



**Sistema de Amarração e Fundeio
PORTO CECMA – Manaus/AM**

**Preparado Por: Eng° Naval Matheus Monteiro Campos
CREA-AM: 29100**

**Preparado Para: CENTRO DE EMBARCACOES DO COMANDO MILITAR
DA AMAZONIA**

**OUTUBRO
2022**

SUMÁRIO

SUMÁRIO	ii
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 METODOLOGIA	6
2.1 ESFORÇOS ATUANTES NO SISTEMA	7
2.2 MÉTODO 1 – UFC 2005	7
2.3 MÉTODO 2 – JAYME MASON 1982	10
2.4 MÉTODO 3 – NBR 9782:1987	13
2.5 CÁLCULO DAS LINHAS.....	15
2.6 ANÁLISE DA ANCORAGEM	15
2.7 CONDIÇÕES AMBIENTAIS	16
3 AMARRAÇÃO E FUNDEIO	17
3.1 DIMENSIONAMENTO – PORTO CECMA	17
3.1.1 FORÇAS ATUANTES NO SISTEMA	18
3.1.2 POITAS.....	19
3.1.3 GUINCHOS	19
3.2 DIMENSIONAMENTO – BELÉM E POLO AMAZÔNIA.....	20
3.2.1 FORÇAS ATUANTES NO SISTEMA	21
3.2.2 MORTOS	21
3.2.3 GUINCHOS	22
4 CÁLCULO DAS AÇÕES DE ATRACAÇÃO	22
5 CONCLUSÕES.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1 INTRODUÇÃO

Com base nas instalações existentes, nos levantamentos realizados pela Netuno Engenharia Naval e pelas informações fornecidas pela CECMA (Centro de Embarcações do Comando Militar da Amazônia), foram realizados os estudos de amarração e fundeio do sistema do porto da CECMA, na cidade de Manaus-AM. Os cálculos foram feitos com base no layout proposto, além da inserção de um novo módulo.

O layout atual o sistema de fundeio é composto por: 3 balsas no sentido longitudinal (Polo Amazônia, Belém e Rondônia) e 2 balsas na transversal (Coari e Borba).



Figura 1: Sistema Atual do Porto. Fonte: Google Maps, 2022.

As balsas no sistema atual possuem as seguintes dimensões principais:

Polo Amazônia (sentido longitudinal):

Comprimento Total: 35,30 m

Boca moldada: 12,00 m

Pontal moldado: 1,70 m

Belém (sentido longitudinal):

Comprimento Total: 28,80 m

Boca moldada: 12,40 m

Pontal moldado: 2,50 m

Rondônia (sentido longitudinal):

Comprimento Total: 37,80 m

Boca moldada: 8,40 m

Pontal moldado: 1,70 m

Borba (sentido transversal):

Comprimento Total: 36,70 m

Boca moldada: 8,90 m

Pontal moldado: 1,70 m

Coari (sentido transversal):

Comprimento Total: 31,00 m

Boca moldada: 8,50 m

Pontal moldado: 1,50 m

Com base na solicitação da CECMA, haverá uma união entre as balsas Rondônia, Borba, Coari e Ajuricaba, formando uma única balsa rígida no sentido transversal, com as seguintes dimensões principais:

Ajuricaba (sentido transversal):

Comprimento Total: 36,70 m

Boca moldada: 8,90 m

Pontal moldado: 1,70 m

Novo Porto (sentido transversal):

Comprimento Total: 60,00 m

Boca moldada: 20,00 m

Pontal moldado: 1,70 m

Desta forma, no sentido longitudinal haverá apenas as balsas Polo Amazônia e Belém, que servirão de acesso para a nova balsa. Após a inserção da nova balsa, o novo layout proposto para o Porto da CECMA será conforme a Figura 2. Por fim, foram realizados os cálculos dos esforços globais atuantes no sistema rearranjado juntamente com as embarcações que farão atracação, conforme o novo layout. Informações mais detalhadas poderão ser vistos nos próximos itens deste relatório.

A figura a seguir representa o sistema adotado nos cálculos e análises do sistema de ancoragem.

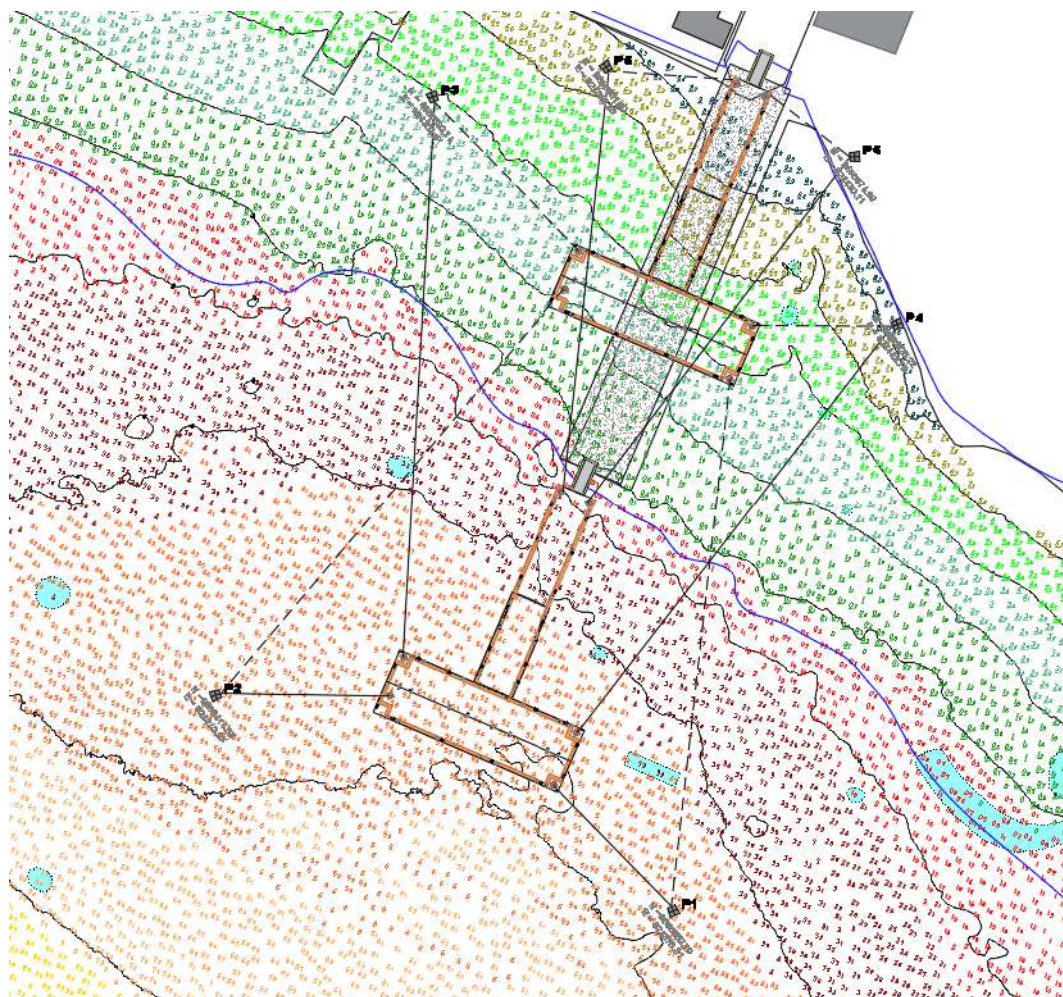


Figura 2: Layout Futuro de amarração e fundeio - Porto CECMA.

2 METODOLOGIA

Com a definição das condições ambientais, do cais e das embarcações, serão realizados os cálculos dos esforços atuantes no sistema. As forças atuantes no sistema servirão de dados de entrada para o cálculo das poitas e para a seleção das linhas.

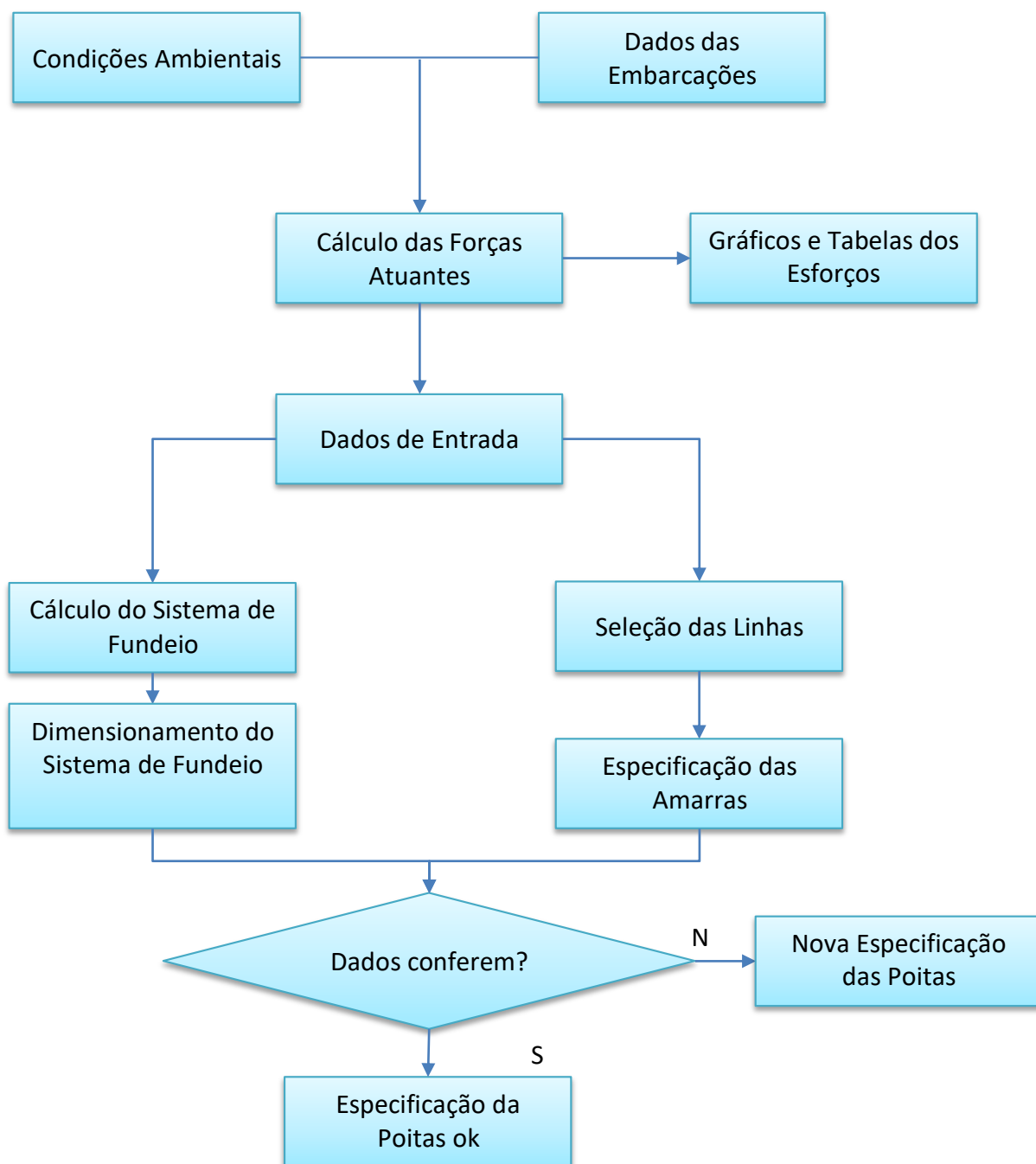


Figura 3: Fluxograma do dimensionamento do sistema de ancoragem.

2.1 ESFORÇOS ATUANTES NO SISTEMA

Para o dimensionamento do sistema foram utilizadas três metodologias de cálculo existentes: O método proposto pela Unified Facilities Criteria (UFC, 2005), o método proposto por Jayme Mason (1982) e o método da NBR 9782. O objetivo é utilizar três metodologias distintas para os cálculos dos esforços e verificar a acurácia dos resultados. Para uma posterior validação dos resultados, recomenda-se ensaio em tanque de provas físico ou numérico, entretanto esta não faz parte do escopo deste relatório.

No cálculo dos esforços atuantes no sistema Cais + Embarcações, são considerados basicamente as forças geradas pela corrente e pelo vento. Há a inclusão nas formulações para fatores de correção de outros esforços não previstos que possam potencializar as tensões nas linhas.

2.2 MÉTODO 1 – UFC 2005

A metodologia proposta por Unified Facilities Criteria (UFC, 2005) aborda formulações para a obtenção do cálculo dos esforços atuantes estáticos de vento e de corrente tanto para o eixo longitudinal e transversal das embarcações. A seguir são apresentadas as formulações que farão parte dos cálculos presentes neste relatório.

Esforço devido ao vento no eixo transversal (UFC, 2005): A força do vento transversal estática é definida como aquele componente de força que age em direção perpendicular à linha de centro da embarcação. Como dados de entrada tem-se a área exposta ao vento no sentido longitudinal e a velocidade do vento que age na embarcação. No local sistema de coordenadas do navio, pode ser determinado a partir da equação:

$$F_{yw} = 0.5\rho_a V_w^2 A_y C_{yw} f_{yw} \{\theta_w\} \quad (1)$$

Onde,

F_{yw} = Esforço de vento transversal, em Newtons;

ρ_a = Densidade do Ar, conforme o SI;

V_w = Velocidade do vento, em m/s;

A_y = Área vélica longitudinal projetada do navio, em m²;

C_{yw} = Coeficiente da força de vento transversal;

f_{yw} = Função de forma para força transversal;

θ_w = Ângulo de vento, em graus;

Para mais detalhes sobre a obtenção do coeficiente de força do vento transversal e da função de força da força transversal, pode ser visto conforme a referência Unified Facilities Criteria (UFC, 2005 p. 79).

Esforço devido ao vento no eixo longitudinal (UFC, 2005): Pode ser definida como aquele componente da força do vento que agem em direção paralela à linha de centro do navio. Como dados de entrada tem-se a área exposta ao vento no sentido transversal e a velocidade do vento que age na embarcação. O esforço devido ao vento no eixo longitudinal pode ser determinado a partir da equação:

$$F_{xw} = 0.5\rho_a V_w^2 A_x C_{xw} f_{xw} \{\theta_w\} \quad (2)$$

Onde,

F_{xw} = Esforço de vento longitudinal, em Newtons;

ρ_a = Densidade do Ar, conforme o SI;

V_w = Velocidade do vento, em m/s;

A_x = Área vélica transversal projetada do navio, em m²;

C_{xw} = Coeficiente da força de vento longitudinal;

f_{xw} = Função de forma para força longitudinal;

θ_w = Ângulo de vento, em graus;

Para mais detalhes sobre a obtenção do coeficiente de força do vento longitudinal e da função de força da força transversal, pode ser visto conforme a referência Unified Facilities Criteria (UFC, 2005 p. 86).

Esforço devido a corrente no eixo transversal (UFC, 2005): Pode ser definido como aquele componente de força que age no sentido perpendicular à linha de centro da embarcação. Como dados de entrada, tem-se o comprimento da embarcação na linha d'água, do calado da embarcação, da velocidade da corrente e da densidade do fluido. A força da corrente transversal é determinada pela seguinte equação:

$$F_{yc} = 0.5\rho_w V_c^2 L_{wl} T C_{yc} \sin\{\theta_c\} \quad (3)$$

Onde,

F_{yc} = Esforço de corrente transversal, em Newtons;

ρ_w = Densidade da água, conforme o SI;

V_c = Velocidade de corrente, em m/s;

L_{wl} = Comprimento da linha d'água do navio, em m;

T = Calado do navio, m;

C_{yc} = Função de forma para força transversal;

θ_c = Ângulo de vento, em graus;

Para mais detalhes sobre a obtenção do coeficiente de força da corrente longitudinal, pode ser visto conforme a referência Unified Facilities Criteria (UFC, 2005 p. 93).

Esforço devido a corrente no eixo longitudinal (UFC, 2005): A força devido a corrente longitudinal é definida como aquele componente de força que age em paralelo à linha de centro da embarcação. Esta força é determinada para embarcações em forma de navio simplificada a partir da seguinte equação, conforme o (Laboratório de Engenharia Civil Naval (NCEL), TN-1634):

$$F_{xc} = F_{xFORM} + F_{xFRICTION} + F_{XPROP} \quad (4)$$

Onde,

F_{xc} = Força total no sentido longitudinal, em (newtons);

F_{xFORM} = Resistencia devido do navio de acordo com sua forma, em (newtons);

$F_{xFRICTION}$ = Resistência de corrente longitudinal devido a componente friccional, em (newtons);

F_{XPROP} = Resistência de corrente longitudinal devido ao arrasto do propulsor, em (newtons);

Para mais detalhes sobre a obtenção da resistência devido a forma do casco, do propulsor e devido a fricção, pode ser visto conforme a referência Unified Facilities Criteria (UFC, 2005 p. 100).

2.3 MÉTODO 2 – JAYME MASON 1982

A metodologia proposta por Jayme Mason (1982) aborda formulações para a obtenção do cálculo dos esforços atuantes estáticos de vento e de corrente tanto para o eixo longitudinal e transversal das embarcações envolvendo parâmetros geométricos. Para a decomposição das forças, foram acrescentados ângulos a fim de verificar a condição mais crítica. A seguir são apresentadas as formulações que farão parte dos cálculos presentes neste relatório.

Esforço devido ao vento no eixo transversal, Mason (1982): Do mesmo modo da metodologia anterior, a força do vento transversal estática é definida como a componente de força que age na direção perpendicular à linha de centro da embarcação, no local sistema de coordenadas do navio. Como dados de entrada tem-se a área exposta ao vento no sentido longitudinal e a velocidade do vento que age na embarcação. O esforço devido ao vento no eixo transversal pode ser determinado a partir da equação:

$$F_{vT} = k_v \frac{1}{16} v^2 A_{vT} \quad (5)$$

Onde,

F_{vT} = Esforço de vento transversal, em kgf;

Kv = Coeficiente k;

v = Velocidade do vento, em m/s;

A_{vT} = Área Vélica no sentido longitudinal (lateral) do navio exposta ao vento, em m²;

Busca-se analisar as inclinações do vento em relação ao sistema, adicionou-se as componentes $\sin(\theta)$ e $\cos(\theta)$ em relação a velocidade do vento. Segundo recomendações do autor, o coeficiente k pode ser considerado 1,2. Para mais detalhes da Eq. (5), pode ser visto conforme a referência supracitada, (Mason, 1982).

Esforço devido ao vento no eixo longitudinal, Mason (1982): A força do vento longitudinal estática é definida como aquele componente de força que age em direção paralela à linha de centro da embarcação, no local sistema de coordenadas do navio. Como dados de entrada tem-se a área exposta ao vento no sentido transversal e a velocidade do vento que age na embarcação. O esforço devido ao vento no eixo longitudinal pode ser determinado a partir da equação:

$$F_{vL} = k_v \frac{1}{16} v^2 A_{vL} \tag{6}$$

Onde,

F_{vL} = Esforço de vento longitudinal, em kgf;

Kv = Coeficiente k;

v = Velocidade do vento, em m/s;

A_{vL} = Área Vélica no sentido transversal (frontal) do navio exposta ao vento, em m²;

Busca-se analisar as inclinações do vento em relação ao sistema, adicionou-se as componentes $\sin(\theta)$ e $\cos(\theta)$ em relação a velocidade do vento. Segundo recomendações do autor, o coeficiente k pode ser considerado 1,2. Para mais detalhes da Eq. (6), pode ser visto conforme a referência supracitada, (Mason, 1982).

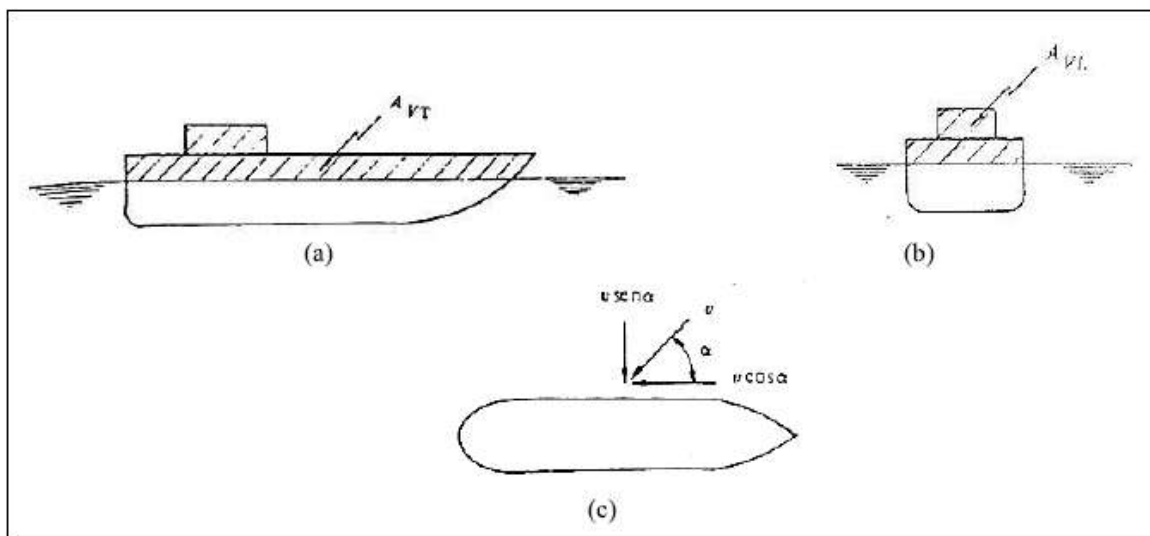


Figura 4: Área vélica exposta. Fonte: Mason (1982).

Esforço devido a corrente no eixo transversal, Mason (1982): A força devido a corrente no eixo transversal pode ser definida como a componente de força que age na direção perpendicular à linha de centro da embarcação, no local sistema de coordenadas do navio. Como dados de entrada, tem-se a velocidade da corrente e abaixo da linha d’água projetada no sentido da corrente. O esforço devido a corrente no eixo transversal pode ser determinado a partir da equação:

$$F_{cT} = k_{cT} 52,5 v^2 A_{cT} \tag{7}$$

Onde,

F_{cT} = Esforço da corrente no sentido transversal, em kgf;

v_T = Velocidade da corrente, em m/s;

A_{cT} = Área no sentido longitudinal do navio exposta a corrente, em m²;

k_{cT} = Coeficiente de forma transversal, conforme definido por Mason (1982).

Busca-se analisar as inclinações do vento em relação ao sistema, adicionou-se as componentes $\sin(\theta)$ e $\cos(\theta)$ em relação a velocidade do vento. O coeficiente k_{cT} pode ser obtido conforme a referência supracitada, (Mason, 1982).

Esforço devido a corrente no eixo longitudinal, Mason (1982): A força devido a corrente no eixo longitudinal pode ser definida como a componente de força que age em direção paralela à linha de centro da embarcação, no local sistema de coordenadas do navio. Os dados de entrada dependem da velocidade da corrente e da área projetada abaixo da linha d'água exposta à corrente. O esforço devido a corrente no eixo longitudinal pode ser determinado a partir da equação:

$$F_{cL} = k_{cL} 52,5 v^2 A_{cL} \quad (8)$$

Onde,

F_{cL} = Esforço da corrente no sentido transversal, em kgf;

v = Velocidade da corrente, em m/s;

A_{cL} = Área no sentido longitudinal do navio exposta à corrente, em m²;

k_{cL} = Coeficiente de forma longitudinal, conforme definido por Mason (1982).

Busca-se analisar as inclinações do vento em relação ao sistema, adicionou-se as componentes $\sin(\theta)$ e $\cos(\theta)$ em relação a velocidade do vento. O coeficiente k_{cL} pode ser obtido conforme a referência supracitada, (Mason, 1982).

2.4 MÉTODO 3 – NBR 9782:1987

Na metodologia proposta pela NBR 9782:1987, os esforços atuantes vento e de corrente das embarcações através de conceitos clássicos da hidrodinâmica em condições estáticas. Vale ressaltar que esta norma não se encontra em vigor, entretanto busca-se a sua utilização para comparar com os métodos 1 e 2 apresentados acima.

Esforço devido ao vento, NBR 9782:1987: A força do vento estática é definida como aquele componente de força longitudinal/transversal em direção à linha de centro da embarcação, no sistema local de coordenadas do navio. Os dados de entrada necessários para o cálculo, são velocidade do vento e área vélica exposta, a componente longitudinal/transversal será dada conforme a inclinação do vento considerada. O esforço devido ao vento pode ser determinado a partir da equação:

$$R = k \frac{v^2}{1600} (A_T \cos^2 \theta + A_L \sin^2 \theta) \quad (9)$$

Onde,

R = Esforço ao vento, em kgf;

v = Velocidade característica do vento, em m/s;

k = Coeficiente de forma;

A_L = Área da seção transversal (frontal) do navio acima da linha d'água, m²;

A_T = Área da seção longitudinal (lateral) do navio acima da linha d'água, m²;

θ = Ângulo formado pela direção do vento com o eixo longitudinal do navio;

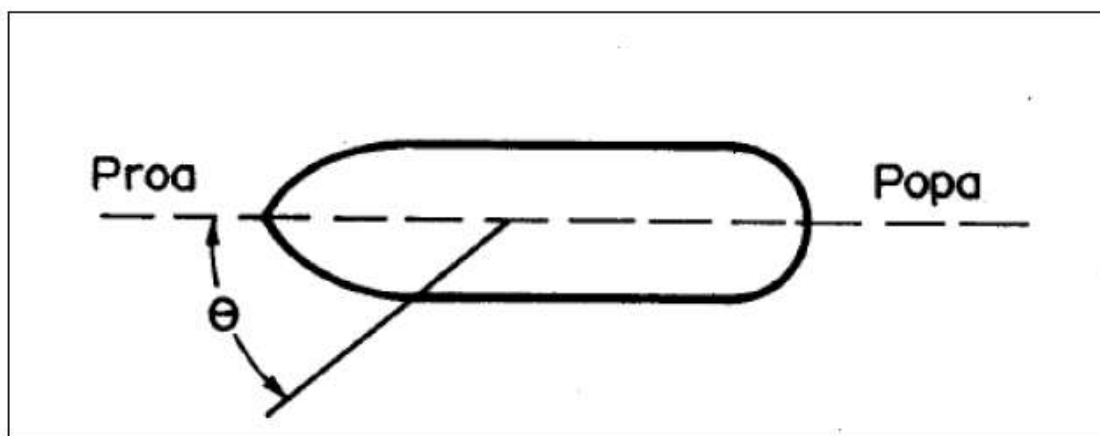


Figura 5: Incidência do Ângulo de Vento. Fonte: NBR 9782:1987, p. 14.

O coeficiente k pode variar entre 0,6 a 1,3, sendo recomendado o valor de 1,2 para os estudos. Para mais detalhes da Eq. (9), pode ser visto conforme a referência supracitada, (NBR 9782:1987).

Esforço devido à corrente, NBR 9782:1987: A força da corrente estática é definida como aquele componente de força em direção longitudinal/transversal à linha de centro da embarcação, no local sistema de coordenadas do navio. Os dados de entrada para o cálculo limitam-se a velocidade da corrente local, do comprimento na linha d’água e do calado da embarcação. O esforço devido ao vento pode ser determinado a partir da equação:

$$R = 0,528V^2LDk \tag{10}$$

Onde,

R = Valor do esforço na direção da corrente, em kN;

k = Coeficiente de forma;

V = Velocidade da corrente, em m/s;

L = Comprimento do navio, entre perpendiculares, em m;

D = Calado do navio, em m;

Segundo a norma, o coeficiente k depende da direção da corrente e da relação entre o calado do navio com a profundidade local, conforme a imagem a seguir. Para mais detalhes da Eq. (10), pode ser visto conforme a referência supracitada, (NBR 9782:1987).

θ (A) h/D	0°	20°	40°	60°	80°	90°
1,1	0,0	1,2	3,1	4,1	4,6	4,7
1,5	0,0	0,5	1,3	2,0	2,3	2,3
7,0	0,0	0,2	0,6	0,8	0,9	0,9

Figura 6: Valores dos coeficientes de k , NBR 9782:1987.

2.5 CÁLCULO DAS LINHAS

Após a determinação das forças atuantes nas metodologias citadas anteriormente, as tensões atuantes nas linhas de ancoragem podem ser determinadas.

Como o modelo final para cada cais é do tipo hiperestático, obter o valor exato das tensões nas linhas exigiria o desenvolvimento de uma ferramenta matemática mais complexa. Tal desenvolvimento não atenderia os requisitos de prazo, portanto, foram realizadas simplificações de modo a obter valores aproximados para as tensões nas linhas. Para as linhas, uma vez definido o carregamento e o fator de segurança, basta selecioná-las do catálogo de fabricantes.

2.6 ANÁLISE DA ANCORAGEM

Para os cálculos de ancoragem foi desenvolvido o software nMoor, seu método de cálculo se baseia na referência [2.] Rocker Jr., Karl (1985). *Handbook for Marine Geotechnical Engineering*. NCEL. Os principais fatores que foram considerados nesse dimensionamento são:

- Tipo do solo;
- Tipo e tamanho da área de contato com o solo;
- Direção da tensão do cabo/amarra;
- Declividade do terreno;

Na falta de dados mais precisos do solo na região do terminal e do ângulo da força de tensão do cabo com a poita, de acordo com magnitude das forças, foi adotado um fator de segurança entre 2 e 3.

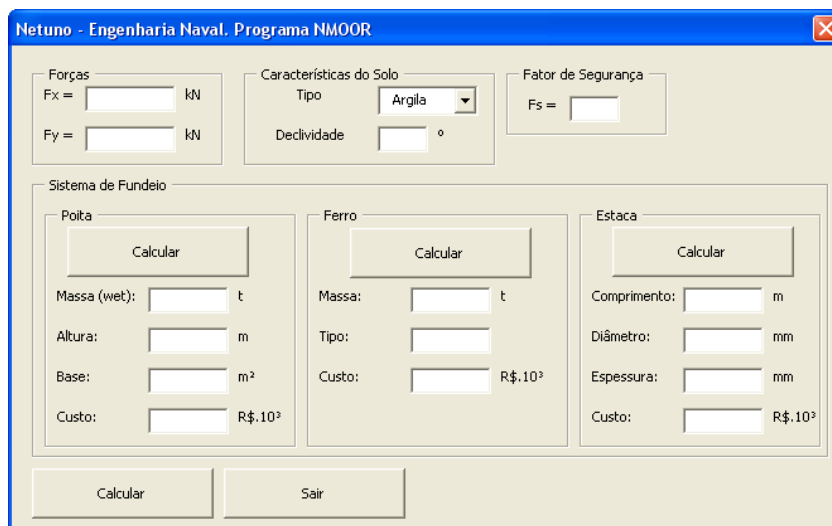


Figura 7: nMoor.

A partir das forças atuantes no sistema, da geometria das linhas e das características do solo o nMoor dimensiona a poita, ferro ou pilar necessária para resistir aos carregamentos.

2.7 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

As condições ambientais correspondem às condições do Rio Negro e meteorológicas na região do terminal, são de grande importância, pois a partir delas que será avaliado o sistema de ancoragem do terminal. Na ausência de dados históricos e de medições mais amplas a respeito da correnteza na região do terminal, foram realizadas análises com ângulo de incidência de até 90° e com a velocidade de 3.0 nós, entretanto os resultados serão aplicados para casos reais possíveis.

A velocidade de vento utilizada foi a recomendada pela NORMAM-02/DPC e corresponde a 80 km/h, para as condições de ângulo variando entre 0° a 90°.

Tabela 1: Condições Ambientais

Condição Ambiental	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06	C-07	C-08	C-09	C-10
Velocidade da Corrente (nós)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Ângulo de incidência da corrente (°)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Velocidade do vento em (Km/h)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Ângulo de incidência do vento (°)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45

Condição Ambiental	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	C-18	C-19
Velocidade da Corrente (nós)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Ângulo de incidência da corrente (°)	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Velocidade do vento em (Km/h)	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Ângulo de incidência do vento (°)	50	55	60	65	70	75	80	85	90

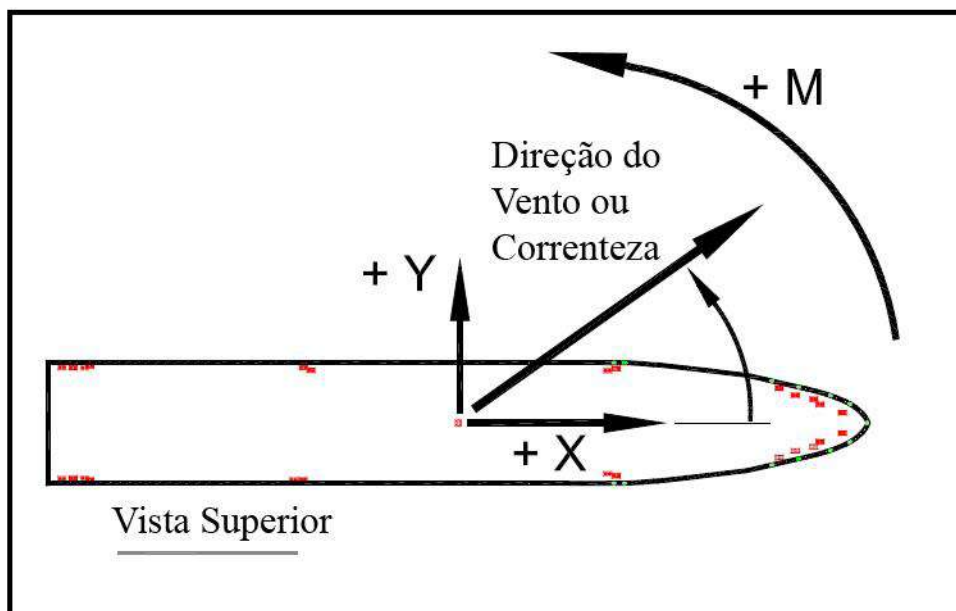


Figura 8: Sistema de Coordenadas Adotado.

3 AMARRAÇÃO E FUNDEIO

3.1 DIMENSIONAMENTO – PORTO CECMA

As características do módulo do Porto CECMA e dos navios que irão atracar seguem abaixo:

MÓDULO – PORTO CECMA

Comprimento Total	60.000 m
Comprimento entre PP	60.000 m
Boca Moldada	20.000 m
Pontal a Meia Nau	1.700 m
Calado Máx. Estimado	0.800 m

FERRY BOAT TÍPICO 1, 2 e 3

Comprimento Total	25.200 m
Boca Moldada	6.000 m
Calado Máx.	1.510 m
Área Vélica Lat.	95.740 m ²
Área Vélica Frontal	29.300 m ²

BALSA DE CARGA GERAL

Comprimento Total	32.000 m
Boca Moldada	9.000 m
Calado Máx.	1.460 m
Área Vélica Lat.	80.780 m ²
Área Vélica Frontal	32.130 m ²

3.1.1 FORÇAS ATUANTES NO SISTEMA

A seguir serão apresentados os esforços atuantes na condição ambiental mais crítica. Porto CECMA+ Embarcações atracados por Bombordo e Boreste.

Tabela 2: Condições Ambientais mais críticas consideradas

Condições Ambientais Transversal		Condições Ambientais Longitudinal	
V. Corrente	3 nós	V. Corrente	3 nós
θ da Corrente	5°	θ da Corrente	0°
V. Vento	80 km/h	V. Vento	80 km/h
θ do Vento	90°	θ do Vento	0°

Tabela 3: Esforços máximos encontrados no Porto CECMA

Método	Vento		Corrente	
	Longitudinal (t.f)	Transversal (t.f)	Longitudinal (t.f)	Transversal (t.f)
Mason 1982	5.109	16.970	10.352	0.613
NBR 9782	5.644	18.747	20.172	0.277
UFC 2005	2.969	12.959	4.686	3.310
Média	4.574	16.226	11.737	1.400

Nos estudos realizados, encontrou-se os esforços na longitudinal e na transversal para ângulos entre 0° até 90° e com condições de velocidade de vento e corrente fixas, a fim de conhecer o comportamento do sistema. Vale ressaltar que as tabelas acima representam a condição mais crítica em que os esforços podem provocar no sistema do Porto CECMA, dessa forma foi considerado que o esforço máximo transversal provocado pelo vento está no sentido perpendicular da linha de centro (90°), enquanto o de corrente considerou uma inclinação do cais em (5°) em relação em linha de centro. Nos esforços longitudinais, tanto vento como corrente foram considerados na linha de centro (0°).

3.1.2 POITAS

Para o dimensionamento das poitas os principais fatores que devem ser considerados nesse dimensionamento são:

- Propriedades do solo
- Tipo e tamanho da área de contato com o solo
- Direção da tensão do cabo/amarra
- Declividade do terreno.
- Recomenda-se que a altura da poita corresponda a 1/4 do seu comprimento, pois essa proporção facilita a instalação e dificulta a rolagem.

Na falta de dados mais precisos do solo na região do terminal e do ângulo da força de tensão do cabo com a poita, foi utilizado um fator de segurança para correção do peso da poita assim como para a estimativa do comprimento da catenária. A tabela a seguir apresentação a posição geográfica de cada poita que pertence ao Porto CECMA, com seu respectivo tipo de linha de amarração, diâmetro da linha, comprimento da catenária, peso submerso e por fim as características do equipamento de fundeio.

Tabela 4: Peso das Poitas e Comprimento das Linhas – Porto CECMA

Linha	LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)	Linha	φ [mm]	Lo (m)	Peso Submerso Poita (t)	Equip. Fundeio	Freio (t.f)	Tração (t.f)
P01	9658350.79 N	824376.31 E	Cabo de Aço	35,00	160,00	25,00	Guincho	100,00	20,00
P02	9658414.83 N	824240.25 E	Cabo de Aço	35,00	160,00	25,00	Guincho	100,00	20,00
P03	9658592.74 N	824304.61 E	Cabo de Aço	35,00	160,00	25,00	Guincho	100,00	20,00
P04	9658525.22 N	824442.76 E	Cabo de Aço	35,00	160,00	25,00	Guincho	100,00	20,00

3.1.3 GUINCHOS

Devem ser utilizados guinchos manuais com capacidade de 20,00 t de freio e capacidade de tração de 100,00 t.f, e tambor com capacidade de 150,00 metros. Guinchos com características semelhantes ou superiores ao mencionado poderão ser utilizados.

Tabela 5: Requisitos mínimos dos guinchos – Porto CECMA

Linha	Guincho	
	Cap. Freio	Cap. Tração
P01	100,00 t.f	20,00 t.f
P02	100,00 t.f	20,00 t.f
P03	100,00 t.f	20,00 t.f
P04	100,00 t.f	20,00 t.f

O Porto CECMA deverá possuir as poitas e as linhas acima a fim de suportar os esforços decorrentes das condições ambientais de sua localização. Este estudo contemplou apenas o sistema de ancoragem do Porto CECMA, portanto, para eventuais mudanças na configuração do projeto deverão ser realizados novos cálculos.

Em resumo, no Porto CECMA deverão existir 04 guinchos com 20,00 t.f de tração, 04 poitas de 25,00 t.f de peso submerso, conforme as especificações da Tabela 4, buzinas, cabos de aço galvanizado de 35.00 mm. As quantidades e especificações dos materiais podem ser encontradas em Anexo nos planos e no arquivo de “ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA”.

3.2 DIMENSIONAMENTO – BELÉM E POLO AMAZÔNIA

As características das balsas Belém e Polo Amazônia e dos navios que irão atracar seguem abaixo:

MÓDULO – BELÉM / POLO AMAZÔNIA

Comprimento Total	64.000 m
Comprimento entre PP	64.000 m
Boca Máxima	12.400 m
Pontal a Moldado	1.7000 m
Calado Máx. Estimado	0.800 m

EMPURRADOR TÍPICO 1 à 8

Comprimento Total	13.500 m
Boca Moldada	5.000 m
Calado Máx.	1.280 m
Área Véllica Lat.	95.740 m ²
Área Véllica Frontal	29.300 m ²

BALSA DE CARGA GERAL 1 e 2

Comprimento Total	32.000 m
Boca Moldada	9.000 m
Calado Máx.	1.460 m
Área Véllica Lat.	48.905 m ²
Área Véllica Frontal	27.340 m ²

3.2.1 FORÇAS ATUANTES NO SISTEMA

A seguir serão apresentados os esforços atuantes na condição ambiental mais crítica em Belém/Polo Amazonia + Embarcações atracados por Bombordo e Boreste.

Tabela 6: Condições Ambientais mais críticas consideradas

Condições Ambientais Transversal		Condições Ambientais Longitudinal	
V. Corrente	3 nós	V. Corrente	3 nós
θ da Corrente	5°	θ da Corrente	0°
V. Vento	80 km/h	V. Vento	80 km/h
θ do Vento	90°	θ do Vento	0°

Tabela 7: Esforços máximos encontrados – Belém/Polo Amazônia

Método	Vento		Corrente	
	Longitudinal (t.f)	Transversal (t.f)	Longitudinal (t.f)	Transversal (t.f)
Mason 1982	9.246	23.268	18.538	34.474
NBR 9782	10.215	25.704	26.203	12.044
UFC 2005	5.373	17.768	6.742	27.262
Média	8.278	22.247	17.161	24.593

Nos estudos realizados, encontrou-se os esforços na longitudinal e na transversal para ângulos entre 0° até 90° e com condições de velocidade de vento e corrente fixas, a fim de conhecer o comportamento do sistema. Vale ressaltar que as tabelas acima representam a condição mais crítica em que os esforços podem provocar no sistema com as balsas Belém/Polo Amazonia, juntamente com os empurradores e balsas da CECMA, dessa forma foi considerado que o esforço máximo transversal provocado pelo vento está no sentido perpendicular da linha de centro (90°), enquanto o de corrente considerou uma inclinação do cais em (5°) em relação em linha de centro. Nos esforços longitudinais, tanto vento como corrente foram considerados na linha de centro (0°).

3.2.2 MORTOS

A tabela a seguir apresentação a posição geográfica das poitas que serão fixadas na balsa Polo Amazônia, com sua respectiva de linha de amarração, diâmetro da linha, comprimento da catenária, peso submerso e por fim as características do equipamento de fundeio.

Tabela 8: Peso dos Mortos e Comprimento das Linhas – Polo Amazônia

Linha	LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)	Linha	ϕ [mm]	Lo (m)	Peso Mortos (t)	Equip. Fundeio	Freio (t.f)	Tração (t.f)
P05	9658601.60 N	824356.43 E	Cabo de Aço	35,00	160,00	22,00	Guincho	100,00	20,00
P06	9658574.99 N	824430.11 E	Cabo de Aço	35,00	160,00	22,00	Guincho	100,00	20,00

3.2.3 GUINCHOS

Devem ser utilizados guinchos manuais com capacidade de 20,00 t de freio e capacidade de tração de 100,00 t.f, e tambor com capacidade de 150,00 metros. Guinchos com características semelhantes ou superiores ao mencionado poderão ser utilizados também.

Tabela 6: Requisitos mínimos dos guinchos – Porto CECMA

Linha	Guincho	
	Cap. Freio	Cap. Tração
P05	100,00 t.f	20,00 t.f
P06	100,00 t.f	20,00 t.f

A balsa Polo Amazônia deverá possuir as poitas e as linhas acima a fim de suportar os esforços decorrentes das condições ambientais de sua localização. Este estudo contemplou apenas o sistema de ancoragem das balsas Belém/Polo Amazônia, portanto, para eventuais mudanças na configuração do projeto deverão ser realizados novos cálculos.

Em resumo, na balsa Polo Amazônia deverão existir 02 guinchos com 20,00 t.f de tração, 02 mortos de 22,00 t.f de peso, conforme as especificações da Tabela 8, buzinas e cabos de aço galvanizado de 35.00 mm. As quantidades e especificações dos materiais podem ser encontradas em Anexo nos planos e no arquivo de “ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA”.

4 CÁLCULO DAS AÇÕES DE ATRACAÇÃO

Nos estudos relacionados com energia de atracação, conforme Alfredini & Arasaki (2013), o impacto da embarcação contra a estrutura de atracação, em uma primeira etapa, transmite parte da energia cinética de seu movimento de aproximação à obra, transformada em energia potencial de deformação das defensas e das estruturas, atingindo-se uma deformação máxima e um esforço correspondente que deve ser

absorvido pela estrutura de atracação, situação primordial para o projeto da estrutura de atracação.

Desta forma, conforme a Norma Brasileira NBR n° 9782/87, a energia cinética característica transmitida pelo navio na atracação é determinada pela equação a seguir:

$$E_C = 0,5(M_1 + M_2).V^2.C_e.C_r \quad (11)$$

Onde,

E_C = Energia característica nominal;

M_1 = Massa total deslocada pelo navio;

M_2 = Massa de água adicional;

V = Velocidade de aproximação do navio perpendicularmente à linha de atracação;

C_e = Coeficiente de Excentricidade;

C_r = Coeficiente de Rigidez;

O valor de M_2 corresponde à massa de água movimentada em um conjunto com o navio de atracação. Para o cálculo da massa de água adicional, considera-se o equivalente ao volume de um cilindro de água de diâmetro igual ao calado do navio nas condições de atracação e o comprimento igual ao comprimento do navio.

$$M_2 = \frac{\pi.T^2}{4} \cdot \frac{L.\gamma_a}{g} \quad (12)$$

Onde,

T = Calado do navio nas condições de atracação;

L = Comprimento do navio;

γ_a = Peso específico da água;

O coeficiente de excentricidade leva em consideração a energia dispendida pelo navio no movimento de rotação:

$$C_e = \frac{r^2}{l^2+r^2} \quad (13)$$

Onde,

T = Calado do navio nas condições de atracação;

L = Comprimento do navio;

γ_a = Peso específico da água;

Conforme a Norma Brasileira NBR nº 9782/87, a velocidade (V) de aproximação dos navios perpendicular à linha de atracação é afetada por uma série de fatores, e podem ser definidos conforme a tabela a seguir:

Condição	Aproximação	Velocidade perpendicular à linha de atracação			
		até	até	até	navios maiores
		1.000 TPB	5.000 TPB	10.000 TPB	
Vento e ondas fortes	Difícil	0,75	0,55	0,40	0,30
Vento e ondas fortes	Favorável	0,60	0,45	0,30	0,20
Ventos e ondas moderadas	Aceitável	0,45	0,35	0,20	0,15
Protegido	Difícil	0,25	0,20	0,15	0,10
Protegido	Favorável	0,20	0,15	0,12	0,10

Figura 9: Valores mínimos da velocidade de aproximação do navio para cálculo da energia de atracação.

As forças perpendiculares oriundas do impacto dos navios podem ser encontradas conforme a Eq. (11), para isso devem ser consideradas as defensas utilizadas no sistema de atracação. Desta forma, a NBR 9782/87 afirma que os valores de cálculo das forças de impacto no estado limitem último devem ser considerados como o maior o valor da força característica majorada pelo coeficiente de ponderação como apresentado na NBR 9782/87. Para o dimensionamento das defensas, este deverá possuir capacidade de absorção de energia característica da atracação E_c . Além disso, para o cálculo das defensas deve ser considerado o efeito da compressão não uniforme. Os resultados a seguir representam a energia de atracação provocada no sistema do Porto CECMA, e nas balsas BELÉM/POLO AMAZÔNIA.

- PORTO CECMA E BELÉM/POLO AMAZÔNIA

Considerando a metodologia proposta acima, foi considerada a maior embarcação tipo que fará atracação no Porto CECMA e nas balsas BELÉM/POLO AMAZÔNIA. Foi selecionado então a balsa JURUÁ, que possui as seguintes características:

- Deslocamento do navio considerado: 356,76 ton;

- Velocidade de aproximação do navio perpendicularmente à linha de atracação: Foi considerado um valor mais conservador para o estudo, portanto optou-se pela utilização de 0,75 m/s para ventos e ondas fortes;
- Massa adicional: Através da Eq. (12), chegou-se em um valor de 5,43 ton;
- Coeficiente de Excentricidade: Obteve-se o valor e 0,91, conforme Eq. (13);
- Coeficiente de Rigidez: O valor deste coeficiente se dá pela parcela de energia absorvida pelo costado do navio. Segundo recomendações do PIANC (2002), é sugerido o valor de 0,9 para defensas rígidas.

Diante das considerações acima, o valor da energia característica transmitida pelo navio durante a atracação foi:

$$E_c = 8,50 \text{ t.f}$$

Alfredini & Arasaki (2013) explicam que para se obter a força de impacto é necessário considerar que ações variáveis podem provocar efeitos desfavoráveis para a segurança da estrutura e, portanto, sugere-se um valor de correção de 1.4 no cálculo da energia cinética característica. Considerando um ângulo de atracação de 5°, assim como as incertezas neste termo, sugere-se um acréscimo de 10% na energia calculada. A energia total encontrada foi:

$$E = 13,09 \text{ t.f}$$

5 CONCLUSÕES

O sistema do arranjo futuro atenderá aos esforços decorrentes das condições ambientais de sua localização, conforme as especificações das poitas e linhas recomendadas no Porto CECMA, e nas balsas Belém/Polo Amazônia. Este estudo contemplou apenas o sistema de amarração e fundeio. Não foi realizado o estudo de qualquer outro sistema nas instalações do Porto CECMA. Para eventuais mudanças na configuração do projeto deverão ser realizados novos cálculos.

Matheus Monteiro Campos
Engenheiro Naval
CREA-AM: 29100

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1.] Gaythwaite, John W. *Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring and Repair of Vessels*. ASCE, 2004.
- [2.] Rocker Jr., Karl (1985). *Handbook for Marine Geotechnical Engineering*. NCEL.
- [3.] Tsinker, Gregory P. (2004). *Port Engineering: Planning, Construction, Maintenance and Security*. John Wiley & Sons.
- [4.] DOD (1999). *Mooring Design*, MIL-HDBK 1026/4A. U.S. Navy, NFESC.
- [5.] Fonseca, M. M. *Arte Naval 7ª Edição*, Serviço de Documentação da Marinha (SDM).
- [6.] Lewis, Edward V. (1988). *Principles of Naval Architecture vol. I e II*, SNAME
- [7.] Khanna, J. and Sorensen, T. *Stand-off force on Ships Moored in Strong Current*. In Proceedings of ASCE, Ports'80, Special Conference, NY
- [8.] Department of Defence of United States of America. (2005) *United Facilities Criteria (UFC) – Design Moorings*
- [9.] Munson, Bruce R. Young, Donald F. Okiishi, Theodore H. *Fundamentos da Mecânica dos Fluidos*, 4ª Edição Editora Edgard Blücher.
- [10.] Diretoria de Portos E Costas da Marinha do Brasil. *NORMAM 02: Embarcações Empregadas na Navegação Interior (2005)*.
- [11.] American Bureau of Shipping - ABS – *Steel Vessels, Part 3, Ch 5*
- [12.] Lamb, T. *Ship Design and Construction Vol. I*, SNAME, 2003
- [13.] United Facilities Criteria (UFC), *Design: Moorings*, Department of Defence of the United States of America, 2005.
- [14.] Companhia Brasil Amarras, *Catalogo de Amarras e Carga de Rupturas*, <http://www.brasilamarras.com/serv/serv.htm>.
- [15.] American Bureau of Shipping (ABS), *Certificate of Classification Marine*.
- [16.] Mason, Jayme. *Obras Portuárias / Jayme Mason*. 2º Ed. – Rio de Janeiro: Campus: 1982.
- [17.] ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 9782:1987 - *Ações em Estruturas Portuárias, Marítimas ou Fluviais*. Rio de Janeiro, 1987.