

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

CAMILA DIAS RODRIGUES

ANÁLISE DOS ESFORÇOS ESTRUTURAIS OCORRIDOS DURANTE O
LANÇAMENTO LONGITUDINAL DE UM NAVIO DA SÉRIE 60

Joinville
2018

CAMILA DIAS RODRIGUES

ANÁLISE DOS ESFORÇOS ESTRUTURAIS OCORRIDOS DURANTE O
LANÇAMENTO LONGITUDINAL DE UM NAVIO DA SÉRIE 60

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Naval do Centro, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval.

Orientador: Dr. Eng. Thiago Pontin Tancredi.

Joinville
2018

ANÁLISE DOS ESFORÇOS ESTRUTURAIS OCORRIDOS DURANTE O
LANÇAMENTO LONGITUDINAL DE UM NAVIO DA SÉRIE 60

CAMILA DIAS RODRIGUES

Esta Monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville, 28 de junho de 2018

Banca Examinadora:

Dr. Eng. Thiago Pontin Tancredi
Orientador/Presidente

Dr. Eng. Rafael Gallina Delatorre
Membro

Dr. Eng. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto
Membro

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais José e Elaine, pelo amor e carinho, e pelo incentivo aos estudos. Gostaria de agradecer por todo o apoio que me deram, juntamente com meu irmão Henrique, ao longo de todo o percurso sempre acreditando em mim.

Ao meu orientador Dr. Thiago Pontin Tancredi, pela inspiração, pelos conselhos, pela paciência do desenvolvimento desse trabalho e por contribuir para minha formação durante esses vários semestres de graduação.

A todos os amigos que fiz durante o período de faculdade, e a equipe de Projeto de Navios: Abigail, Amanda, Euclides, que garantiram momentos de muita alegria, mesmo durante as etapas mais difíceis, tornando-as mais leve.

Ao meu namorado Paulo Henrique, por me incentivar e apoiar, aguentando a pressão junto comigo nos momentos difíceis da construção dos nossos trabalhos de conclusão de curso. Sou grata por sua compreensão nos últimos anos, e por me fazer rir e me alegrar quando precisei.

RESUMO

Um dos momentos críticos da construção de uma embarcação em carreiras consiste no lançamento do navio. Os esforços estruturais aos quais o casco pode ser submetido durante essa operação são diferentes daqueles sofridos pelo navio durante sua operação. Paradoxalmente poucos são os trabalhos disponíveis sobre o assunto. Assim, este trabalho visa mitigar essa lacuna, apresentando uma análise das forças envolvidas no processo de lançamento longitudinal de uma embarcação em função do ângulo da carreira, bem como os esforços sofridos pela estrutura do casco. A metodologia utilizada consiste de uma análise numérica simulada por meio do desenvolvimento de uma planilha eletrônica, na qual o peso do casco e a flutuação são discretizadas, determinando-se a curva de carga ao longo do comprimento do navio. A partir da curva de carga, determinam-se as curvas de força cortante e momento fletor ao longo do comprimento; as quais definem os esforços cuja estrutura estará sujeita. A análise é realizada em um processo quase-estático, considerando diferentes posições ocorridas ao longo do lançamento. A metodologia desenvolvida foi aplicada na análise de um navio da série 60, considerando o lançamento em diferentes inclinações de carreira, sendo $2,3^\circ$, $2,7^\circ$ e $3,2^\circ$. Como resultado principal, observou-se que, durante o lançamento, o momento fletor apresentou valores até 67,5% superiores aos observados para a condição de equilíbrio em águas calmas. Por fim, esses valores são comparados à aqueles definidos pela norma DNV para uma embarcação desse porte, os quais são utilizados no projeto da secção mestra.

Palavras-chaves: Lançamento. Esforços. Estrutura.

ABSTRACT

One of the critical moments of a ship construction is the vessel's launching. The structural stresses which the hull might be subjected to in the launching operation are different from those experienced while sailing. Paradoxically, there are few works available on the subject. Thus, this work aims to mitigate this gap by presenting an analysis of the forces involved in the end-launching process of a vessel as a function of the launching ways angle; as well as the stresses suffered by the hull structure. The methodology used consists of a simulated numerical analysis by means of the development of a spreadsheet, in which the hull weight and the flotation are discretized, determining the load curve along the length of the ship. From the load curve, the curves of shear force and bending moment along the length are determined; which define the efforts that the structure will be subject to. The analysis is performed in a quasi-static process, considering different positions that occurred during the launch. The methodology developed was applied in the analysis of a series 60 vessel, considering the launch in different career inclinations, such as $2,3^\circ$, $2,7^\circ$ and $3,2^\circ$. As a main result, it was observed that during the launch, the bending moment presented values up to 67,5% higher than those observed for the equilibrium condition in still water. Finally, these values are compared to those defined by DNV's standard for a vessel of this size, which are used in the mid-ship section design.

Key-words: Launch. Efforts. Structure.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Lançamentos: Gravitacional Longitudinal de Popa (a), Gravitacional Lateral (b), Flutuante (c), Mecânico (d).	12
Figura 2 - Forças Atuantes no Navio Durante o Lançamento.	17
Figura 3 – Despenhamento.	18
Figura 4 - Curvas Típicas de Lançamento.	20
Figura 5 – Típicos diagramas de carregamento, força cortante e momento fletor. ...	22
Figura 6 – Fluxograma de procedimentos realizados.....	24
Figura 7 – Casco da série 60 modelado pelo autor.....	27
Figura 8 – Diagrama de força cortante para condição de equilíbrio.	31
Figura 9 – Diagrama de momento fletor para condição de equilíbrio.	31
Figura 10 – Comparação com momento fletor pela norma.	32
Figura 11 – Modelo de carreira de lançamento.....	33
Figura 12 – Posições de lançamento para carreira de 3,2° de inclinação.....	33
Figura 13 – Sistema de referências para os cálculos de lançamento.....	35
Figura 14 – Diagrama de lançamento para carreira de 2,3° de inclinação.....	37
Figura 15 - Diagrama de lançamento para carreira de 2,7° de inclinação.....	37
Figura 16 - Diagrama de lançamento para carreira de 3,2° de inclinação.....	37
Figura 17 – Curva de distribuição de pesos.....	38
Figura 18 – Curvas de força normal em carreira de 2,3° de inclinação.....	39
Figura 19 - Curvas de força normal em carreira de 2,7° de inclinação.....	39
Figura 20 - Curvas de força normal em carreira de 3,2° de inclinação.....	40
Figura 21 – Curvas de flutuação e centro de flutuação para carreira de 2,3° de inclinação.....	41
Figura 22 - Curvas de flutuação e centro de flutuação para carreira de 2,7° de inclinação.....	41
Figura 23 - Curvas de flutuação e centro de flutuação para carreira de 3,2° de inclinação.....	41
Figura 24 – Curvas de distribuição da flutuação para carreira de 2,3° de inclinação.....	42
Figura 25 - Curvas de distribuição da flutuação para carreira de 2,7° de inclinação.....	43
Figura 26 - Curvas de distribuição da flutuação para carreira de 3,2° de inclinação.....	43
Figura 27 – Curvas de distribuição de carga para carreira de 2,3° de inclinação.....	44
Figura 28 - Curvas de distribuição de carga para carreira de 2,7° de inclinação.....	45

Figura 29 - Curvas de distribuição de carga para carreira de 3,2° de inclinação	45
Figura 30 – Analogia entre viga engastada e navio na carreira de lançamento.....	46
Figura 31 – Diagrama de forças cortantes para carreira de 2,3° de inclinação	47
Figura 32 - Diagrama de forças cortantes para carreira de 2,7° de inclinação.....	47
Figura 33 - Diagrama de forças cortantes para carreira de 3,2° de inclinação.....	48
Figura 34 – Curvas de momento fletor para carreira de 2,3° de inclinação.....	48
Figura 35 - Curvas de momento fletor para carreira de 2,7° de inclinação	49
Figura 36 - Curvas de momento fletor para carreira de 3,2° de inclinação	49
Figura 37 – Modelo de verificação	50
Figura 38 – Curva de flutuação do modelo de verificação	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de cotas do modelo 4212W da série 60.	26
Tabela 2 – Comparação das dimensões entre os cascos de referência e do autor ..	28
Tabela 3 – Levantamento de navios semelhantes	29
Tabela 4 - Porcentagem de vários grupos de pesos em relação ao LWT	30
Tabela 5 – Distribuição dos pesos	30
Tabela 6 - Cálculos de lançamento.	36
Tabela 7 – Tabela comparativa dos dados de entrada do volume submerso.	51
Tabela 8 - Posição de início da rotação.	53
Tabela 9 – Comparação da máxima força cortante.....	54
Tabela 10 – Comparação dos máximos momentos fletores.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Distância entre o fim da carreira e o centro de gravidade	[m]
B	Força de flutuação	[t]
β	Boca	[m]
C _b	Coefficiente de bloco	
D	Pontal	[m]
Δ	Deslocamento	[t]
DWT	Capacidade de carga do navio	[t]
L	Comprimento	[m]
LCB	Centro longitudinal de flutuação	[m]
LCG	Centro longitudinal de gravidade	[m]
Loa	Comprimento total do navio	[m]
L _{pp}	Comprimento entre perpendiculares	[m]
L _{wl}	Comprimento na linha d'água	[m]
LWT	Peso leve do navio	[t]
L ₂	Comprimento do berço a vante	[m]
λ	Comprimento submerso da carreira	[m]
M _B	Momento de impulsão em relação ao pródigo de vante	[t.m]
M _{B'}	Momento de impulsão em relação ao extremo da carreira	[t.m]
M _w	Momento de peso em relação ao pródigo de vante	[t.m]
M _{w'}	Momento de peso em relação ao extremo da carreira	[t.m]
N	Força normal	[t]
ρ	Massa específica	[t/m ³]
T	Calado	[m]
V	Volume submerso	[m ³]
W	Força peso	[t]
wl	Linha d'água	
x	Distância entre centro de gravidade e centro de flutuação	[m]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	LANÇAMENTO DE NAVIOS	16
2.2	LANÇAMENTO DE POPA EM CARREIRA LONGITUDINAL	17
2.3	MODELO DE ANÁLISE PARA O LANÇAMENTO LONGITUDINAL	19
2.4	SÉRIE 60	20
2.5	ANÁLISE ESTRUTURAL	21
2.4	PESQUISAS RELACIONADAS	23
3	METODOLOGIA	24
4	DESENVOLVIMENTO	26
4.1	MODELAGEM DO CASCO	26
4.2	ESTIMATIVA E DISTRIBUIÇÃO DOS PESOS	28
4.3	CONDIÇÃO DE MAR CALMO E DIMENSIONAMENTO PELA NORMA	30
4.4	SIMULAÇÃO DO LANÇAMENTO	32
5	RESULTADOS	35
5.1	DIAGRAMAS DE LANÇAMENTO	35
5.2	CURVA DE PESO	38
5.3	FORÇA EXERCIDA PELA CARREIRA	38
5.4	FLUTUAÇÃO	40
5.5	CARREGAMENTO DA VIGA-NAVIO	43
5.6	FORÇA CORTANTE	45
5.7	MOMENTO FLETOR	48
5.8	VERIFICAÇÃO	49

6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	53
7	CONCLUSÕES	56
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
	REFERÊNCIAS.....	58
	APÊNDICE A - TABELA DE COTAS ESCALONADA.....	60

1 INTRODUÇÃO

O lançamento de um navio é o momento que marca o primeiro mergulho do casco na água. Mesmo que a embarcação ainda não esteja completamente pronta para o serviço, esse é um momento de extrema importância e costuma ser celebrado com o batismo do navio.

O lançamento é o processo de transferir o navio em construção da terra para a água. Existem diversas formas para que essa transferência seja executada. Tradicionalmente os lançamentos tem ocorrido por quatro diferentes métodos: lançamentos gravitacionais (longitudinal e lateral), flutuantes e mecânico, conforme Figura 1.

Figura 1 - Lançamentos: Gravitacional Longitudinal de Popa (a), Gravitacional Lateral (b), Flutuante (c), Mecânico (d).



Fonte: Brown (2017); Wagenborg (2014); Holland America Line (2010); Mercator Media (2013).

Embora muitos estaleiros atualmente utilizem maneiras mais modernas de transferir o navio para a água, com diques secos ou flutuantes, ou até mesmo elevadores; o lançamento de forma tradicional, pelo escorregamento da embarcação em um plano inclinado utilizando seu peso próprio, ainda é amplamente utilizado.

Seja qual for o método escolhido, é necessário que o casco esteja suficientemente pronto para que esse possua flutuação e estabilidade quando colocado na água, e que as partes submersas estejam concluídas antes do lançamento.

O grau de acabamento da embarcação no momento do lançamento pode variar entre 60 e 90%, porém essa decisão depende mais de motivos práticos do que razões técnicas (MANNING; GUERRA, 1962). Em geral essa decisão depende do número de encomendas do estaleiro, bem como da área disponível para o acabamento das embarcações.

É importante ressaltar que essa decisão não deve ser confundida com o grau de acabamento com que os blocos chegam a carreira. O grau de acabamento dos blocos ao serem edificados guarda estreita ligação com a qualidade e eficiência da construção; sendo um dos itens que determina o nível tecnológico do estaleiro. O processo de construção de um navio em blocos foge ao escopo desse trabalho, no entanto, é fartamente disponível na literatura como (EYRES, 2007; LAMB, 2004).

De todos os processos que envolvem a construção de um navio, o momento do lançamento é tido como um dos mais críticos e com potencial risco de danos à estrutura da embarcação (ANDREWS, 1983). Sendo assim, consiste em uma operação que exige muitos cálculos e preparação.

Apesar de ser um problema naturalmente dinâmico, a maioria dos cálculos e estudos são feitos do ponto de vista quasi-estático, o que garante grande simplificação do problema, mas que também pode levar a perigosos erros, já que os esforços aos quais o navio é submetido durante o lançamento podem estar subestimados e causar danos à sua estrutura, o que justifica o estudo mais cuidadoso da situação (GORDO, 2005).

Durante o lançamento de popa em carreira longitudinal, conforme o navio avança para dentro d'água, ocorre o aumento da flutuação na popa até o ponto em que ocorre sua elevação, ou seja, a embarcação é parcialmente suportada pela flutuação e em partes ainda estará em contato com a carreira. Nesse instante surge um momento causado pela tendência de giro em direção à proa do navio. Dependendo

da geometria e das condições de carga, esse momento pode provocar severos danos a estrutura do casco.

No entanto, podem ser projetados suportes de pressão para aliviar essa ação de giro e evitar que maiores esforços sejam transferidos à estrutura da embarcação (EYRES, 2007).

Este trabalho segue nessa linha, apresentando a modelagem do fenômeno e realizando análises visando a melhor compreensão dos fenômenos envolvidos, possibilitando antecipar possíveis falhas das estruturas e aprimorar os processos de lançamento longitudinal a fim de evitar danos.

A análise dos esforços estruturais atuantes na viga navio, tais como força cortante e momento fletor, será feita considerando-se modelos de referência da série 60, simulando embarcações mercantes convencionais.

O uso de modelos da série 60 deve-se ao fato de tratarem-se de cascos padronizados que passaram por diversos estudos e análises de validação, tornando o estudo mais confiável. Com esse estudo de caso, pretende-se compreender como as dimensões e relações geométricas de uma embarcação, tais como L/β e β/T , influenciam nas forças e momentos que a estrutura deverá suportar mesmo antes de entrar em operação, e quais as possíveis consequências para a estrutura durante o processo de lançamento.

As análises realizadas neste trabalho utilizam a teoria de vigas fazendo o uso de abordagem analítica, cujos esforços são avaliados para cada modelo de navio proposto, considerando diferentes instantes de tempo durante o lançamento. Para as análises são utilizadas planilhas de cálculos e comparações gráficas dos resultados realizadas no programa Excel.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estimar, a partir de cálculos analíticos, as forças cortantes e momentos fletores presentes durante o lançamento longitudinal de um navio da série 60 em carreiras com diferentes ângulos de inclinação.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado, diversas etapas precisam ser executadas ao longo do trabalho. Entre as principais etapas a serem realizadas destacam-se:

- Compreender os conceitos envolvidos para a proposta deste trabalho;
- Empregar a Série 60 para a modelagem dos cascos das embarcações a serem analisadas;
- Calcular os parâmetros do lançamento em carreira longitudinal;
- Desenvolver uma ferramenta de análise que permita determinar o comportamento da embarcação durante o processo de lançamento longitudinal;
- Determinar os valores de forças cortantes e momentos fletores presentes durante os diferentes casos analisados;
- Avaliar e discutir os resultados obtidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são descritas as principais referências bibliográficas e fundamentos teóricos pertinentes ao entendimento e construção deste trabalho. Também são apresentados os métodos e ferramentas que são utilizados para o desenvolvimento proposto.

2.1 LANÇAMENTO DE NAVIOS

Conforme mencionado na introdução, existem diversas formas de transferir um navio que está em processo de construção para a água, desde que este já esteja em processo suficientemente avançado e possa flutuar. Tradicionalmente os lançamentos tem ocorrido por quatro diferentes métodos:

a) Lançamento Longitudinal: neste método o navio é liberado e desliza longitudinalmente da carreira até a água por ação da gravidade, O lançamento de popa é mais comumente utilizado, embora também possa ser feito a partir da proa (EYRES, 2007). Diversas variações do apoio do navio podem ser usadas. O uso de lâminas oleadas é uma das formas mais antigas e ainda usadas, embora apresente a desvantagem de o óleo usado contaminar a água. Outra possibilidade consiste no uso de roletes de aço, proporcionando menor atrito durante o lançamento. Recentemente alguns lançamentos passaram a utilizar airbags, que é uma técnica inovadora e mais segura (KANTHARIA, 2017).

b) Lançamento Lateral: consiste em outra variação do lançamento gravitacional, frequentemente usado em estaleiros localizados à beira de rios ou canais estreitos. Nessa abordagem, o navio é deslizado com a quilha da embarcação se deslocando paralelamente a água. (ANDREWS,1983).

c) Lançamento mecânico: consiste em plataformas que funcionam como elevadores capazes de abaixar o navio na água até que o mesmo possa flutuar. A plataforma é controlada mecânica ou hidráulicamente e geralmente possui elementos que auxiliam a movimentação da embarcação para fora da plataforma (EYRES, 2007).

d) Lançamento tipo Flutuante: usado quando o navio é construído em docas secas ou diques flutuantes, para o lançamento esses locais são inundados de água e o navio começa a flutuar (EYRES,2007). É considerado um procedimento simples, eficaz e seguro, apesar de apresentar um custo inicial bastante elevado (KANTHARIA, 2017).

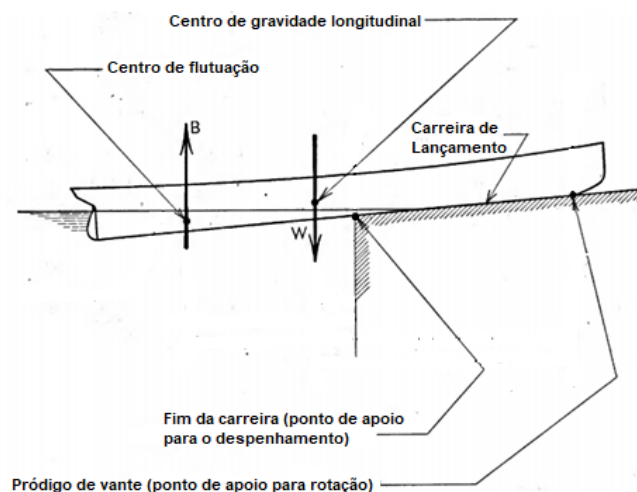
O tipo e o tamanho da embarcação podem ser determinantes para a decisão do tipo de lançamento, além das características do canal em que o navio será lançado.

2.2 LANÇAMENTO DE POPA EM CARREIRA LONGITUDINAL

Durante o lançamento de um navio em uma carreira longitudinal podem ser observadas quatro fases no processo, e que, segundo Gordo (2005), podem ser assim divididas: deslizamento do navio ainda em terra, entrada da embarcação na água até o início da rotação, do início da rotação até a flutuação do navio, e por fim, o percurso de flutuação até a parada completa do navio.

Para os cálculos de lançamento, algumas estimativas precisam ser realizadas. O peso é uma das parcelas mais importantes para esses cálculos, já que o navio irá escorregar para dentro d'água por ação da gravidade. Para fins de cálculo, considera-se o peso no lançamento entre 80 a 90% do peso final da embarcação (ANDREWS, 1983). Outras considerações importantes são o centro de gravidade, e centro de flutuação durante o lançamento, além das forças peso (W) e empuxo (B). Algumas dessas variáveis são representadas na Figura 2.

Figura 2 - Forças Atuantes no Navio Durante o Lançamento.



Fonte: Adaptado de Carmichael (1919).

É importante observar que ao entrar na água, uma força de flutuação passa atuar sobre o casco e conseqüentemente o mesmo começa a flutuar e desprender-se do fundo da carreira de construção.

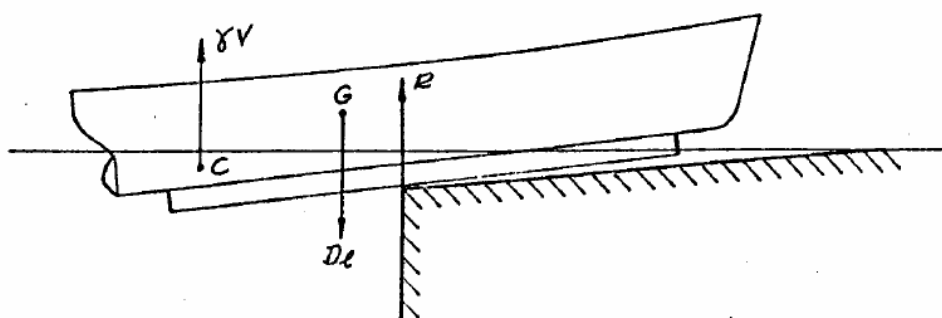
O berço de lançamento deve ser projetado para suportar essa pressão, no entanto essa carga deve ser distribuída em uma área suficiente a evitar pressão demasiada que possa também danificar a proa e outras estruturas do casco (ANDREWS, 1983).

A rotação é um dos fenômenos que ocorrem durante o lançamento, onde a flutuabilidade da porção posterior do navio se torna grande o suficiente para levantar a popa, fazendo com que o navio gire sobre sua extremidade dianteira.

Outros fenômenos que podem acontecer durante o lançamento, e que devem ser evitados são o despenhamento e a saudação.

O despenhamento (Figura 3) ocorre quando o comprimento imerso da carreira não é adequado e o centro de gravidade ultrapassa o final da carreira antes que o navio ganhe flutuação suficiente, desenvolvendo uma sequência de eventos: afundamento brusco da popa, rápido ganho de flutuabilidade, impulsão da popa. Durante esse movimento a proa do navio pode bater contra a carreira, no fenômeno conhecido como saudação, provocando o esmagamento da própria carreira, do berço, e deformações no casco da embarcação (GORDO, 2005).

Figura 3 – Despenhamento.



Fonte: Gordo (2005).

A saudação é também observada se a altura da água no extremo da carreira for inferior a soma do calado à vante com a altura do berço de lançamento, isso pode ocorrer em caso de baixa da maré, por exemplo. Segundo Gordo (2005), a probabilidade de o navio bater no fundo durante a saudação é tanto maior, quanto

mais baixo for o nível da água sobre a extremidade da carreira. Algumas carreiras têm sua extremidade cavada, para evitar que a proa do navio bata contra a carreira, caso ocorra a saudação.

É importante observar que uma vez que o navio deixou a carreira, o problema estrutural se transforma em um problema dinâmico de oscilação, fugindo ao escopo desse trabalho.

2.3 MODELO DE ANÁLISE PARA O LANÇAMENTO LONGITUDINAL

Para que se possa fazer uma previsão do comportamento do navio durante o lançamento é preciso conhecer diversas características do projeto, tais como:

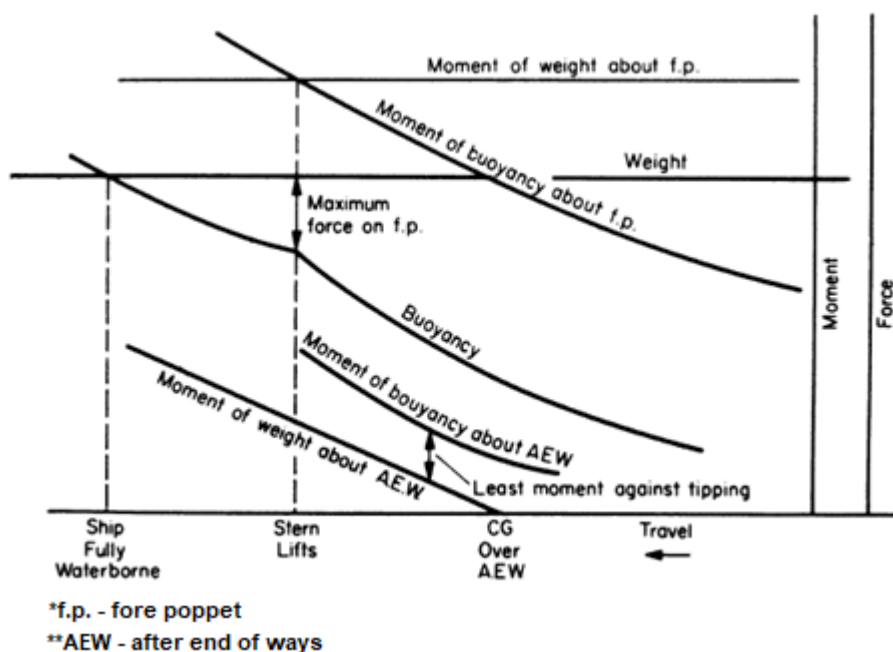
a) Estimativa de pesos a bordo: um dos primeiros passos para os cálculos é a estimativa dos pesos a bordo no momento de lançamento (ANDREWS, 1983). A estimativa do peso leve do navio geralmente é feita pela comparação com navios semelhantes ao que está sendo construído. Para a estimativa dos diversos grupos de peso, Schneekluth e Bertram (1998) sugere taxas percentuais relativas ao peso leve da embarcação, que variam em função do tipo e porte da embarcação. Deve-se considerar ainda que nem todos os equipamentos estarão instalados no momento do lançamento.

b) Centro de gravidade: a estimativa do centro de gravidade longitudinal e vertical é uma importante consideração para os cálculos de rotação, pressão e trim do navio durante o lançamento. A posição vertical do centro de gravidade também é fundamental para os cálculos de estabilidade durante e depois do lançamento (ANDREWS, 1983).

c) Flutuação durante o lançamento: é preciso calcular os diferentes calados em diferentes posições durante o trajeto de lançamento. As curvas de flutuabilidade e de distância do centro de flutuação podem ser obtidas a partir das curvas de Bonjean, assim os calados entre a perpendicular de popa e as linhas d'água poderão ser identificados.

Um conjunto de seis curvas devem ser preparadas conforme equacionamento que será mostrado no capítulo 3.3, de acordo com Rawson e Tupper (2001) são: peso, flutuação; momento de peso sobre o berço; momento de flutuação sobre o berço; momento de peso após o fim da carreira; momento de flutuação após o fim da carreira; conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Curvas Típicas de Lançamento.



Fonte: Rawson e Tupper (2001).

A análise dessas curvas fornece informações importantes como o ponto em que os momentos de peso e flutuação sobre o berço são iguais ocasionando a elevação da popa, e a diferença entre o peso e flutuação na posição de elevação da popa, o qual indica a máxima força sobre o berço (RAWSON; TUPPER, 2001).

2.4 SÉRIE 60

As séries sistemáticas são um conjunto de estudos e experimentos realizados com modelos de cascos em escala, que fornecem resultados confiáveis para estimativas de parâmetros geométricos e da resistência ao avanço de novos projetos. A utilização de séries em novos cascos torna o processo mais rápido, barato e confiável, visto que não é necessário a realização de ensaios nas fases iniciais de projeto.

Entre as séries existentes, a série 60 é umas das mais tradicionais disponíveis na literatura, e que segundo Todd (1963) teve seus experimentos iniciados em 1948 no David Taylor Model Basin, nos Estados Unidos. Os estudos foram compilados em um único volume, conforme o avanço dos mesmos, mas desde os primeiros experimentos a série apresentou um bom embasamento para os projetos

preliminares, e assim tornou-se uma das séries de maior relevância para o projeto de navios convencionais.

De acordo com Toda et al. (1988) as geometrias de cascos geradas pela série 60 foram concebidas para fornecer informações sistemáticas do projeto de linhas de cascos de navios mercantes de um propulsor.

Visto que o presente trabalho tem como proposta analisar como a geometria do navio irá influenciar os esforços sofridos pelo casco durante o lançamento, e que os cascos gerados pela série tem uma geometria bastante conhecida e difundida, a análise do mesmo se mostra bastante adequada aos objetivos propostos.

2.5 ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise estrutural dos esforços globais de uma embarcação comumente é realizada utilizando-se a Teoria Simples de Vigas. Essa abordagem deve-se ao fato de que as características geométricas dos navios de grande porte se assemelham à uma viga de seção celular, com as “estruturas de fundo e convés constituindo os flanges dessa viga e os costados as almas” (MANNING; GUERRA, 1962, p.211). Assim é assumido que a “viga-navio”, como passa a ser chamado o navio nessa teoria, sofra deflexão apenas na direção do eixo longitudinal da embarcação.

Segundo Tancredi (2004), a Teoria Simples de Viga passa a não mais não fornecer resultados satisfatórios e coerentes para embarcações com coeficientes L/β e L/D menores que oito, deixando de ser confiável para valores inferiores a 5. Pois para esses casos, o comportamento estrutural começa a sofrer influência da deflexão nas demais direções.

Outra consideração refere-se a continuidade da estrutura. Segundo Hughes (2010), a viga navio não deve ter descontinuidades ou abertura. Assim, devem ser considerados na análise de Estrutura Primária os materiais que forem contínuos por mais de $2/3$ do comprimento da embarcação. Elementos com comprimento inferior a esta proporção tem curvatura de deflexão muito menores à da viga-navio, não contribuindo com a rigidez da mesma (TANCREDI, 2004).

Segundo Rawson e Tupper (2001) pode-se admitir que as forças mais intensas agindo sobre uma embarcação origina-se de duas principais fontes: força-peso e pressão da água; sendo assim ignorados os carregamentos dinâmicos provindos do movimento e interação com a água.

Definidas as forças que agem sobre a viga-navio, é possível estabelecer uma situação de equilíbrio estático, onde a curva de carga é resultado da diferença entre os diagramas de peso e flutuação, ao longo do comprimento da embarcação. A partir da integração da curva de carga, obtém-se a curva de forças cortantes e, por fim, a curva de momentos fletores ao longo da estrutura, como na Equação 1, (RAWSON; TUPPER, 2001):

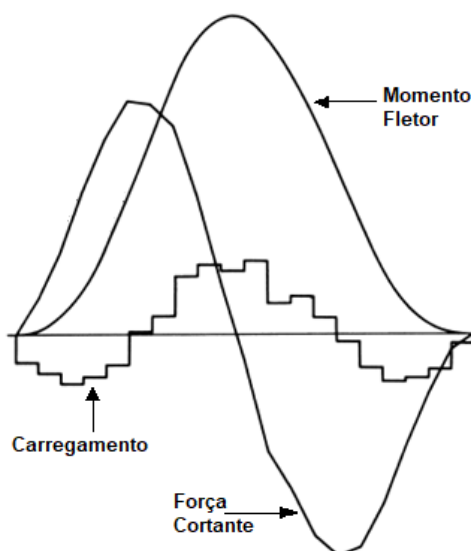
$$c(x) = \frac{dQ}{dx} = \frac{d^2M}{dx^2} \quad (1)$$

Onde

- c - Carregamento por unidade de comprimento.
- Q - Força cortante na viga-navio.
- M - Momento fletor na viga-navio.
- x Posição ao longo da viga-navio.

Na Figura 5 são mostrados os típicos diagramas de carregamento, força cortante e momento fletor em um navio.

Figura 5 – Típicos diagramas de carregamento, força cortante e momento fletor.



Fonte: Adaptado de Rawson e Tupper (2001).

É importante observar que, em se tratando de uma viga livre-livre (não vinculada), o equilíbrio da viga-navio se dá quando duas condições são satisfeitas. A primeira refere-se ao equilíbrio entre peso e flutuação que devem ser precisamente iguais. A segunda, tem relação com a posição longitudinal do centro de gravidade

(LCG) e a posição longitudinal do centro de flutuação (LCB), os quais devem pertencer ao mesmo eixo vertical do navio (TANCREDI, 2004).

2.4 PESQUISAS RELACIONADAS

Diversas pesquisas sobre o lançamento de embarcações podem ser encontradas na literatura, pois como já citado anteriormente é um evento extremamente importante no início das operações do mesmo. Estes estudos vão desde pequenas embarcações como botes de salvação, aos grandes navios. No entanto, observa-se que esses estudos podem apresentar naturezas distintas. Entre as referências consultadas, destacam-se os trabalhos descritos a seguir.

A pesquisa de Dymarski e Dymarski (2014) faz um estudo de simulação do movimento de um bote de salvação em navios de cruzeiro, encontrando a trajetória, velocidade e acelerações envolvidas durante o lançamento. Enquanto o trabalho de Volenyuk e Rashkovskiy (2017) faz uma comparação dos processos de lançamento longitudinal convencional e os com sistemas de airbags.

Apesar de Volenyuk e Rashkovskiy (2017) fazer uma análise dos diagramas usuais de lançamento do ponto de vista estático dos processos, não foi encontrada uma pesquisa que investigasse os esforços estruturais e guardasse relação com as análises que estão apresentadas neste trabalho.

3 METODOLOGIA

Para a obtenção dos objetivos propostos no estudo, deve-se seguir uma metodologia, que consiste na sequência de procedimentos realizados. O fluxograma na Figura 6 mostra uma síntese desta metodologia.

Figura 6 – Fluxograma de procedimentos realizados



Fonte: Autor (2018).

Conforme o fluxograma que define o processo de projeto (Figura 6), a definição dos objetivos, bem como o estabelecimento do modelo a ser analisado, baseou-se em pesquisa bibliográfica realizada por meio da leitura dos livros clássicos da área como (ANDREWS, 1983; LAMB, 2004), bem como a busca de artigos publicados em congressos e revistas.

Para a pesquisa bibliográfica utilizou-se a Internet, realizando buscas pelo termo “longitudinal launching” e o seu equivalente em português “lançamento longitudinal”.

A seguir, realizou-se a modelagem do casco a ser estudado, utilizando-se superfícies interpoladas a partir da tabela de cotas obtida do plano de linhas de um casco padrão da série 60. Para facilitar a modelagem utilizou-se o programa Rhinoceros.

Os dados necessários para a análise de equilíbrio dividem-se na análise da distribuição de massa e da flutuação ao longo do casco. Para a estimativa dos pesos a bordo do navio no momento do lançamento utilizou-se modelos empíricos obtidos na literatura de referência, implementados em uma planilha Excel. Por fim, a flutuação em cada posição do lançamento foi obtida por meio da análise do volume submerso a cada instante do lançamento, o qual foi calculado no programa de modelagem Rhinoceros.

Por fim os cálculos de equilíbrio, bem como a análise dos esforços envolvidos, foram realizados utilizando-se a Teoria de Viga Simples, e foram realizadas utilizando-se planilhas Excel.

O detalhamento do desenvolvimento realizado será melhor apresentado no capítulo seguinte.

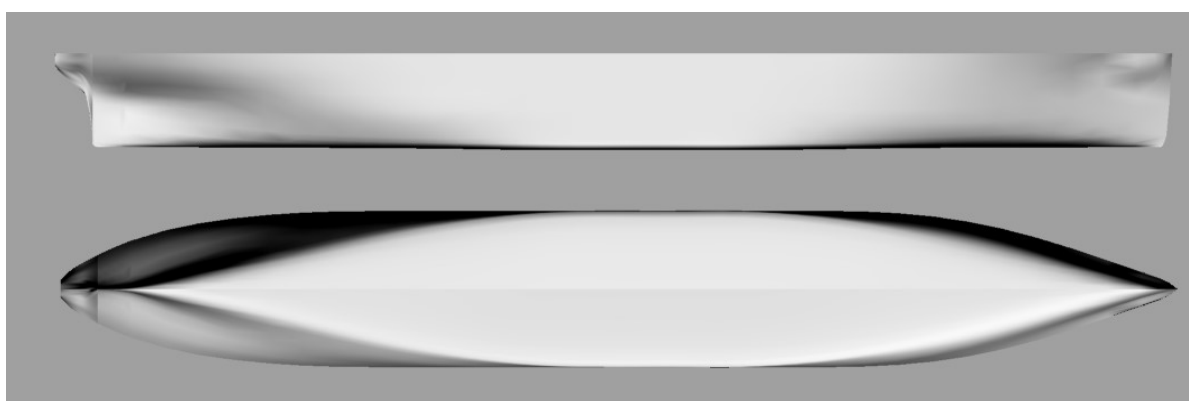
12	0,961	0,978	0,989	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994
13	0,855	0,917	0,958	0,993	1,000	1,000	1,000	1,000	0,977
14	0,705	0,815	0,887	0,957	0,980	0,991	0,998	1,000	0,930
15	0,532	0,675	0,768	0,868	0,927	0,961	0,985	0,998	0,844
16	0,344	0,510	0,605	0,726	0,825	0,897	0,950	0,982	0,713
17	0,186	0,338	0,427	0,533	0,658	0,788	0,881	0,939	0,543
18	0,077	0,192	0,245	0,314	0,425	0,614	0,765	0,854	0,343
18,5	0,042	0,126	0,165	0,207	0,292	0,499	0,680	0,789	0,239
19	0,023	0,070	0,089	0,107	0,164	0,368	0,572	0,704	0,140
19,5	0,014	0,022	0,022	0,024	0,043	0,228	0,444	0,589	0,047
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,089	0,286	0,438	0,005
Meia-boca máx.	0,771	0,926	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	

Fonte: Tood, 1963. Elaborado pelo autor.

Na Tabela 1 a primeira coluna contém a numeração para as balizas, e a segunda os valores da posição dessas mesmas balizas na direção longitudinal do casco. Em seguida as posições de 7 linhas d'água são apresentadas na primeira linha. Por fim a tabela é preenchida com a posição y referente a cada baliza e a cada linha d'água. Todos os valores constantes na tabela devem ser escalonados conforme as dimensões do modelo estudado, tal como apresentado no Apêndice A.

A partir da tabela de cotas escalonada a mesma foi importada para o programa Freeship, o qual, além de ser gratuito, é amplamente utilizado para a modelagem de cascos a partir de uma tabela de cotas. O programa Freeship por sua vez, permite gerar uma malha de pontos interpolados, a qual é exportada para o programa de modelagem 3D Rhinoceros, onde as próximas etapas do estudo são realizadas. O resultado final da modelagem do casco é mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Casco da série 60 modelado pelo autor.



Fonte: Autor (2018).

A seguir, comparam-se as dimensões e coeficientes do casco modelado pelo autor e aqueles pertencentes ao projeto original da série 60 (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação das dimensões entre os cascos de referência e do autor

	4212W (Série 60)	4212W (Autor)	Diferença (%)
Lpp [m]	121,92	121,78	-0,115
Lwl [m]	123,96	123,71	-0,203
β [m]	17,42	17,41	-0,036
T [m]	6,968	6,970	0,033
Δ [t]	10456	10402	-0,516
L/ β	7,000	6,995	-0,079
β /H	2,500	2,498	-0,069
Cb	0,700	0,676	-3,429

Fonte: Autor (2018).

Com a comparação é possível constatar que a diferença das dimensões nos modelos não ultrapassa 3,5%, sendo a maior parte destas, ainda, muito inferior a este valor percentual. Sendo os resultados apresentados quase equivalentes, esse será o modelo utilizado nas análises realizadas.

4.2 ESTIMATIVA E DISTRIBUIÇÃO DOS PESOS

A estimativa do peso, fundamental para os cálculos de lançamento, foram feitas com base em navios semelhantes.

Primeiramente foi estipulado qual o tipo de navio semelhante que se queria adotar. Visto que o casco usado é um modelo da série 60 desenvolvida para navio mercantes, optou-se por buscar navios porta-contêineres para formar essa base de dados. Para essa coleta de dados utilizou-se o site de pesquisa de navios MarineTraffic (2018), no qual buscou-se navios com características geométricas semelhantes ao do modelo que está sendo estudado, chegando aos resultados mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Levantamento de navios semelhantes

Navio	Ano	Loa <i>m</i>	β <i>m</i>	T (proj) <i>M</i>	DWT <i>t</i>
Njord	1995	132,83	18,70	7,3	8001
Kamokuiki	2000	132,23	19,40	5,4	8627
Monte da Guia	1995	126,25	19,40	7,2	8846
Span Asia31	1992	126,63	20,70	7,5	8627
Monte Brasil	1994	126,25	19,40	6,6	8450
Ivan Kapralov	2000	133,00	18,94	5,7	9165
Holandia	2000	133,34	22,90	8,0	9113
Factotum	2003	135,00	15,00	4,2	5819
Romy Trader	1997	132,23	19,20	6,2	7900
Diezeborg	2000	133,41	15,85	6,2	8867
Insular	1997	119,80	20,00	5,1	6700
Nuka Arctica	1995	132,50	24,03	5,2	9556
Sven	1996	121,94	18,20	6,7	6800
Span Asia 27	1991	126,63	20,70	7,3	8627
Elisabeth	2000	118,28	17,90	6,7	6850
Pirita	1995	133,00	18,70	7,6	7946
MC trader	1998	132,48	19,20	4,9	8329
Wec Majorelle	1996	121,83	18,20	6,4	7223
Corina	1990	122,02	18,70	7,5	6350
Iapetes	1999	133,28	22,90	6,6	9113
Hanni	1998	118,31	17,90	6,7	6867
Alasa	1998	121,75	18,20	5,4	7073
Freya	2000	117,90	17,90	5,5	6850
Greetje	1998	118,28	17,90	6,3	6862
Iduna	2007	125,16	21,70	6,1	8820
Média		127	19	6	7895

Fonte: MarineTraffic, 2018. Elaborada pelo autor.

Utilizando o DWT médio encontrado entre as embarcações semelhantes de 7895 toneladas, este será o valor arbitrado para o modelo em análise.

Segundo Labes (2015) o deslocamento do navio é igual a soma do peso morto (DWT) com o peso leve (LWT). Uma vez conhecido o deslocamento, que conforme mostrado na Tabela 2 é $\Delta = 10402t$, o valor do LWT resulta em 2507 toneladas. Conforme já citado anteriormente o peso do navio durante o seu lançamento é de aproximadamente 80% do LWT, ou seja, o peso do modelo durante o lançamento será de 2005 toneladas.

A partir do peso leve, calculou-se a distribuição dos grupos de pesos presente no navio: W_a – peso em aço; W_o – peso de outfitting; e W_m – peso de maquinários.

Para isso utiliza-se os valores descritos na Tabela 4, já comentada na fundamentação teórica.

Tabela 4 - Porcentagem de vários grupos de pesos em relação ao LWT

	DWT/ Δ [%]	Waço/LWT [%]	Wo/LWT [%]	Wm/LWT [%]
Navio porta-contêineres	60 - 76	58 - 71	15 - 20	9 - 22

Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998. Elaborada pelo autor.

A seguir é feita a disposição das massas ao longo do comprimento da embarcação, para que se possa conhecer a posição do LCG do navio. Optou-se por posicionar o maquinário e a superestrutura a ré do navio, ocupando um comprimento de 26m (aproximadamente 20% do Loa). Os grupos de peso de aço e outfitting são distribuídos ao longo de todo o comprimento do navio. A distribuição dos pesos no modelo é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5 – Distribuição dos pesos

Grupo de pesos	%LWT	Peso [t]	Posição do LCG a partir da popa
Waço	70	1403,7	63m
Wo	15	300,8	63m
Ws	5	100,3	13m
Wm	10	200,5	13m

Fonte: Autor (2018).

Assim, a posição do LCG do navio pode ser encontrada a partir da média ponderada dos dados listados na Tabela 5, estando localizada a 55,6m medidos a partir da popa do navio.

4.3 CONDIÇÃO DE MAR CALMO E DIMENSIONAMENTO PELA NORMA

A condição de equilíbrio para o navio com a condição de carregamento logo após o lançamento em mar calmo, é calculado conforme a teoria de análise estrutural, usando a formulação integral. Os cálculos foram desenvolvidos no programa Excel, utilizando a função *solver* para encontrar a condição de equilíbrio vertical e trim do

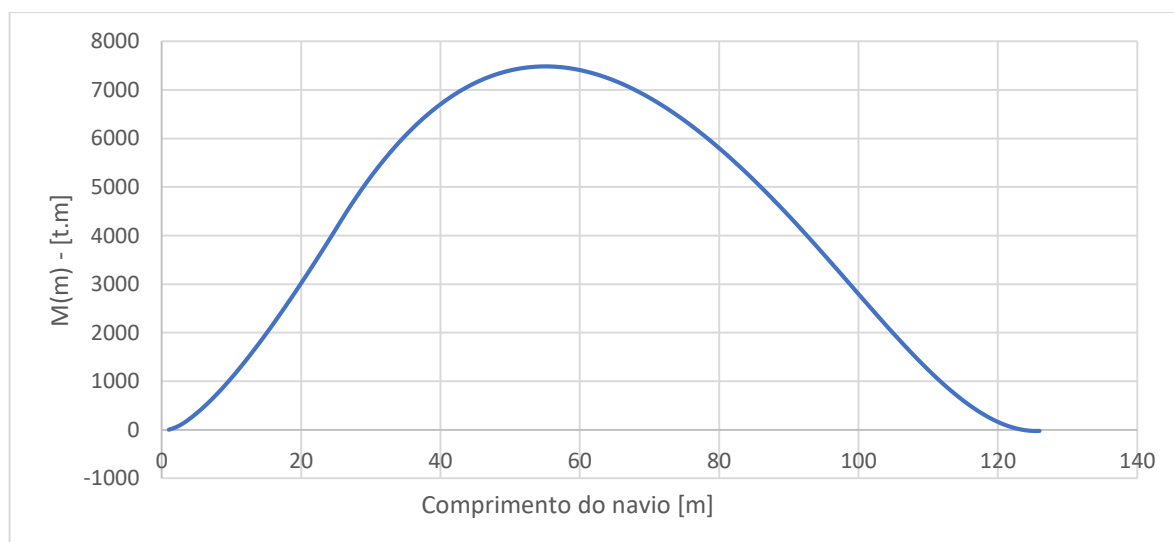
navio. Foram gerados os diagramas de força cortante e momento fletor do navio, como mostrado nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Diagrama de força cortante para condição de equilíbrio.



Fonte: Autor (2018).

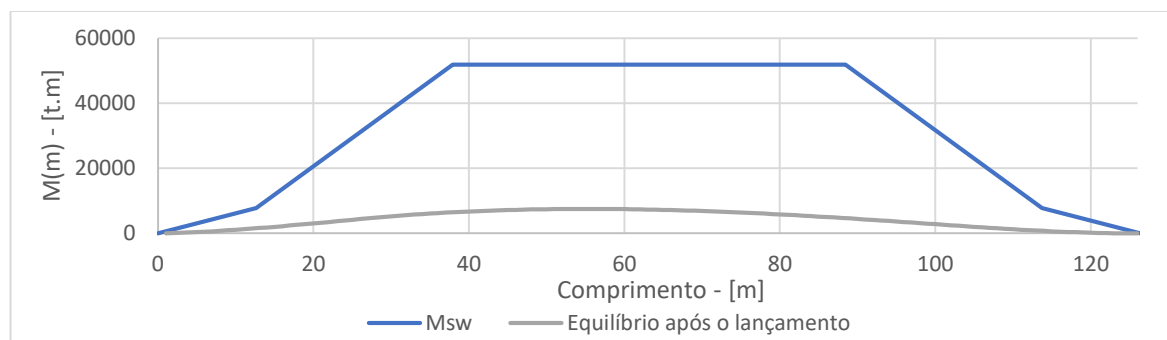
Figura 9 – Diagrama de momento fletor para condição de equilíbrio.



Fonte: Autor (2018).

O dimensionamento da seção mestra de navios, que é a que está sujeita aos maiores esforços estruturais, é calculado por normas de sociedades classificadoras. Para efeitos de comparação com a condição anterior, foi calculado o momento fletor pela norma DNG-GL, o resultado é apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Comparação com momento fletor pela norma.



Fonte: Autor (2018)

4.4 SIMULAÇÃO DO LANÇAMENTO

Conforme descrito anteriormente o lançamento foi simulado considerando-se a carreira com diferentes ângulos de inclinação; analisando-se diferentes posições durante o percurso do navio ao longo da carreira.

Para este procedimento utilizou-se o programa Rhinoceros, o qual pode calcular o volume submerso e a área das balizas abaixo da linha d'água para cada uma das posições, além da posição do centro longitudinal do volume submerso, para qualquer condição imposta ao modelo.

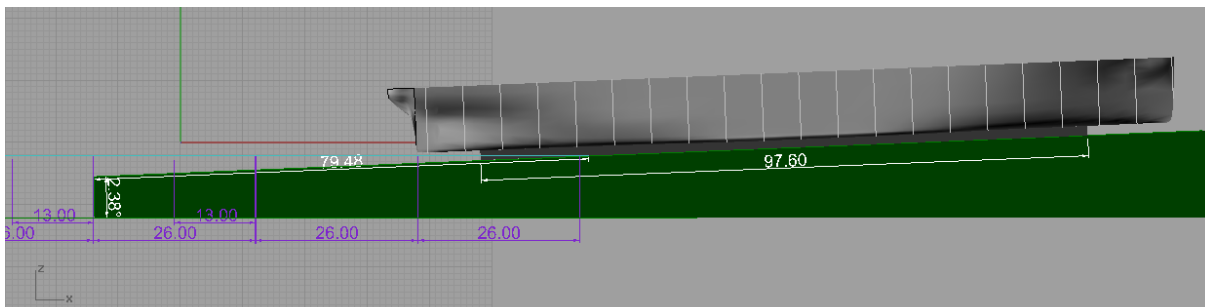
O berço de lançamento deve ter aproximadamente 1,5m de altura (MANNING; GUERRA, 1962), para viabilizar os trabalhos no casco durante a construção, enquanto o comprimento deve ser em torno de 80% do Lpp do navio (ANDREWS, 1983). A modelagem do berço se faz necessária para a correta avaliação da posição em que o navio entrará em contato com a água, no entanto seu peso será desprezado nessa análise, pois esse não realiza carga no casco.

A carreira de lançamento foi modelada considerando que sua parte imersa (λ) tenha 79,5m de comprimento, correspondendo a aproximadamente 80% do Lpp (Figura 11).

O declive das carreiras de lançamento, conforme Gordo (2005), deve estar compreendido entre 1/12 e 1/24. Assim, para esse estudo serão observados o comportamento do navio em lançamento em carreira de 2,3°, 2,7° e 3,2° visto que para inclinações superiores, começou-se a observar nas análises, a ocorrência dos fenômenos de despenhamento e saudação; que além de distorcerem as análises

propostas, aumentam significativamente o risco da operação, conforme descrito na fundamentação teórica.

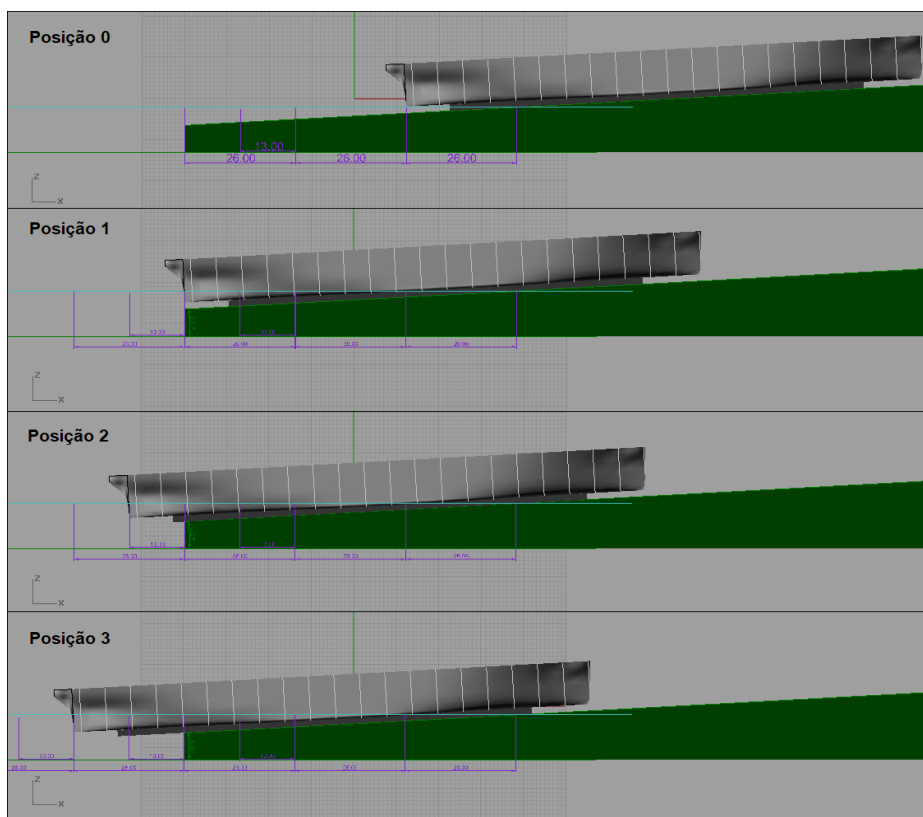
Figura 11 – Modelo de carreira de lançamento



Fonte: Autor (2018).

Para a realização da análise quase-estática, definiu-se que as posições para coleta de dados correspondem a deslocamentos de 10% do L_{pp} , ou aproximadamente 13m. A Figura 12 mostra a sequência das posições para o lançamento em carreira de 3,2° de inclinação.

Figura 12 – Posições de lançamento para carreira de 3,2° de inclinação.



Fonte: Autor (2018).

Na posição inicial (Figura 12) a perpendicular à ré do navio avança 26m do ponto onde a linha d'água encontra a carreira, ou seja, parte do berço já tem contato com a água. A próxima posição de interesse será quando o navio já possua uma considerável porção submersa, aqui definiu-se que será quando a distância percorrida no lançamento for igual a 52m, os seguintes pontos serão a cada 13m.

Em cada posição analisada foram identificados os seguintes dados:

- Volume submerso;
- Posição do LCB;
- Área das balizas abaixo da linha d'água;
- Calado máximo a ré;
- Distância do LCB até o LCG;
- Distância do LCG até o fim da carreira;

Estes dados serão usados para construção dos diagramas de lançamento (apresentados na fundamentação teórica), os quais retornam informações fundamentais para o estudo, como posição de início da rotação no lançamento e posição crítica para o despenhamento.

5 RESULTADOS

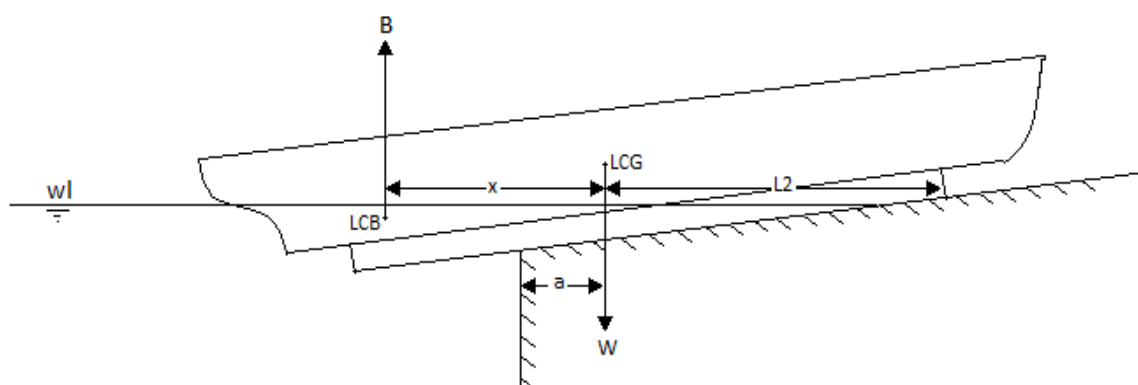
Neste capítulo são apresentados os resultados das análises feitas a partir dos dados obtidos no capítulo anterior, conforme a metodologia descrita.

5.1 DIAGRAMAS DE LANÇAMENTO

Nas diferentes fases do lançamento algumas situações ou circunstâncias precisam ser identificadas, tais como: a condição de despenhamento, o instante do início da rotação e o valor da força exercida no pródigo¹ de vante neste mesmo instante. Como todas essas situações só são possíveis de acontecer na segunda fase, os procedimentos dos cálculos estáticos são suficientes para a elaboração dos diagramas de lançamento, e, por conseguinte, identificar os parâmetros necessários (GORDO, 2005).

Na Figura 13 são mostradas as forças e distâncias que devem ser identificadas para as tratativas dos cálculos.

Figura 13 – Sistema de referências para os cálculos de lançamento



Fonte: Autor (2018).

¹ Estrutura construída sob a proa do navio compondo a parte a vante do berço de lançamento resistente o suficiente para suportar os esforços que ocorrem durante o lançamento.

A disposição prática para os cálculos de lançamento requer a identificação dos parâmetros listados na Tabela 6.

Tabela 6 - Cálculos de lançamento.

Parâmetro	Descrição	Equação
B	Impulsão identificada na modelagem geométrica do lançamento para cada trecho lançado	$B = \rho V$
W	Peso do navio no momento do lançamento	Constante
M_B	Momento de impulsão em relação ao pródigo de vante	$M_B = B \cdot (L_2 + x)$
M_W	Momento de peso em relação ao pródigo de vante	$M_W = W \cdot L_2$
M_B'	Momento de impulsão em relação ao extremo da carreira	$M_B' = B \cdot (x \pm a)$
M_W'	Momento de peso em relação ao extremo da carreira	$M_W' = W \cdot a$

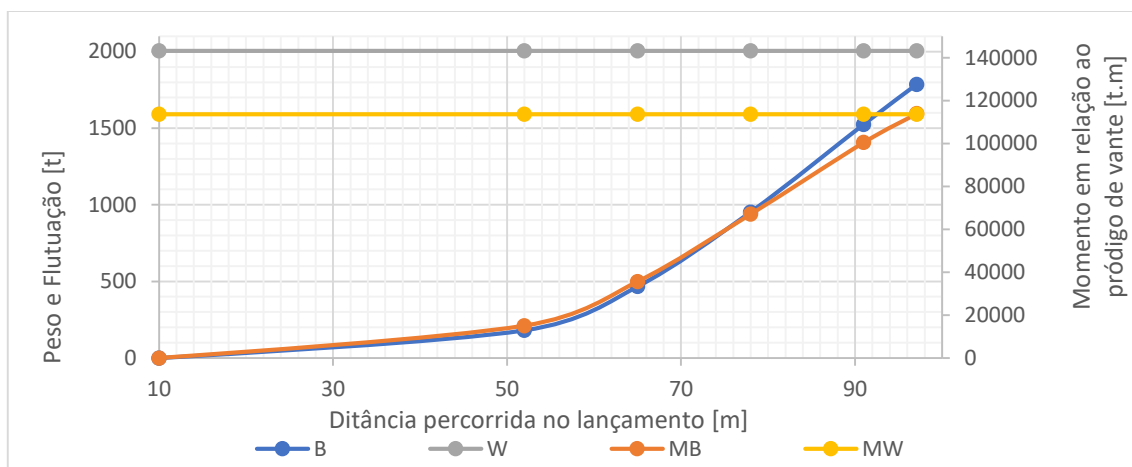
Fonte: Adaptado de Gordo (2005).

É importante observar que as curvas de despenhamento só teriam relevância a partir do ponto que o LCG do navio passa o extremo da carreira de lançamento, visto que M_W' é nulo na exata posição sobre o extremo da carreira, e só então M_B' e M_W' passam a ter sentidos contrários (GORDO,2005). Como nos casos analisados a rotação inicia antes mesmo do LCG chegar a este ponto, as curvas de despenhamento não serão aqui observadas.

Por outro lado, os diagramas de lançamento têm a importância de apontar a posição exata em que a rotação irá iniciar, e o navio irá perder contato com a carreira de lançamento, sendo que esse é o período que está o interesse deste estudo. A partir desse instante, o problema deixa de ser um problema estrutural, passando a ser um problema de dinâmica.

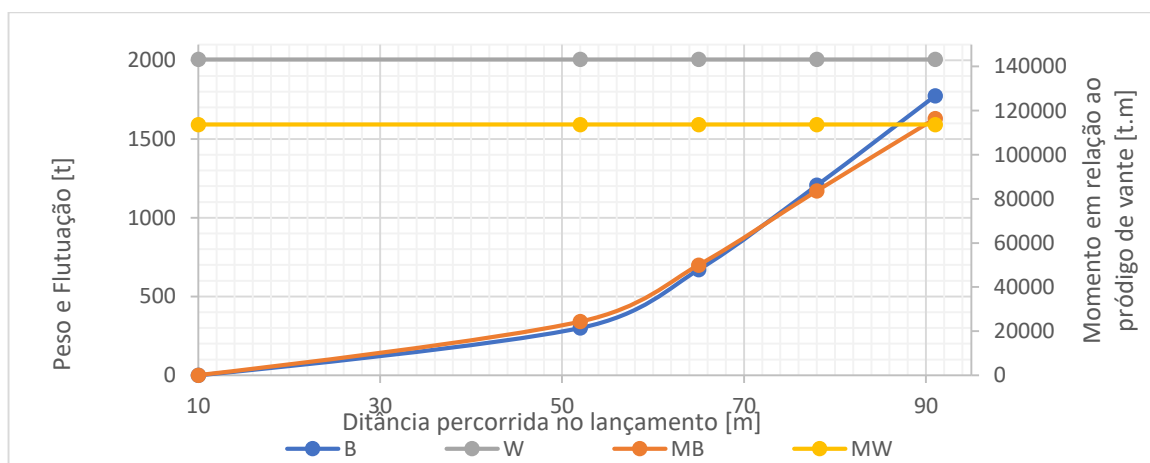
Nas Figura 14, 15 e 16 são mostrados os diagramas de lançamento para as diferentes inclinações analisadas.

Figura 14 – Diagrama de lançamento para carreira de 2,3° de inclinação



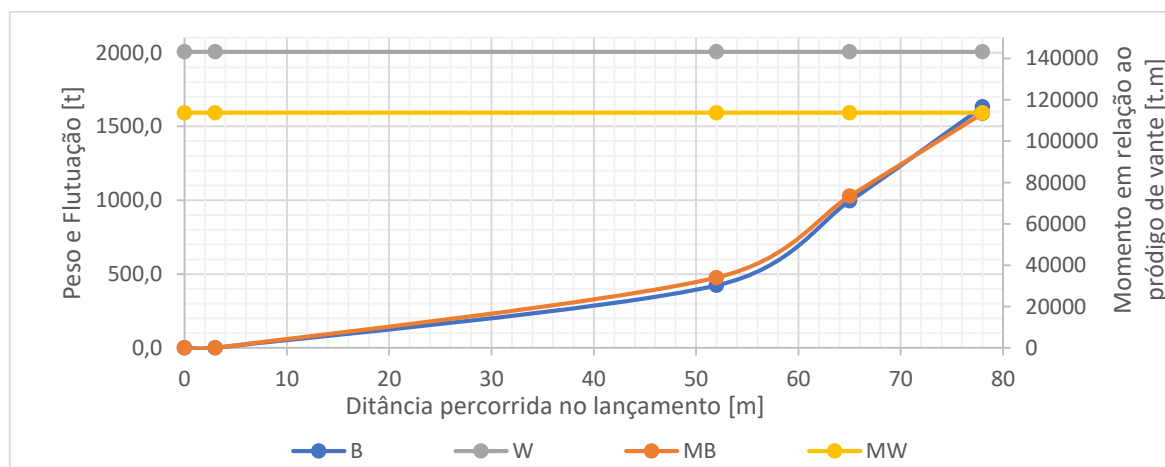
Fonte: Autor (2018).

Figura 15 - Diagrama de lançamento para carreira de 2,7° de inclinação



Fonte: Autor (2018).

Figura 16 - Diagrama de lançamento para carreira de 3,2° de inclinação



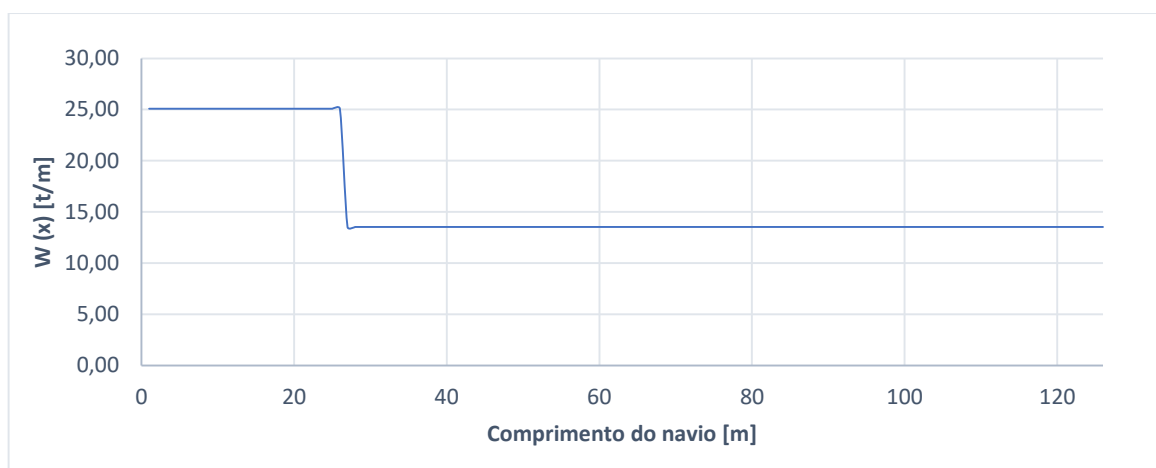
Fonte: Autor (2018).

Outra informação importante pode ser retirada desses diagramas, e consiste na diferença entre as curvas de peso e flutuação em cada ponto. Essa diferença resulta na força normal concentrada agindo sobre o ponto central da porção do berço a vante.

5.2 CURVA DE PESO

A curva de distribuição dos pesos ao longo do comprimento da embarcação é a primeira etapa a ser identificada na análise da estrutura primaria (TANCREDI, 2004). No modelo desenvolvido, o peso dos diferentes grupos tratados na seção 3.2 é considerado como uma distribuição uniforme ao longo do comprimento dos elementos, conforme exemplificado na Figura 17.

Figura 17 – Curva de distribuição de pesos



Fonte: Autor (2018).

Como os pesos são sempre constantes em todas as inclinações de carreira de lançamento, inclusive na condição de equilíbrio, tem-se uma única curva de distribuição de pesos para todas as análises (Figura 17).

5.3 FORÇA EXERCIDA PELA CARREIRA

Desde antes do lançamento até o instante em que o navio deixa de ter contato com a carreira de lançamento existe uma força normal, a qual irá agir sobre a porção do casco que estiver em contato com o berço de lançamento (GORDO,2005).

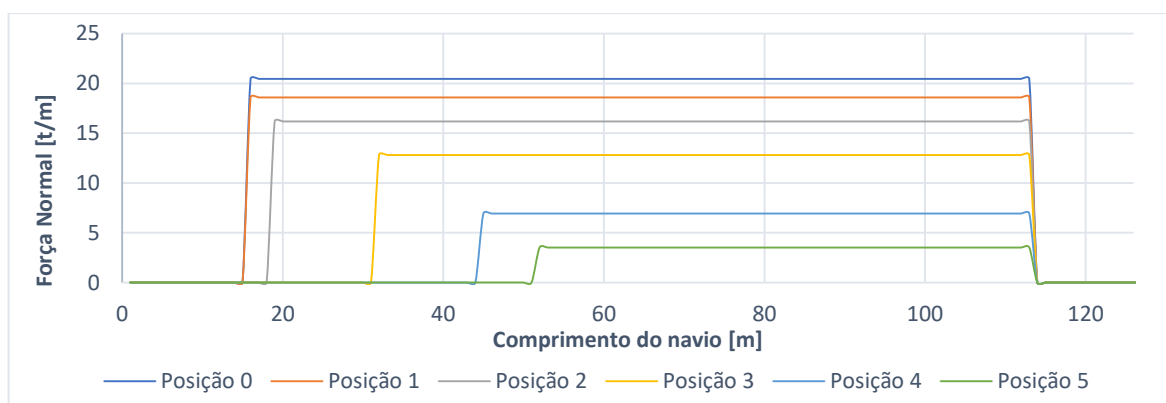
Segundo Andrews (1983) esse carregamento atua na porção em contato com a carreira e, para cada posição analisada, corresponde a:

$$N = W - B \quad (2)$$

A força descrita na equação anterior é representada por uma força concentrada no meio da área de contato entre a carreira e o berço. Visto que a concentração desta força em um único ponto não representaria fielmente o fenômeno real, optou-se por fazer uma distribuição uniforme da mesma ao longo do trecho.

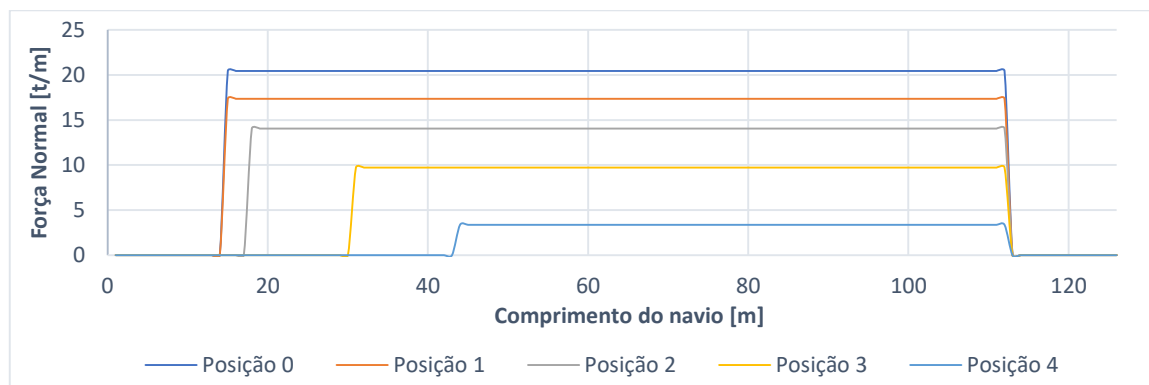
É importante observar que tanto o tamanho do trecho em contato, como a intensidade da força, varia constantemente ao longo do processo de lançamento do navio. O comportamento da força exercida pela carreira é mostrado nas Figura 18 até Figura 20.

Figura 18 – Curvas de força normal em carreira de 2,3° de inclinação



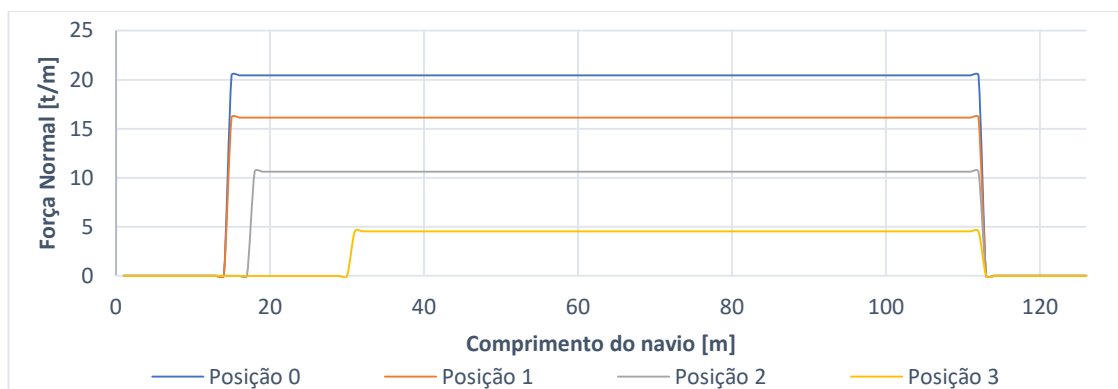
Fonte: Autor (2018).

Figura 19 - Curvas de força normal em carreira de 2,7° de inclinação



Fonte: Autor (2018).

Figura 20 - Curvas de força normal em carreira de 3,2° de inclinação



Fonte: Autor (2018).

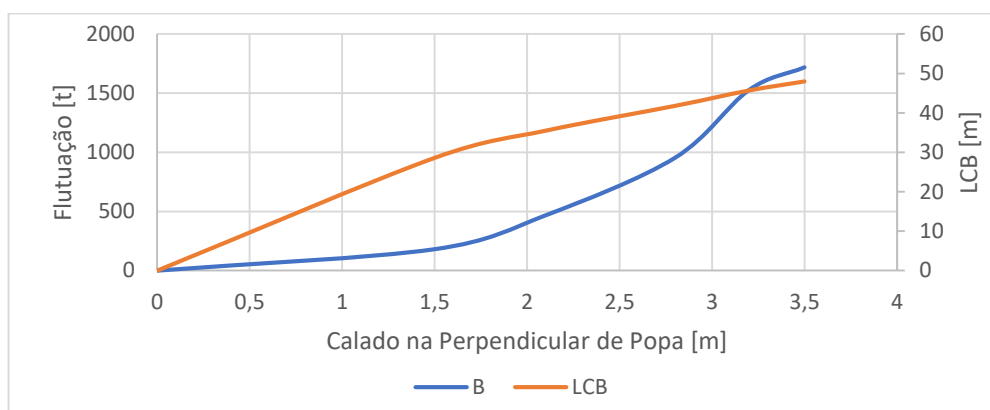
Na Posição 0 as curvas normais têm valor muito próximo, pois a força que age sobre o navio corresponde apenas ao peso do navio. Logo a única diferença entre elas é a projeção da força devido ao ângulo de inclinação da carreira; a variação é muito pequena visto que estamos trabalhando com pequenos ângulos de inclinação. Nas demais posições, essa diferença de um gráfico para o outro torna-se mais perceptível porque já existe a influência da flutuação que varia de uma situação para outra.

Outra diferença, é que conforme a inclinação da carreira aumenta o berço, e conseqüentemente o navio, fica menos tempo em contato. Isso ocorre pois, para inclinações maiores, a distância percorrida durante o lançamento até o início da rotação é menor.

5.4 FLUTUAÇÃO

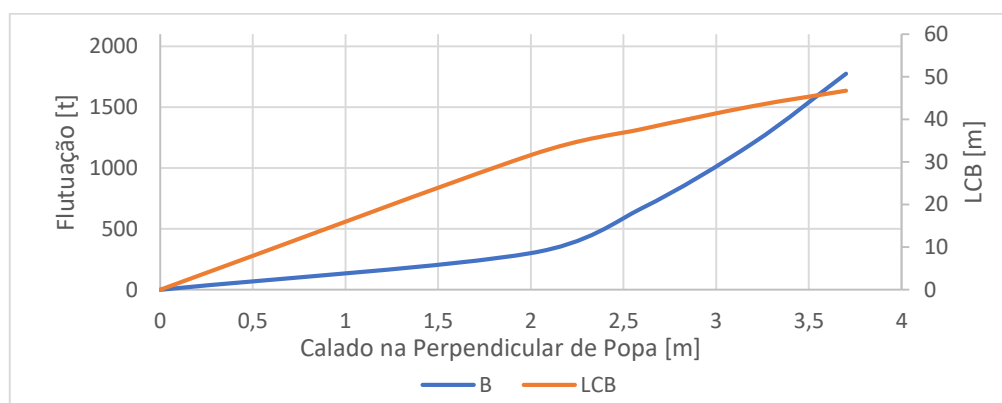
Por meio das modelagens do navio em cada posição de lançamento, é possível obter o volume descolado em cada uma dessas posições, assim como LCB a partir da popa, altura do calado máximo a ré do casco e o comprimento da linha d'água. Com esses dados identificados é possível traçar as curvas de flutuação e centro de flutuação do casco para cada um dos três casos, como mostrado nas Figuras de 21 à 23.

Figura 21 – Curvas de flutuação e centro de flutuação para carreira de 2,3° de inclinação



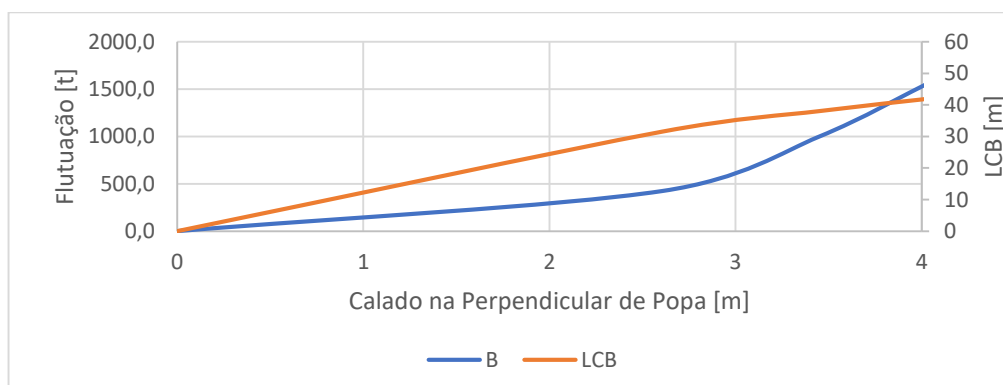
Fonte: Autor (2018).

Figura 22 - Curvas de flutuação e centro de flutuação para carreira de 2,7° de inclinação



Fonte: Autor (2018).

Figura 23 - Curvas de flutuação e centro de flutuação para carreira de 3,2° de inclinação



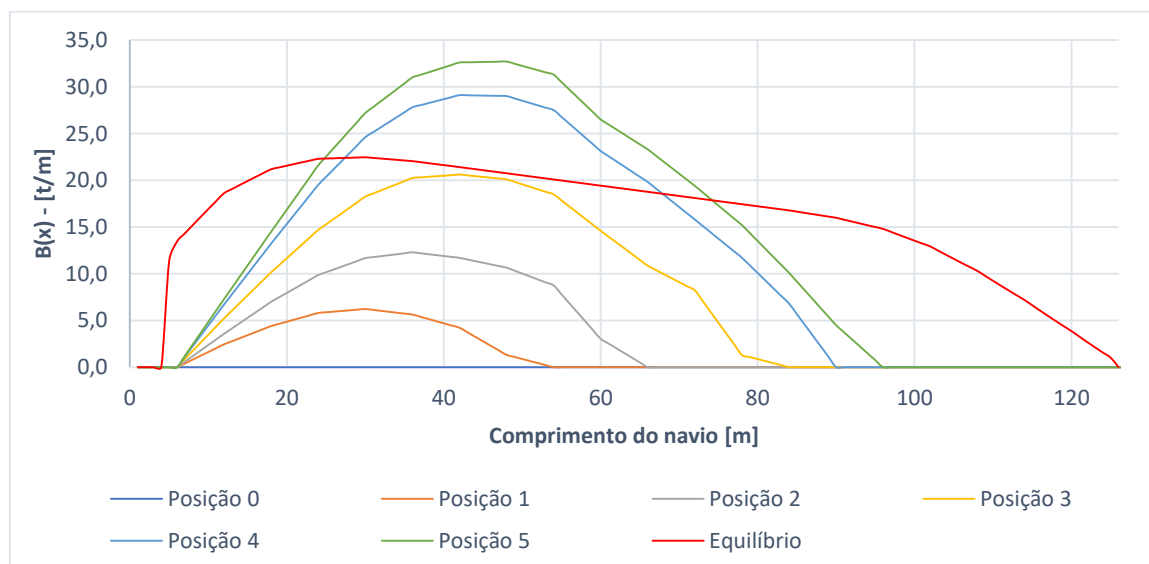
Fonte: Autor (2018).

Com a comparação dos gráficos anteriores é possível observar que o navio atinge calados a ré maiores conforme a inclinação da carreira também aumenta. Além disso, observa-se ainda que para essa mesma situação o LCB tende a deslocar para mais à ré da embarcação.

Segundo Tancredi (2004) a distribuição da flutuação é obtida a partir da integração do volume submerso de cada seção ao longo do comprimento da embarcação.

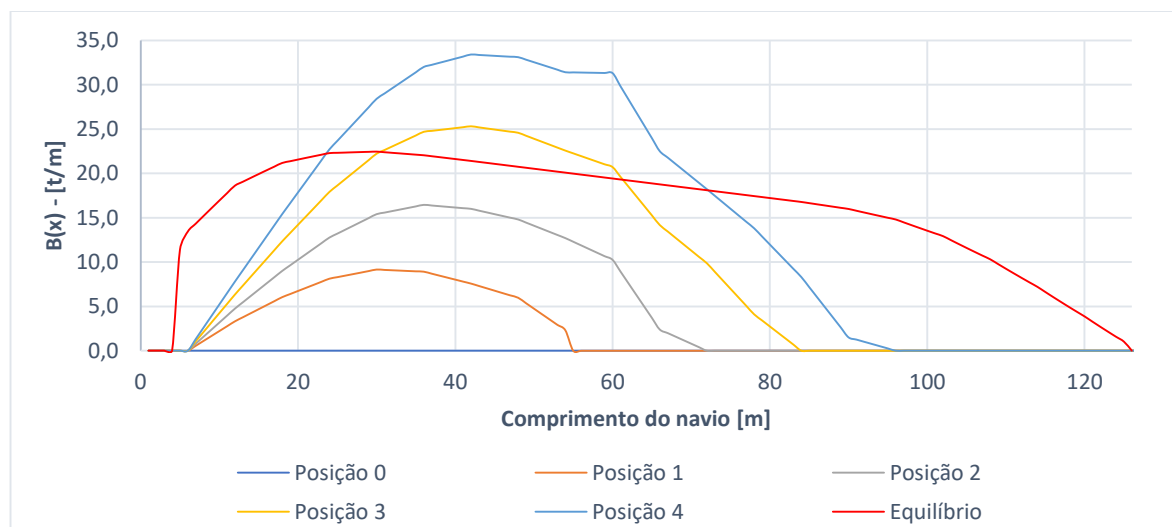
Em uma abordagem simplificada, as curvas de flutuação ao longo do comprimento do navio são obtidas pelo produto da boca por calado na posição considerada. No entanto, em virtude da geometria tridimensional do casco, optou-se por calcular numericamente a área submersa de balizas a cada 6m do comprimento do casco em contato com água. A interpolação linear entre cada um desses trechos retorna uma boa aproximação para a determinação das curvas de flutuação em cada posição dos lançamentos. O resultado desse procedimento para determinação das curvas de flutuação é mostrado nas Figuras de 24 até 26.

Figura 24 – Curvas de distribuição da flutuação para carreira de 2,3° de inclinação



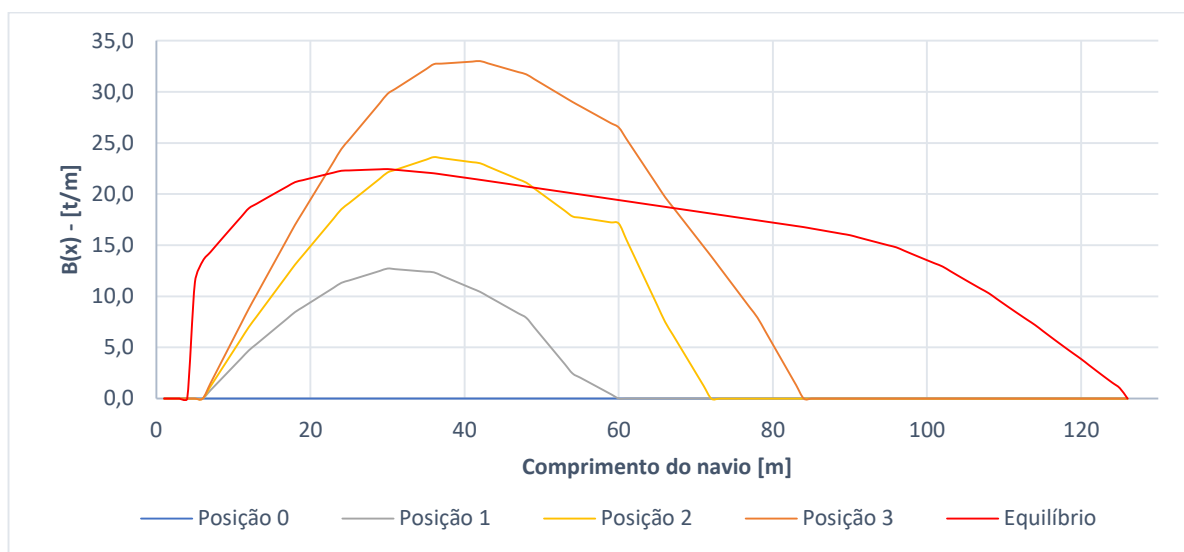
Fonte: Autor (2018).

Figura 25 - Curvas de distribuição da flutuação para carreira de 2,7° de inclinação



Fonte: Autor (2018).

Figura 26 - Curvas de distribuição da flutuação para carreira de 3,2° de inclinação



Fonte: Autor (2018).

Observa-se que, nos gráficos acima também são representadas a curva de flutuação na condição de equilíbrio, a qual deverá ser a mesma em todas as condições analisadas, pois nessa situação, o navio já deixou a carreira.

5.5 CARREGAMENTO DA VIGA-NAVIO

De acordo com Manning e Guerra (1962) a curva de carga é definida como sendo a diferença entre a curva de peso e a curva de flutuação ao longo do

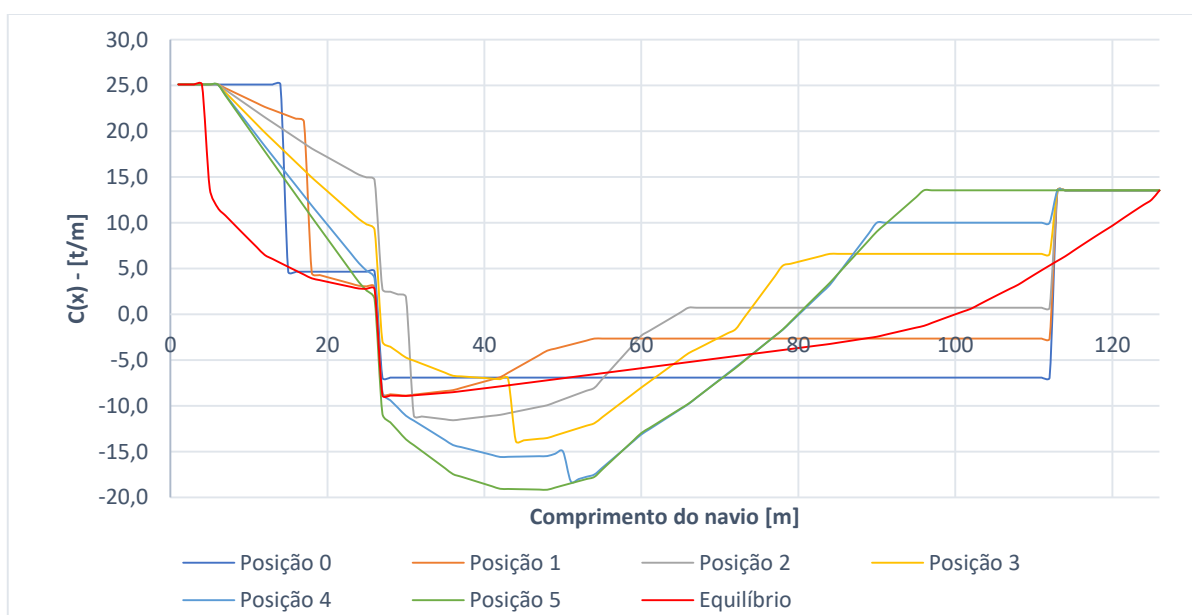
comprimento do navio. Essa afirmação é válida para uma análise de viga-navio “livre-livre”, e essa situação só é verificada neste estudo em uma condição, a qual corresponde ao navio livre da carreira, flutuando em equilíbrio.

Nas demais situações o que se observa é que a viga-navio estará “livre-engastada”, recebendo também o carregamento da força de contato normal. Para estas considerou-se o carregamento sendo:

$$C(x) = W(x) - B(x) - N(x) \quad (3)$$

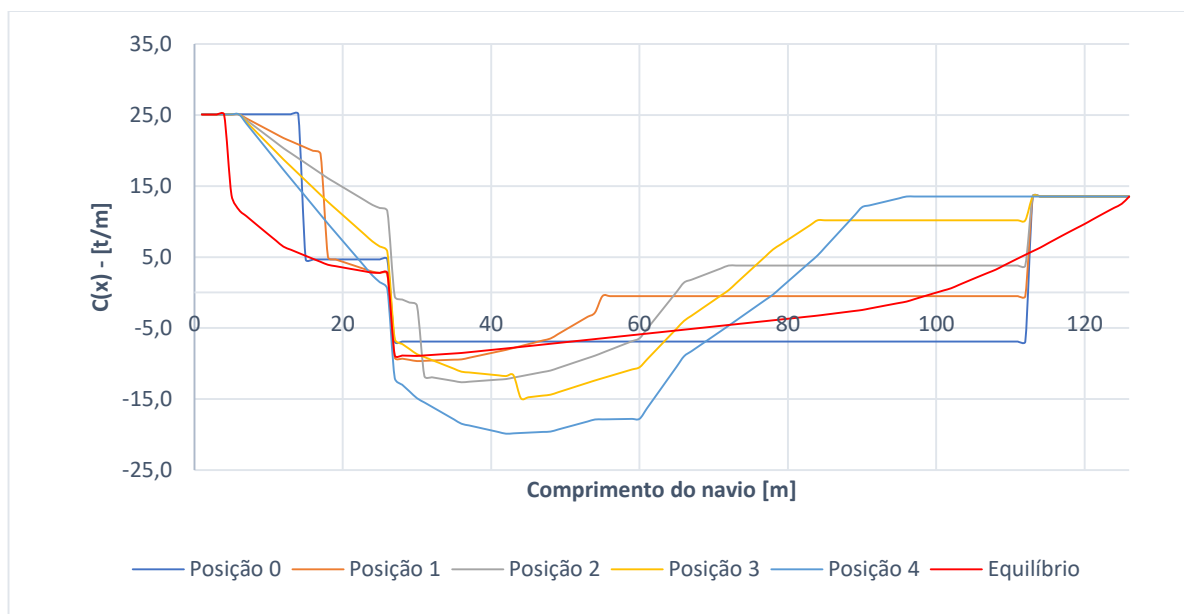
A partir da equação acima é possível definir as curvas de carregamento para cada inclinação de carreira considerada, as quais são mostradas nas Figura 27 até Figura 29.

Figura 27 – Curvas de distribuição de carga para carreira de 2,3° de inclinação



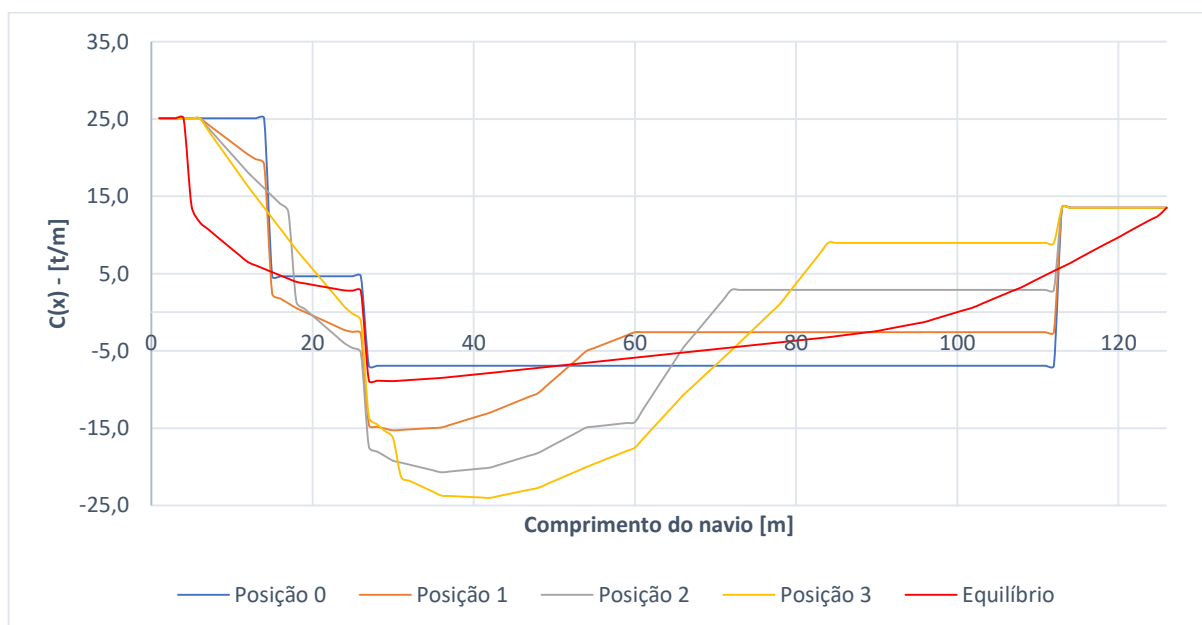
Fonte: Autor (2018).

Figura 28 - Curvas de distribuição de carga para carreira de 2,7° de inclinação



Fonte: Autor (2018).

Figura 29 - Curvas de distribuição de carga para carreira de 3,2° de inclinação



Fonte: Autor (2018).

5.6 FORÇA CORTANTE

Uma vez definida a curva de carga é possível obter o diagrama de forças cortantes que atuam na viga navio. Assim, a força cortante em todos os pontos ao

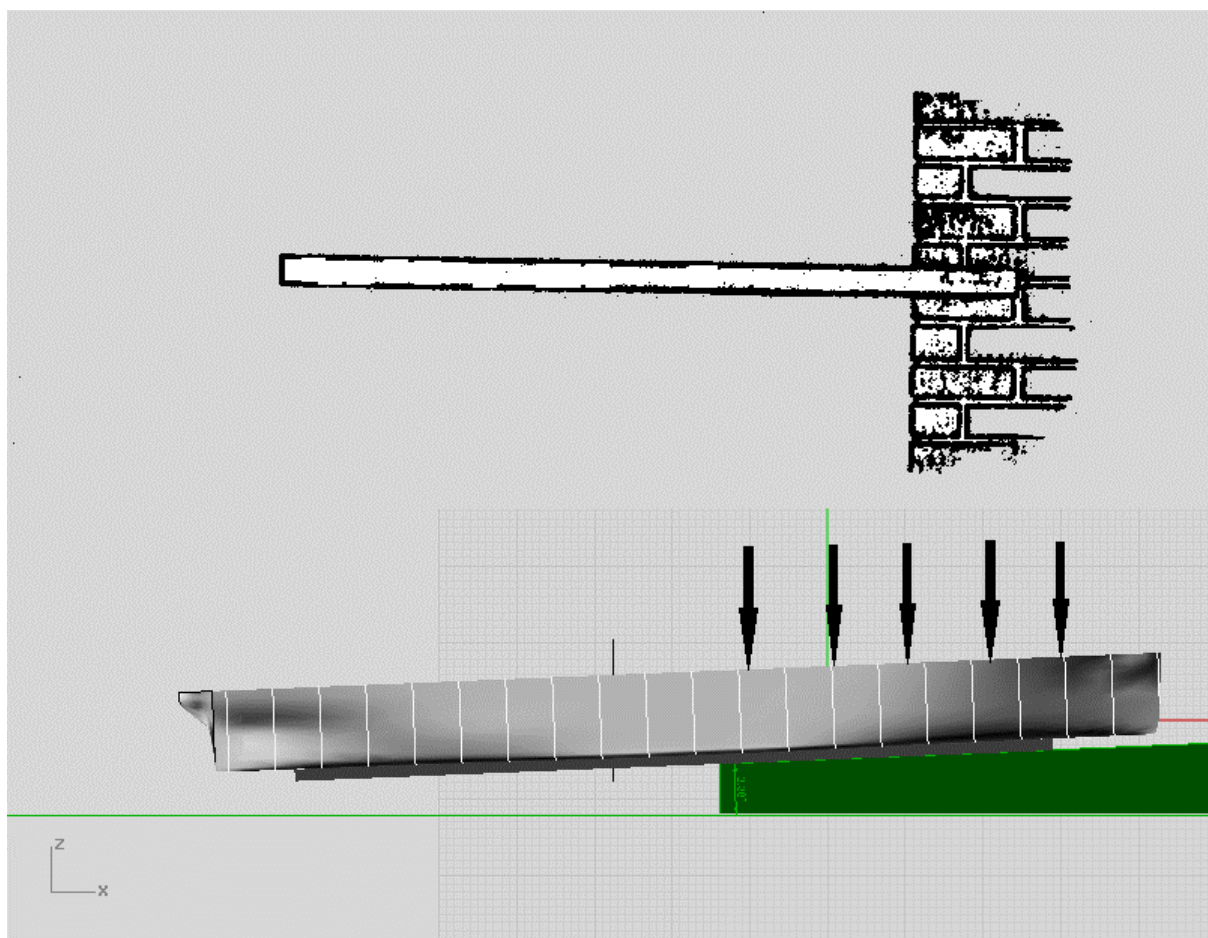
longo do comprimento da viga navio é obtido por meio da integração da curva de carga (MANNING E GUERRA, 1962).

Como nas primeiras posições do lançamento o navio permanece junto com o berço totalmente apoiado sobre a carreira de lançamento, estes trechos não serão aqui analisados.

A análise de força cortante e momento fletor são realizadas a partir do instante em que o casco do navio toca a água, iniciando a flutuação na popa e a tendência de giro em direção da proa.

As análises serão feitas considerando que o trecho da viga-navio que permanece sobre a carreira de lançamento no instante analisado corresponde a uma viga perfeitamente engastada. Esta consideração é feita pois o berço forma com a carreira diversos apoios consecutivos, um ao lado do outro, como uma viga hiperestática, conforme analogia mostrada na Figura 30.

Figura 30 – Analogia entre viga engastada e navio na carreira de lançamento.

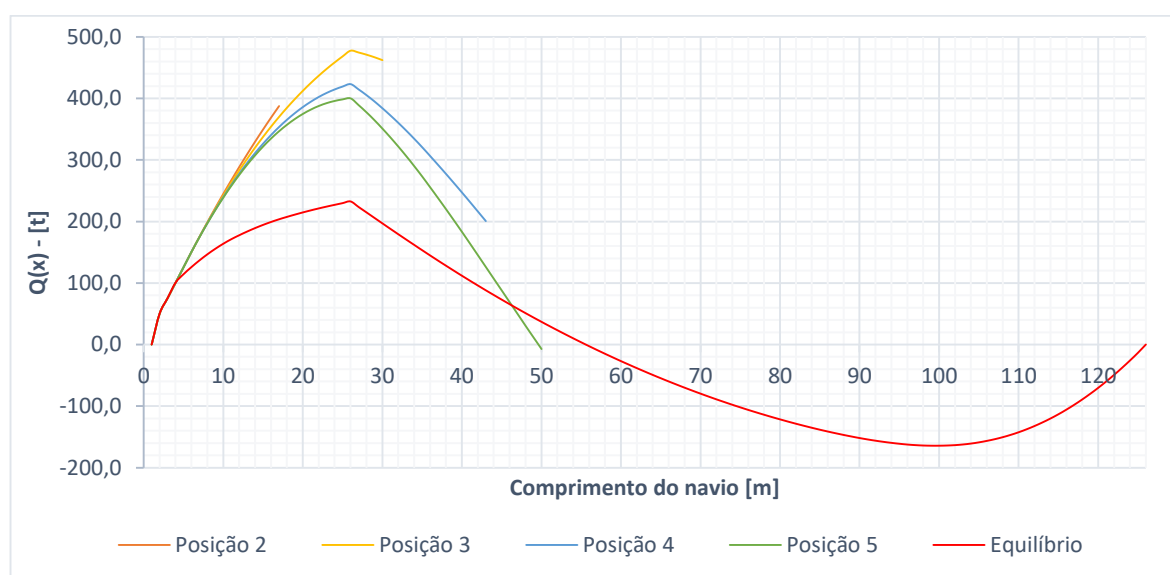


Fonte: Autor (2018).

Outra justificativa para a consideração de que parte da viga encontra-se perfeitamente engastada consiste no fato de que o navio não sofrerá despenhamento, visto que em nenhuma das análises o LCG passa a cruzar o fim da carreira. E, no instante em que o navio começa a sofrer rotação, as análises são encerradas, pois o problema passa a ser um problema de dinâmica e não de estática.

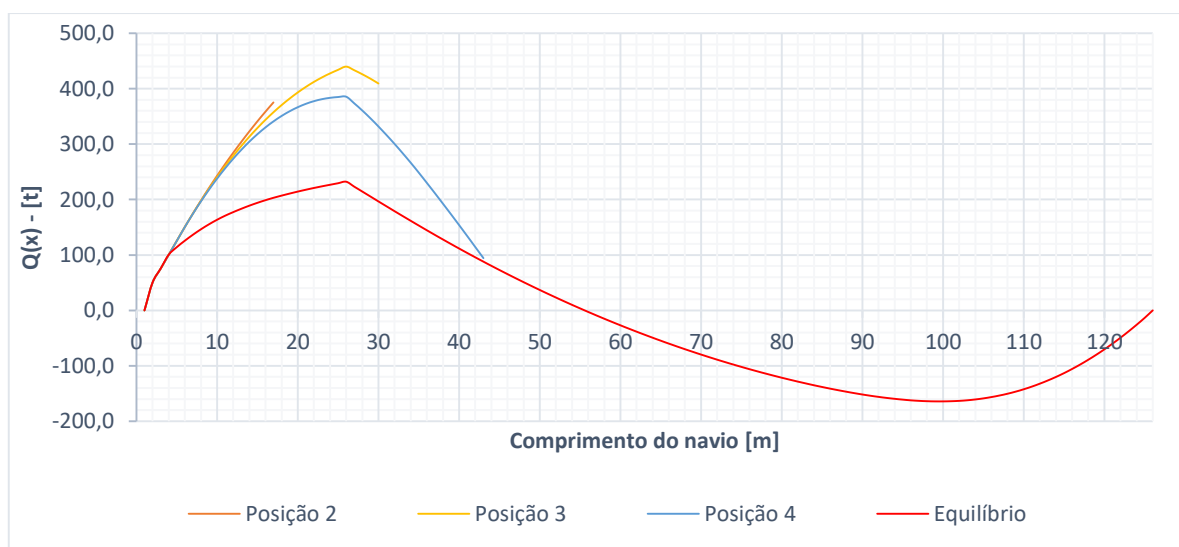
As Figura 31 até Figura 33 apresentam o diagrama de forças cortantes para as diferentes análises realizadas.

Figura 31 – Diagrama de forças cortantes para carreira de 2,3° de inclinação



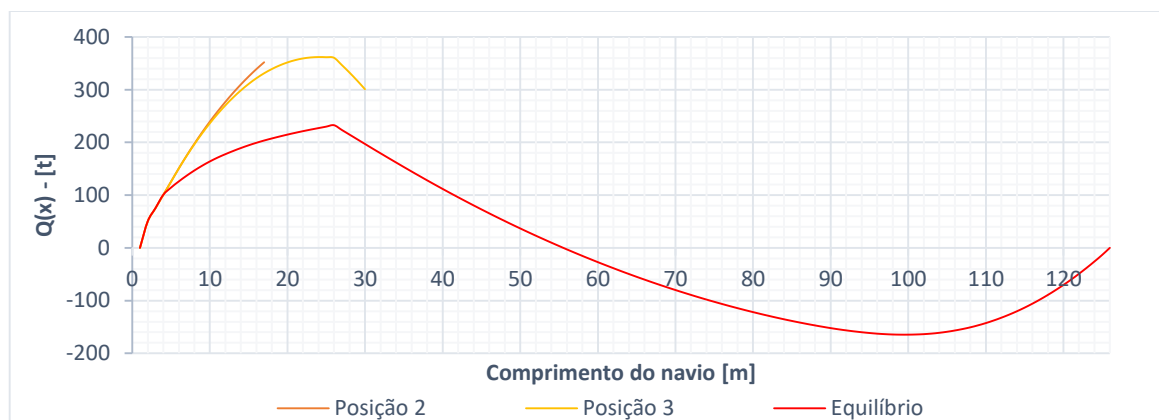
Fonte: Autor (2018).

Figura 32 - Diagrama de forças cortantes para carreira de 2,7° de inclinação



Fonte: Autor (2018).

Figura 33 - Diagrama de forças cortantes para carreira de 3,2° de inclinação



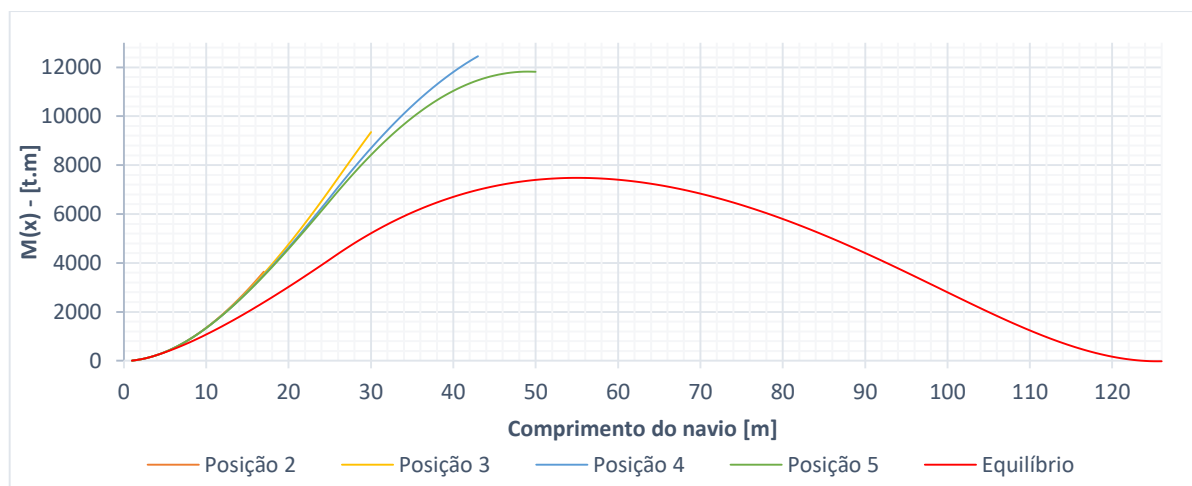
Fonte: Autor (2018).

Tipicamente para condição de equilíbrio (viga livre-livre) o diagrama de força cortante retorna valor nulo na posição próxima a meia nau, e valor máximo próximo a $L/4$. Na Posição 2 a maior força cortante ocorre no fim da carreira, onde é considerado que o navio encontra-se engastado. Nas demais posições a força cortante é máxima próximo a posição central do trecho em balanço.

5.7 MOMENTO FLETOR

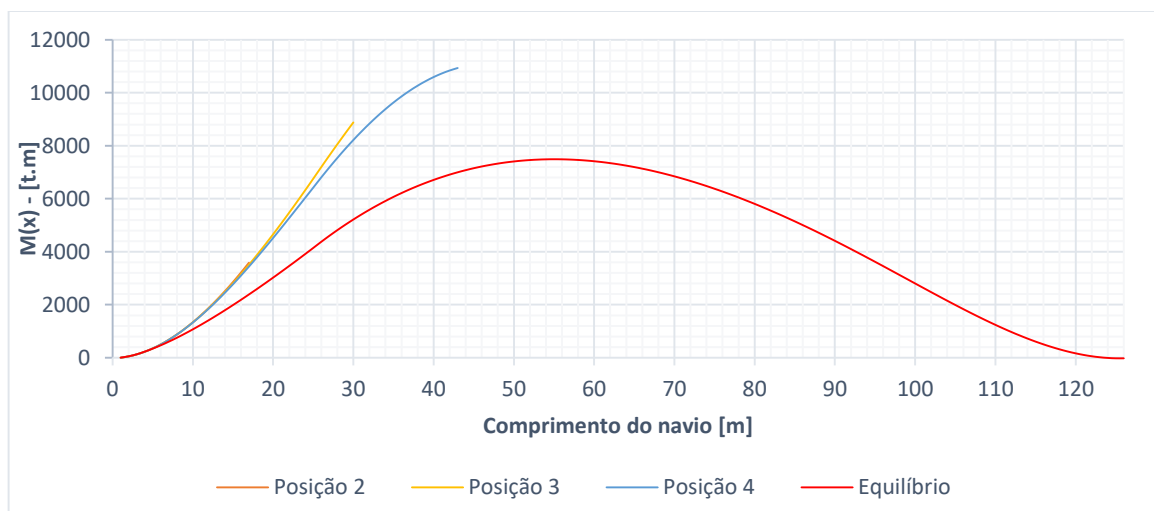
A partir da integração da curva de força cortante é possível determinar a curva de momento fletor, conforme Equação 1. Assim, nas Figura 34 até 36 são mostradas as curvas de momento fletor para as diferentes análises realizadas.

Figura 34 – Curvas de momento fletor para carreira de 2,3° de inclinação



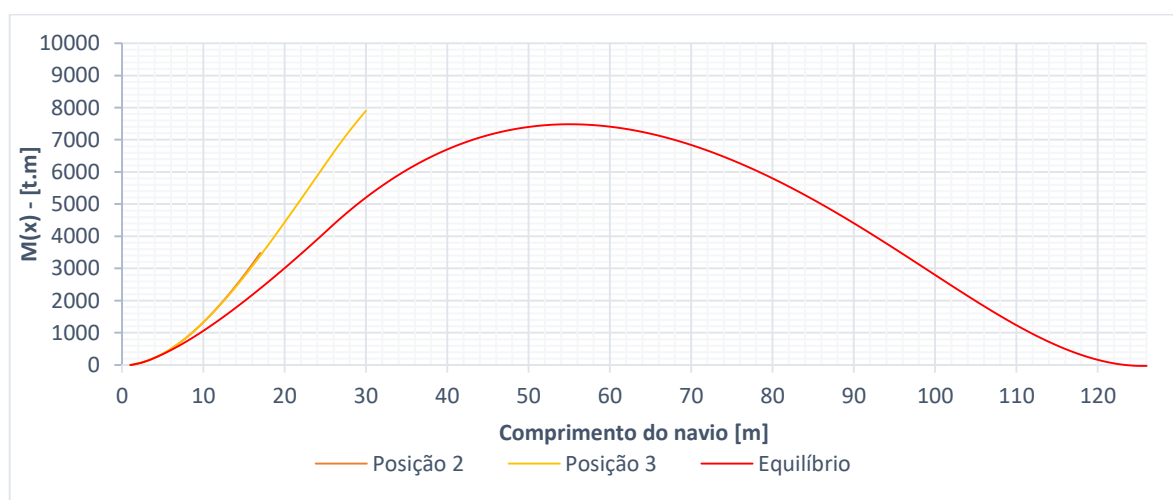
Fonte: Autor (2018).

Figura 35 - Curvas de momento fletor para carreira de 2,7° de inclinação



Fonte: Autor (2018).

Figura 36 - Curvas de momento fletor para carreira de 3,2° de inclinação



Fonte: Autor (2018).

Como o esperado em vigas engastada-livres sujeitas a carregamentos exclusivamente verticais, o momento fletor máximo irá ocorrer junto ao engaste, enquanto que, para a condição de equilíbrio (viga livre-livre), o momento fletor máximo acontece em $L/2$.

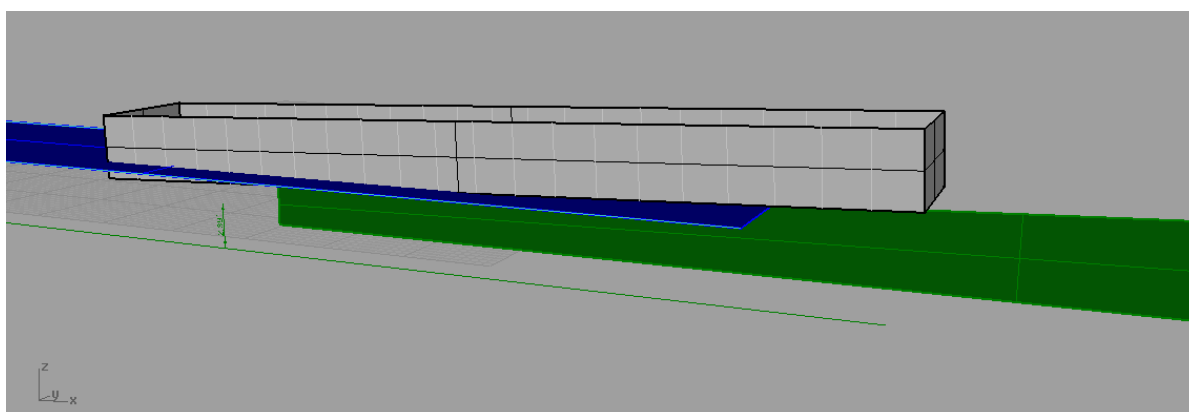
5.8 VERIFICAÇÃO

A verificação do trabalho consiste em se verificar se as modelagens e implementações dos cálculos analíticos dos modelos desenvolvidos são coerentes.

Aqui nos referimos aos parâmetros de entrada que terão influência nos resultados do estudo, tais como: estimativa de peso do modelo, inclinação da carreira de lançamento, a correta avaliação dos apoios do navio com a carreira de lançamento.

Uma vez que as referências bibliográficas citadas no referencial teórico não englobam todas as questões envolvidas neste trabalho, para que pudesse ser feita uma verificação, realizou-se a análise de lançamento considerando uma geometria simples, com propriedades facilmente calculáveis analiticamente. Para isso foi modelado um casco com forma de paralelepípedo com as mesmas dimensões principais do navio estudado, conforme mostrado na Figura 37, sendo possível verificar se a ferramenta desenvolvida está realizando a análise numérica adequadamente.

Figura 37 – Modelo de verificação



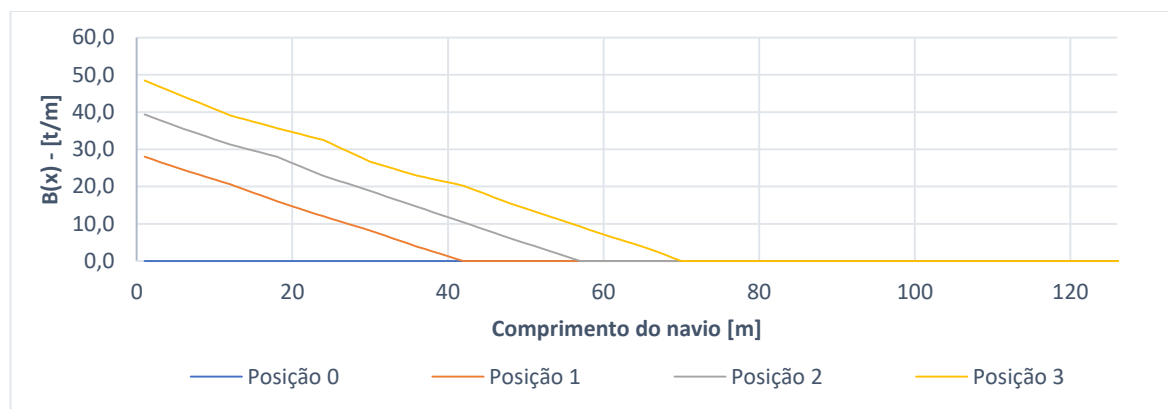
Fonte: Autor (2018).

Os principais dados considerados na ferramenta de análise dizem respeito a curva de flutuação e a curva de peso, visto que são essas as forças atuantes verticalmente, e com as quais é verificado o equilíbrio estático.

Para a análise de verificação proposta, considerou-se a mesma distribuição de pesos adotada no estudo de caso realizado com o modelo da série 60. Assim, a curva de pesos foi a mesma considerada na análise do modelo da série 60.

Para a curva de flutuação, como os dados dependem da forma do casco, utilizou-se um procedimento análogo ao usado anteriormente, considerando as áreas de balizas localizadas a cada 6m distribuídas ao longo do comprimento do navio. Na Figura 38 é possível observar o comportamento das curvas de flutuação para o modelo de verificação, ou seja, do navio-caixa, nas diferentes posições analisadas.

Figura 38 – Curva de flutuação do modelo de verificação



Fonte: Autor (2018).

Tal como esperado para a geometria de um navio-caixa, as curvas de flutuação obtidas com a ferramenta de análise têm comportamento decrescente quase linear.

A verificação dos volumes submersos mostrados na Figura 38 foi realizada comparando-se os resultados com aqueles calculados pelo programa de modelagem Rhinoceros. A Tabela 7 apresenta os valores obtidos pelas duas abordagens, e a diferença percentual entre elas.

Tabela 7 – Tabela comparativa dos dados de entrada do volume submerso.

Inclinação da Carreira	Posição no Lançamento	Volume Submerso [m³]		Diferença (%)
		Dado pelo programa	Calculado pela ferramenta	
2,3°	Posição 1	176,6	180,24	2,1
	Posição 2	455,8	471,24	3,4
	Posição 3	930	977,22	5,1
	Posição 4	1489	1527,72	2,6
	Posição 5	1744	1783,2	2,3
2,7°	Posição 1	293,8	302,53	3,0
	Posição 2	654,5	687,12	5,0
	Posição 3	1176,9	1228,26	4,4
	Posição 4	1730,5	1798,80	3,9
3,2°	Posição 1	412,4	421,32	2,2
	Posição 2	970,4	1024,8	5,6
	Posição 3	1552,3	1646,4	6,1

Fonte: Autor (2018).

A tabela anterior mostra que a diferença entre os valores calculados para o volume submerso usando a ferramenta de análise desenvolvida, são no máximo 6,1% maiores que aqueles obtidos diretamente no programa de modelagem tridimensional.

Assim, uma vez que a ferramenta desenvolvida representou bem o volume submerso de parte de um paralelepípedo inclinado, supõe-se que as análises do estudo de caso realizado também estão computadas corretamente.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Dos diagramas de lançamento é possível obter duas importantes informações utilizadas nas análises. A primeira é a condição de não-despenhamento, e a segunda é a posição de início da rotação. A condição de despenhamento não ocorre porque em todas as posições observadas, o LCG permanece sobre a carreira de lançamento, ou seja, a rotação inicia-se antes que a posição do LCG ultrapasse o fim da carreira. Na Tabela 8 são mostrados os pontos aproximados em que o navio iniciará o giro em cada situação.

Tabela 8 - Posição de início da rotação.

Inclinação da carreira	Distância percorrida até o início da rotação
2,3°	97m
2,7°	91m
3,2°	78m

Fonte: Autor (2018).

É percebido que conforme a inclinação da carreira aumenta, a distância que o navio percorre até iniciar a rotação diminui, isso porque o navio tenta ganhar flutuação mais rapidamente para maiores inclinações.

Apesar de nas posições iniciais do lançamento, quando o navio e o berço permanecem com o comprimento total em contato com a carreira, o mesmo começa a sofrer certa influência das forças de empuxo, essas não são suficientes para que a viga-navio desenvolva movimento vertical. Por essa razão é utilizada a analogia com uma viga em balanço e perfeitamente engastada.

Assim é possível calcular o comportamento da força cortante e momento fletor no trecho “em balanço” da viga-navio, já no trecho que permanece sobre a carreira esse comportamento não é conhecido, mas certamente não é considerado crítico para a análise, pois o engastamento reduz o momento fletor nesse trecho.

Durante o lançamento, a força cortante atinge valores muito superiores a aqueles observados na condição de equilíbrio, conforme mostram os valores listados na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparação da máxima força cortante.

Inclinação da Carreira	Posição no lançamento	Força cortante máxima [t]	Força cortante máxima para condição de equilíbrio [t]	Diferença (%)
2,3°	Posição 2	387,6	232,4	66,8
	Posição 3	477,5	232,4	105,5
	Posição 4	423,2	232,4	82,1
	Posição 5	400,1	232,4	72,1
2,7°	Posição 2	375,6	232,4	61,6
	Posição 3	439,9	232,4	89,3
	Posição 4	385,6	232,4	65,9
3,2°	Posição 2	351,9	232,4	51,4
	Posição 3	362,1	232,4	55,8

Fonte: Autor (2018).

Pode-se observar que as forças cortantes máximas durante as posições de lançamento variam entre 51 a 105 % acima da máxima força cortante observada na condição de equilíbrio.

Outra constatação que pode ser observada nos diagramas de força cortante, é que em todos os casos, tanto durante o lançamento como na condição de equilíbrio, a cortante máxima está localizada próximo a 30m a partir da popa. Essa característica já havia sido mencionada no capítulo de metodologia e desenvolvimento,

Por fim, observa-se que as curvas de momento fletor durante o lançamento apresentam valores maiores que o momento fletor na condição de equilíbrio.

No entanto, o máximo momento fletor durante o lançamento ocorre sempre no ponto onde o casco deixa o apoio da carreira, iniciando o trecho em balanço. Na Tabela 10 são apresentados os valores de momentos fletores máximos obtidos durante as análises realizadas.

Tabela 10 – Comparação dos máximos momentos fletores.

Inclinação da Carreira	Posição no lançamento	Momento fletor máximo [t.m]	Momento fletor no comprimento para condição de equilíbrio [t.m]	Diferença (%)
2,3°	Posição 2	3645	2386	52,8
	Posição 3	9352	5212	79,5
	Posição 4	12454	6993	78,1
	Posição 5	12529	7402	69,3
2,7°	Posição 2	3591	2386	50,5
	Posição 3	8885	5212	70,5
	Posição 4	10938	6993	56,4
3,2°	Posição 2	3486	2386	46,1
	Posição 3	7897	5212	51,5

Fonte: Autor (2018).

O momento fletor máximo durante o lançamento chega a ser de 50 a quase 80% maior que o momento fletor que age sobre a viga-navio na mesma região durante a condição de equilíbrio.

Outra constatação é a de que o momento fletor máximo durante o lançamento supera em 67,4% o momento fletor máximo da condição de equilíbrio que é de 7485t.m, localizado na posição onde usualmente ocorre as maiores solicitações em um navio, a meia-nau.

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram realizadas análises relacionadas com o lançamento longitudinal de um navio, determinando-se os esforços decorrentes desse evento na estrutura da embarcação.

Inicialmente observa-se que, apesar da essência dinâmica do fenômeno, a análise pode ser feita considerando-se uma abordagem quase-estática, permitindo grande simplificação nos cálculos realizados.

Após ampla pesquisa verificou-se que o lançamento de um navio, embora pareça um processo trivial, necessita de uma série de cuidados e medidas para que não traga nenhum risco ou dano à embarcação, antes mesmo dela entrar em operação.

No caso de um lançamento malsucedido, os gastos com reparos podem elevar consideravelmente os custos de construção do navio. Por isso os procedimentos e cálculos de lançamento devem ser bem planejados e avaliados buscando minimizar os riscos inerentes a tal procedimento. Nesse contexto, o trabalho desenvolvido é de grande valia para arquitetos e projetistas, pois permite, por meio de um procedimento relativamente simples e expedito, oferecer uma análise consistente dos esforços ocasionados pelo processo de lançamento longitudinal de uma embarcação de grande porte.

Apesar da pequena variação entre os ângulos de inclinação analisados, é possível constatar que esse parâmetro possui grande influência nos esforços sofridos pelo navio durante o lançamento.

É preciso lembrar que a análise durante o lançamento não considera o peso final estimado para a estrutura leve, e sim uma porcentagem desta. Então a estrutura, que é projetada para suportar esforços com o peso total do navio navegando na presença de ondas, ou seja, condições em teoria mais severas, provavelmente resistirá aos esforços exigidos durante o lançamento.

Julga-se que o objetivo geral proposto para esse trabalho tenha sido alcançado, pois os resultados obtidos, mostraram que a metodologia proposta é

robusta, eficiente e expedita, e pode ser usada na determinação dos esforços estruturais decorrentes do lançamento longitudinal de uma embarcação de grande porte.

Verificou-se ainda que o máximo momento fletor observado durante o lançamento por ser até 67,5% maior que o momento fletor na condição de equilíbrio em mar calmo, considerando a mesma condição de carga. E por fim, verificou-se que esse mesmo momento fletor corresponde a 24% do momento fletor usado pela DNV no dimensionamento da seção mestra da embarcação.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se investigar a influência da geometria do navio no lançamento, podendo usar inclusive os demais modelos da série 60.

Outra proposta seria a variação do comprimento submerso da carreira de lançamento, visto que esse parâmetro influencia no início da rotação e despenhamento do navio.

Sugere-se também investigar as diferenças causadas entre lançamento longitudinais de popa e de proa, ou ainda estudo de lançamentos fazendo o uso de airbags.

Por fim, sugere-se incluir a análise da dinâmica do lançamento, visando considerar eventuais esforços dinâmicos sobre a estrutura.

REFERÊNCIAS

ANDREWS, H. B. Launching. In: COMSTOCK, J. P.; ROSSELL, H. E. (Ed.). **Principles of naval architecture**. Nova York: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1983. p. 752-796.

BROWM, A. R. Disponível em:

<<http://www.navsource.org/archives/09/75/09750302.jpg>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

CARMICHAEL, A. W. **Practical Ship Production**. Nova York: McGraw-Hill Book Company, 1919.

DYMARSKI, Paweł; DYMARSKI, Czesław. A Numerical Model to Simulate the Motion of a Lifesaving Module During its Launching from the Ship'S Stern Ramp. **Polish Maritime Research**, [s.l.], v. 21, n. 2, p.33-40, 1 jan. 2014. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/pomr-2014-0016>.

EYRES, D. J. **Ship construction**. 6. ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2007.

GORDO, J. M. A. M. **Estudo de lançamento de navios em carreira longitudinal**. 2005. Disponível em:

<<http://www.mar.ist.utl.pt/jgordo/tecest/lancamento.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2017.

HOLLAND America Line. 2010. Disponível em:

<<https://www.hollandamerica.com/blog/technical/prinsendam-in-dry-dock/>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

HUGHES, O.F; PAIK, J.K. **Ship Structural Analysis and Design**. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2010.

KANTHARIA, R. **4 Types of ship launching methods**. 2017. Disponível em:

<<http://www.marineinsight.com/guidelines/4-types-of-ship-launching-methods/>>. Acesso em: 04 jun. 2017.

LABES, Thiago Americano. **Modelos Empíricos para Estimativas Preliminares dos Coeficientes de Forma de um Navio Mercante**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

LAMB, Thomas et al. (Ed.). **Ship design and construction**. Jersey City, NJ: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2004.

MANNING, G. C.; GUERRA, Y. T. de B. **Fundamentos de teoria de arquitetura naval: Estática**. Rio de Janeiro: Ministério da Marinha - Imprensa Naval, 1962.

MARINETRAFFIC. 2018. Disponível em: <<https://www.marinetraffic.com/>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

MERCATOR Media. 2013. Disponível em:

<<http://www.motorship.com/news101/industry-news/syncrolift-for-vietnam>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

RAWSON, K.J.; TUPPER, E.C. **Basic Ship Theory**. 5. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

SCHNEEKLUTH, H.; BERTRAM, V. **Ship Design: for Efficiency and Economy**. 2. ed. Oxford: Butterworth-heinemann, 1998.

TANCREDI, T.P. **A estrutura primária do navio**. São Paulo: Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

TODA, Y.; STERN, F.; TANAKA, I.; PATEL, V. **Mean-Flow Measurements in the Boundary Layer and Wake of a Series 60 $C_b=0.6$ Model ship with and without Propeller**. Iowa City, 1988.

TODD, F. H. **Series 60 Methodical Experiments with Models of Single-Screw Merchant Ships**. David Taylor Model Basin, 1963

VOLENYUK, L.s.; RASHKOVSKIY, A.s.. Ship stability analysis during launching from longitudinal sloping slipway by pneumatic airbags. **International Shipbuilding Progress**, [s.l.], v. 64, n. 1-2, p.41-50, 7 dez. 2017. IOS Press. <http://dx.doi.org/10.3233/isp-170136>.

WAGENBORG. 2014. Disponível em: <<https://www.wagenborg.com/royal-wagenborg/news/walk-to-work-vessel-launched-successfully>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

APÊNDICE A - TABELA DE COTAS ESCALONADA

0			18,288	5,471	5,233	54,864	8,695	0,521
			18,288	5,715	6,968	54,864	8,695	1,735
0,000	0,000	0,000	18,288	5,986	8,703	54,864	8,695	3,497
0,000	0,000	0,000	18,288	6,392	10,465	54,864	8,695	5,233
0,000	0,000	0,521				54,864	8,695	6,968
0,000	0,000	1,735	24,384	0,000	0,000	54,864	8,695	8,703
0,000	0,000	3,497	24,384	3,792	0,000	54,864	8,695	10,465
0,000	0,000	5,233	24,384	5,444	0,521			
0,000	0,000	6,968	24,384	6,311	1,735	60,960	0,000	0,000
0,000	0,163	8,703	24,384	6,771	3,497	60,960	8,695	0,000
0,000	0,433	10,465	24,384	6,988	5,233	60,960	8,695	0,521
			24,384	7,205	6,968	60,960	8,695	1,735
3,048	0,000	0,000	24,384	7,422	8,703	60,960	8,695	3,497
3,048	0,081	0,000	24,384	7,638	10,465	60,960	8,695	5,233
3,048	0,433	0,521				60,960	8,695	6,968
3,048	0,623	1,735	30,480	0,000	0,000	60,960	8,695	8,703
3,048	0,704	3,497	30,480	5,634	0,000	60,960	8,695	10,465
3,048	0,758	5,233	30,480	6,826	0,521			
3,048	0,813	6,968	30,480	7,449	1,735	67,056	0,000	0,000
3,048	1,029	8,703	30,480	7,882	3,497	67,056	8,695	0,000
3,048	1,544	10,465	30,480	8,017	5,233	67,056	8,695	0,521
			30,480	8,153	6,968	67,056	8,695	1,735
6,096	0,000	0,000	30,480	8,261	8,703	67,056	8,695	3,497
6,096	0,217	0,000	30,480	8,370	10,465	67,056	8,695	5,233
6,096	0,948	0,521				67,056	8,695	6,968
6,096	1,381	1,735	36,576	0,000	0,000	67,056	8,695	8,703
6,096	1,544	3,497	36,576	7,232	0,000	67,056	8,695	10,465
6,096	1,598	5,233	36,576	7,801	0,521			
6,096	1,679	6,968	36,576	8,207	1,735	73,152	0,000	0,000
6,096	2,004	8,703	36,576	8,451	3,497	73,152	8,370	0,000
6,096	2,600	10,465	36,576	8,532	5,233	73,152	8,505	0,521
			36,576	8,586	6,968	73,152	8,613	1,735
9,144	0,000	0,000	36,576	8,613	8,703	73,152	8,695	3,497
9,144	0,460	0,000	36,576	8,640	10,465	73,152	8,695	5,233
9,144	1,598	0,521				73,152	8,695	6,968
9,144	2,194	1,735	42,672	0,000	0,000	73,152	8,695	8,703
9,144	2,438	3,497	42,672	8,180	0,000	73,152	8,695	10,465
9,144	2,573	5,233	42,672	8,451	0,521			
9,144	2,709	6,968	42,672	8,559	1,735	79,248	0,000	0,000
9,144	3,061	8,703	42,672	8,668	3,497	79,248	7,449	0,000
9,144	3,657	10,465	42,672	8,695	5,233	79,248	7,990	0,521
			42,672	8,695	6,968	79,248	8,342	1,735
12,192	0,000	0,000	42,672	8,695	8,703	79,248	8,640	3,497
12,192	0,867	0,000	42,672	8,695	10,465	79,248	8,695	5,233
12,192	2,329	0,521				79,248	8,695	6,968
12,192	3,061	1,735	48,768	0,000	0,000	79,248	8,695	8,703
12,192	3,386	3,497	48,768	8,695	0,000	79,248	8,695	10,465
12,192	3,548	5,233	48,768	8,695	0,521			
12,192	3,738	6,968	48,768	8,695	1,735	85,344	0,000	0,000
12,192	4,117	8,703	48,768	8,695	3,497	85,344	6,149	0,000
12,192	4,659	10,465	48,768	8,695	5,233	85,344	7,097	0,521
			48,768	8,695	6,968	85,344	7,719	1,735
18,288	0,000	0,000	48,768	8,695	8,703	85,344	8,342	3,497
18,288	2,086	0,000	48,768	8,695	10,465	85,344	8,532	5,233
18,288	3,927	0,521				85,344	8,640	6,968
18,288	4,794	1,735	54,864	0,000	0,000	85,344	8,695	8,703
18,288	5,228	3,497	54,864	8,695	0,000	85,344	8,695	10,465

			103,632	6,853	6,968	115,824	0,785	1,735
91,440	0,000	0,000	103,632	7,665	8,703	115,824	0,921	3,497
91,440	4,632	0,000	103,632	8,180	10,465	115,824	1,436	5,233
91,440	5,878	0,521				115,824	3,196	6,968
91,440	6,690	1,735	109,728	0,000	0,000	115,824	4,984	8,703
91,440	7,557	3,497	109,728	0,677	0,000	115,824	6,121	10,465
91,440	8,072	5,233	109,728	1,679	0,521			
91,440	8,370	6,968	109,728	2,140	1,735	118,872	0,000	0,000
91,440	8,586	8,703	109,728	2,736	3,497	118,872	0,135	0,000
91,440	8,695	10,465	109,728	3,711	5,233	118,872	0,190	0,521
			109,728	5,336	6,968	118,872	0,190	1,735
97,536	0,000	0,000	109,728	6,663	8,703	118,872	0,217	3,497
97,536	3,007	0,000	109,728	7,449	10,465	118,872	0,379	5,233
97,536	4,442	0,521				118,872	1,977	6,968
97,536	5,255	1,735	112,776	0,000	0,000	118,872	3,873	8,703
97,536	6,311	3,497	112,776	0,379	0,000	118,872	5,119	10,465
97,536	7,178	5,233	112,776	1,111	0,521			
97,536	7,801	6,968	112,776	1,436	1,735	121,920	0,000	0,000
97,536	8,261	8,703	112,776	1,815	3,497	121,920	0,000	0,000
97,536	8,559	10,465	112,776	2,546	5,233	121,920	0,000	0,521
			112,776	4,334	6,968	121,920	0,000	1,735
103,632	0,000	0,000	112,776	5,932	8,703	121,920	0,000	3,497
103,632	1,625	0,000	112,776	6,880	10,465	121,920	0,000	5,233
103,632	2,952	0,521				121,920	0,785	6,968
103,632	3,711	1,735	115,824	0,000	0,000	121,920	2,492	8,703
103,632	4,632	3,497	115,824	0,190	0,000	121,920	3,819	10,465
103,632	5,742	5,233	115,824	0,623	0,521			