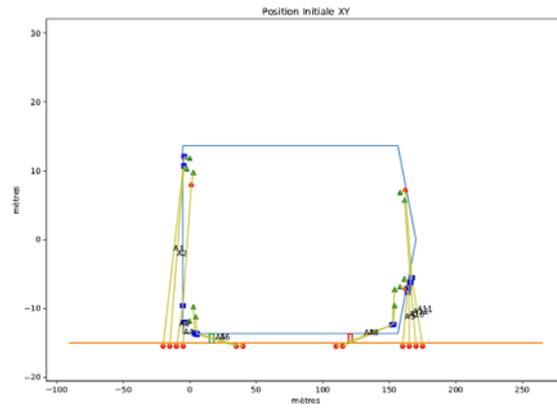


Figura 15 - Posição inicial do navio em Sn3

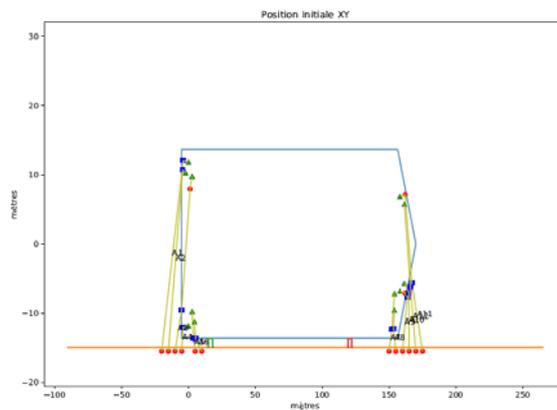


Figura 16 - Posição inicial do navio em Sn4

### 5.3 Resultados

Após realizados os cálculos para cada cenário, a velocidade de vento máxima foi obtida do relatório de resultados. A Tabela 2, mostra a velocidade de vento para cada cenário e direção de vento. Os valores destacados são os resultados que mostram o menor valor de velocidade em cada cenário. Isso significa que o vento resiste ao menos aquela velocidade de vento em todas as direções.

Os resultados podem igualmente ser organizados em um único gráfico de radar, onde as curvas mostram a velocidade de vento máxima em nós para cada direção, como foi feito na Figura 17.

Os resultados mostram que existe uma forte relação entre a escolha de função para cada amarra e a resistência ao vento. De acordo com que foi acrescentado o número de amarras transversais, substituindo as outras funções, houve uma melhora na resistência.

Tabela 2 - Resultado das velocidades de vento

	Sn1	Sn2	Sn3	Sn4
Wind Dir. (°)	Wind Speed (knots)			
0 (Bow)	111.8	143.26	143.16	93.78
11.25	82.69	92.5	104.16	112.17
22.5	55.41	68.02	73.82	83.05
33.75	44.86	53.25	58.08	65.35
45	42.87	47.06	50.81	55.9
56.25	42.7	49.85	52.88	59.4
67.5	43.08	51.81	57.21	62.96
78.75	42.18	53.28	57.52	64.75
90 (Transv)	40.6	52.82	57.93	59.81
101.25	38.33	54.29	60.45	57.84
112.5	36.96	52.71	60.16	55.89
123.75	37.11	48.62	56.22	51.64
135	35.17	46.5	52.71	49.23
146.25	38.89	51.46	59.46	65.77
157.5	46.31	70.39	80.67	84.88
168.75	65	108.22	132.04	116.03
180 (Stern)	133.94	155.19	150.88	113.74

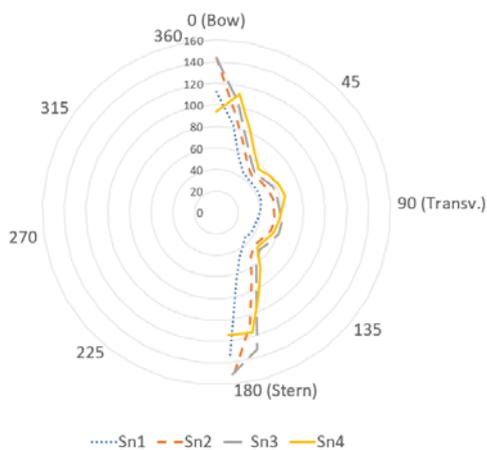


Figura 17 - Gráfico Radar com os resultados da análise

Os números mostram que, saindo da amarração típica (Sn1) e indo para a amarração com 2 transversais a mais (Sn2), há um aumento de 32% na resistência ao vento para a direção de 135°, que é a direção limitante deste caso. Quando se adiciona ainda duas outras amarras transversais (Sn3), o valor aumenta mais 9%, porém a direção limitante passa a ser 45°. E quando se passa todas as amarras para a função de transversal (Sn4), tem-se uma queda na resistência ao vento de 3%, voltando a direção de 135° como direção limitante. Considerando a diferença entre os resultados do cálculo Sn1 e do cálculo Sn3, que são o menor e o maior valor encontrado na análise, existe uma variação de 44% na resistência ao vento.

É possível concluir que aumentar as transversais é sim algo a ser feito para melhorar a configuração de amarração. Porém existe um limite, e que utilizar todas as amarras como transversais não seria a melhor ideia. Existe, entre esses dois casos do cálculo Sn1 e do cálculo Sn4, um ótimo que pode ser estudado e aproveitado pelo navio.

Essa conclusão se explica sabendo que as direções de vento que mais impactam o navio, são as que estão próximas a direção transversal (90°). Nesses casos, o vento impacta uma superfície vélica muito grande, quando comparado aos ventos de extremidade (0° e 180°). Então, as direções transversais se tornam mais limitantes. Sabendo que as amarras transversais são as que resistem principalmente a este tipo de vento, enquanto as longitudinais tendem a ir em direção ao vento de extremidade, é compreensível que quando se tem mais transversais em uma configuração, a resistência ao vento é maior.

É possível observar que em Sn3 existe uma variação da direção de vento limitante. Contudo, nesse cenário, a velocidade do vento para 135° é igual a 52,71 nós, muito próxima ao valor limitante, o que também valida a conclusão. Além disso, a direção de 45° é simétrica a direção de 135°, se 90° for conspirado como centro. Isso significa que essas duas direções terão resultados similares se a configuração de amarração tender a ser simétrica entre proa e popa, como é o caso dessa análise.

## **6 - Conclusão**

Este trabalho mostra primeiramente a importância do estudo da amarração para um navio. É uma operação que necessita de recursos e é feita regularmente pelo navio, podendo ser uma fonte de diminuição de gastos. Dado o histórico dessa atividade, várias práticas e recomendações são conhecidas pelos responsáveis da operação, porém um estudo mais teórico se mostra necessário em alguns casos podendo aprimorar as técnicas existentes.

Diversas abordagens são possíveis para a resolução do problema de amarração de navios. Pode-se estudar a ação de todos os efeitos externos juntos, ou separa-los para que apenas os mais influentes sejam estudados. É necessário conhecer os objetivos do estudo para poder escolher a melhor forma de abordagem.

Uma vez escolhido o método ideal de resolução, ainda sim tem-se inúmeras variáveis para se determinar. A escolha dessas variáveis influencia diretamente o resultado e o custo da operação ou construção do navio. Analisar variável por variável é uma boa maneira de se conhecer melhor a sensibilidade do problema e entender onde uma otimização funcionaria melhor.

O presente trabalho analisou a influência do aumento do número de amarras de Través para a resistência do navio em velocidade de vento. Os resultados mostram que existe uma possibilidade de aumentar a resistência ao vento em até 44%. Uma resistência relativamente alta que pode ser realizada apenas mudando a configuração de amarração escolhida. Esta análise mostra que é possível mudar a configuração de amarração de um navio de forma a aumentar a resistência ao vento, sem realizar grandes alterações no projeto do navio. Ou até mesmo aumentar a resistência ao vento em um navio já em construído, sem adicionar nenhuma amarra.

## 7 - Bibliografia

BRITISH STANDARD, “Code of practice for general criteria”. In: **BS 6349-2: Maritime structures**. Part 1, 1988.

BRITISH STANDARD, “Design of quay walls, jetties and dolphins”. In: **BS 6349-2: Maritime structures**. Part 2, 1988.

BRIX, J., **Manoeuvring Technical Manual**. 1 ed. Hamburg, Germany, Seehafen Verlag 1993.

BUREAU VERITAS, “Equipment”. In: **Bureau Veritas Rules for Naval Ships**, Part B, Chapter 9, Section 4, November 2011.

BUREAU VERITAS, “Equipment”. In: **Bureau Veritas Rules for Steel Ships**, Part B, Chapter 9, Section 4, January 2017.

CHEN, Q., YIN, Q., FAN, A., “Research on the Calculation methods of wind load Coefficients of Inland Cruise ship”. **International Conference on Transportation Information and Safety**, Wuhan, China, 25-28 June 2015.

HADDARA, M.R.; SOARES, C. G.; “Wind loads on marine structures”, **Marine Structures**, v. 12, n. 3, pp. 199-209, April 1999.

IACS, “Requirements concerning Mooring, Anchoring and Towing”. In: **IACS Requirement**, Section 11, Chapter 4, 2005.

LIGIER, J. L., NOEL, B., “Friction Reduction and Reliability for Engines Bearing”. **Lubricants**, n. 3, pp. 569-596, July 2015.

OCIMF, OIL COMPANIES INTERNATIONAL MATINE FORUM, **Mooring Equipment Guidelines**. 3 ed. Livingston, England, Witherby Seamanship International, 2008.

UENO, M., KITAMURA, F., SOGIHARA, N., FUJIWARA, T., “A Simple method to Estimate Wind Loads on Ships”. **Advances in Civil, Environmental, and Materials Research**, ACEM’ 12, Seoul, Korea, 26-30 August 2012.