

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

BARBARA MARCUCCI SANSONIO

ANÁLISE DO LEAD E BALANCEAMENTO LONGITUDINAL DE UM VELEIRO DO
TIPO MONOCASCO, DESLOCANTE E COM QUILHA PROFUNDA

Joinville

2018

BARBARA MARCUCCI SANSONIO

ANÁLISE DO LEAD E BALANCEAMENTO LONGITUDINAL DE UM VELEIRO DO
TIPO MONOCASCO, DESLOCANTE E COM QUILHA PROFUNDA

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel no Curso de
Graduação em Engenharia Naval do Centro
Tecnológico de Joinville da Universidade
Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Ricardo Aurélio Pinto

Joinville

2018

BARBARA MARCUCCI SANSONIO

ANÁLISE DO LEAD E BALANCEAMENTO LONGITUDINAL DE UM VELEIRO DO
TIPO MONOCASCO, DESLOCANTE E COM QUILHA PROFUNDA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Banca Examinadora:

Prof. Ricardo Aurélio Pinto
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Thiago Pontin Tancredi
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. André Luis Condino Fugarra
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, Francisco, Regina, Rosangela, Alessandro, Débora, Jura e Vera, que me proporcionaram amor, ensinamentos e apoio moral, e que depositaram confiança em meus julgamentos e decisões.

Aos colegas e amigos que me acompanharam durante o período de faculdade e transformaram esses anos nos melhores da minha vida, proporcionando momentos inesquecíveis e se tornando a minha segunda família.

Ao meu orientador, Prof. Ricardo Aurélio, pela sua disponibilidade, pelo seu auxílio e sabedoria, que foram compartilhados ao longo do último ano e que foram determinantes na realização deste trabalho.

Ao corpo docente e técnicos administrativos da UFSC Joinville, por toda ajuda e conhecimento que me fizeram chegar até este ponto.

RESUMO

O lead é determinante no equilíbrio direcional de um veleiro, sendo obtido através da diferença axial entre os posicionamentos do centro de força resultante hidrodinâmica das obras vivas (CLR) e do centro de força resultante aerodinâmica do velame (CE). O balanceamento longitudinal entre as obras vivas é fundamental na localização da resultante hidrodinâmica, que pode ser avaliada através de diferentes modelos. Um deles tem como base o centro geométrico da carena e seus apêndices (CG) e o outro as componentes dos esforços hidrodinâmicos atuantes na quilha. Este trabalho visa comparar o posicionamento do CLR, obtido através do método empírico de Larsson e Eliasson (2007), e do CG, obtido a partir da projeção geométrica da carena e seus apêndices, para diferentes ângulos de banda de um veleiro, analisando a sua influência no balanceamento longitudinal. O procedimento será realizado no programa computacional Rhinoceros, tendo como auxílio o seu plug-in ORCA 3D, utilizando a embarcação YD-40, classificada como um modelo de casco único, deslocante e que apresenta quilha longa. Os principais objetivos foram cumpridos, permitindo a conclusão de que a alteração do ângulo de banda causará uma alocação no posicionamento do CLR e do CG. O trabalho também realiza um levantamento dos questionamentos obtidos a partir do estudo, visando um aprimoramento dos resultados e possibilitando a realização de trabalhos futuros.

Palavras-Chave: Veleiros. Balanceamento Longitudinal. Equilíbrio Direcional. Ângulos de Banda. Rhinoceros.

ABSTRACT

Lead is decisive in the directional balance of a sailboat, being obtained through the axial difference between the locations of the center of effort of the underwater body (CLR) and of the sails (CE). The longitudinal balance of the underwater body is essential in the location of the hydrodynamic force that can be evaluated by different methods. One of them is based on the geometric center of the submerged portion of the sailboat (CG) and the other on the components of the hydrodynamic stresses acting on the keel. This paper aims to compare the locations of the CLR, obtained through the empirical method of Larsson e Eliasson (2007), and the position of the CG, obtained by the geometric projection of the underwater body, for different roll angles of a sailboat, analyzing its influence on the longitudinal balance. The procedure will be carried out in the computer program Rhinoceros, with the help of its plug in ORCA 3D, using the YD-40 ship, classified as displacement, monohull, with fin keel model. The main goals were achieved, allowing the conclusion that the changing of the roll angles will cause a shift in the location of the CLR and CG. The paper also carries out a survey of the questions raised from the study, aiming an improvement of the results and making future works possible.

Keywords: Sailboat. Longitudinal Balance. Directional Balance. Roll Angles. Rhinoceros.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLR – Centro de Resistência Lateral (Centre of Lateral Resistance)

CE – Centro de Esforço da vela (Centre of Effort)

CG – Centro Geométrico (Geométric Center)

ISO – International Organization for Standardization

GM – Altura Metacêntrica (Metacentric Hight)

LOA – Comprimento máximo (Lenght Overall)

LWL – Comprimento da Linha d'água (Lenght of Water Line)

LCG – Posicionamento longitudinal do Centro de Gravidade (Longitudinal Center of Gravity)

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LEAD	14
FIGURA 2 - ESQUEMA DO PERFIL DE UMA QUILHA	17
FIGURA 3 - QUILHA DUPLA	18
FIGURA 4 - LEME DUPLO.....	19
FIGURA 5 - VELEIRO DO TIPO MONOCASCO.....	20
FIGURA 6 - VELEIRO DO TIPO CATAMARÃ	20
FIGURA 7 - VELEIRO DO TIPO TRIMARÃ.....	21
FIGURA 8 - VELEIRO DESLOCANTE.....	22
FIGURA 9 - VELEIRO PLANANTE.....	23
FIGURA 10 – QUILHA PATILHÃO	24
FIGURA 11 – QUILHA LONGA	24
FIGURA 12 – QUILHA COM ASA.....	25
FIGURA 13 – QUILHA BULBOSA	25
FIGURA 14 – QUILHA DUPLA.....	26
FIGURA 15 - BOLINA RETRÁTIL.....	26
FIGURA 16 - SLOOP	27
FIGURA 17 - MASTREAÇÃO FRACIONADA	28
FIGURA 18 - CUTTER	28
FIGURA 19 – KETCH.....	29
FIGURA 20 – SCHOONER.....	29
FIGURA 21 - YAWL.....	30
FIGURA 22 - CE DA VELA PARA DIFERENTES ÂNGULOS DE ATAQUE.....	31
FIGURA 23 - CENTRO DO ESFORÇO VÉLICO	32
FIGURA 24 - MOVIMENTOS DE UMA EMBARCAÇÃO.....	33
FIGURA 25 - MOVIMENTOS DE UM NAVIO	33
FIGURA 26 - ACOPLAMENTO DE GUINADA NO MAR.....	37
FIGURA 27 - ABATIMENTO LATERAL	38
FIGURA 28 - DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO DO CLR	41
FIGURA 29 - COMPARAÇÃO GEOMÉTRICA	42
FIGURA 30 - COMPARAÇÃO ENTRE UMA EMBARCAÇÃO E UM AVIÃO	42
FIGURA 31 - PLANO DE LINHAS.....	44

FIGURA 32- VISTA PERSPECTIVA DO CASCO.....	47
FIGURA 33 - VISTA DE TOPO DO CASCO	48
FIGURA 34 - INPUT DAS SEÇÕES NO CASCO	49
FIGURA 35 - SEÇÕES	49
FIGURA 36 - ANALISE DO DESIGN HIDROSTÁTICO DO CASCO.....	50
FIGURA 37 - ANÁLISE HIDROSTÁTICA E DE ESTABILIDADE.....	50
FIGURA 38- CARENA PLANIFICADA.....	51
FIGURA 39 – POSICIONAMENTO DO CG	52
FIGURA 40 - 25% DO COMPRIMENTO DA CORDA DA QUILHA	53
FIGURA 41 - 45% DO CALADO	53
FIGURA 42 – POSICIONAMENTO DO CLR	54
FIGURA 43 - COMPARAÇÃO DO CG VERTICALMENTE.....	57
FIGURA 44 - COMPARAÇÃO DO CG HORIZONTALMENTE.....	58
FIGURA 45 - COMPARAÇÃO DO CLR VERTICALMENTE.....	61
FIGURA 46 - COMPARAÇÃO DO CLR HORIZONTALMENTE.....	62
FIGURA 47 - COMPORTAMENTO DO PLANO DE LINHA D'ÁGUA PEQUENOS ÂNGULOS	65
FIGURA 48 - COMPORTAMENTO DO PLANO DE LINHA D'ÁGUA.....	66

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DIMENSÕES PRINCIPAIS YD-40	45
TABELA 2 - PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO ESCOAMENTO.....	46
TABELA 3 - COMPARAÇÃO DE RESULTADOS CG.....	56
TABELA 4 - COMPARAÇÃO DE RESULTADOS CLR.....	60
TABELA 5 – COMPARAÇÃO DE RESULTADOS PARA PEQUENOS ÂNGULOS	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	13
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 CLASSIFICAÇÕES DOS VELEIROS.....	16
2.1.1 FUNÇÕES DA QUILHA E DO LEME.....	16
2.1.2 TIPOS DE CASCOS	19
2.1.3 TIPOS DE QUILHA	23
2.1.4 TIPOS DE VELAME	27
2.2 CENTRO DE ESFORÇO DA VELA	30
2.3 MOVIMENTOS A QUE ESTÃO SUJEITAS AS EMBARCAÇÕES.....	32
2.3.1 MOVIMENTO DE ROLL	34
2.3.2 MOVIMENTO DE YAW	36
2.4 ABATIMENTO LATERAL.....	38
2.5 MÉTODOS ANALÍTICOS	39
2.5.1 MÉTODO DE GERRISTMA.....	39
2.5.2 MÉTODO DE NOMOTO E TATANO	39
2.5.3 MÉTODO DE LARSSON E ELIASSON.....	40
3 METODOLOGIA.....	43
4 DESENVOLVIMENTO.....	44
4.1 SELEÇÃO DO MODELO DE VELEIRO.....	44
4.1.1 CÁLCULO DO REGIME DE SUSTENTAÇÃO	45
4.1.2 CÁLCULO DO ESCOAMENTO	46
4.2 MODELAGENS DOS CASCOS	47
4.3 OBTENÇÕES DOS RESULTADOS PELO MÉTODO EMPÍRICO	48
4.3.1 OBTENÇÃO DO CG NOS CASCOS	51
4.3.2 OBTENÇÃO DO CLR NOS CASCOS	52
5 RESULTADOS	55
5.1 POSICIONAMENTOS DO CG	55
5.2 POSICIONAMENTOS DO CLR.....	59
5.3 COMPARAÇÕES DOS PLANOS DE LINHAS D'ÁGUA.....	65

6 CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A - RESULTADOS HIDROSTÁTICOS E ESTÁTICOS	72
APÊNDICE B – CÁLCULO DO CG E CLR	76

1 INTRODUÇÃO

Segundo Edmund (1998), para que o veleiro apresente uma navegação equilibrada, os centros de atuação da força resultante hidrodinâmica (CLR) no casco e aerodinâmica na vela (CE) devem exibir coordenadas axiais distintas, de tal forma que a embarcação apresente, preferencialmente, uma tendência a orçar na navegação contra-vento. A distância horizontal entre os dois centros pode ser denominada como lead ou balance e é expressa como uma porcentagem do comprimento da linha d'água.

Um lead inadequado pode causar um comportamento indesejável na trajetória do veleiro, sobrecarregando a ação do leme para a correção da direção, causando assim, um maior arrasto. Segundo Ocean Sail (2018) a pressão do leme se comporta como um freio, desacelerando a embarcação, deste modo, os veleiros desequilibrados são ineficientes e aumentam de forma prejudicial ação do leme e do piloto automático.

De acordo com Edmund (1998) e Larsson e Eliasson (2007), o conhecimento teórico sobre o posicionamento da resultante das forças aero e hidrodinâmica atuantes em veleiros ainda encontra-se muito escasso, dificultando a tarefa dos projetistas navais. Esta configuração influencia na estabilidade do perfil longitudinal da parcela submersa do casco, sendo muito importante para eficiência da estabilidade transversal e direcional da embarcação construída.

O balanceamento longitudinal de um veleiro consiste no equilíbrio das forças atuantes na parcela submersa do casco e seus apêndices, sendo essencial na determinação da força resultante hidrodinâmica, do CLR e, conseqüentemente, do lead.

O modelo empírico deste balanceamento longitudinal foi introduzido por Gerritsma (1971) com o objetivo de determinar a posição do centro de atuação da força hidrodinâmica aplicada no casco de um veleiro. Posteriormente, esse método foi aprimorado por Nomoto e Tatano (1979). Larsson e Eliasson (2007) propuseram a determinação do CLR com base na analogia do perfil da asa de um avião, considerando o ponto de lift (sustentação) como sendo máximo.

O objetivo deste estudo é identificar se diferentes ângulos de banda poderão interferir no posicionamento do centro de resistência lateral obtido pelo método de Larsson e Eliasson (2007). Dessa forma, será necessária a modelagem do mesmo modelo de veleiro utilizado pelos autores em sua literatura.

O modelo de embarcação que será utilizado neste trabalho é o YD-40, sendo classificado como um veleiro do tipo monocasco, deslocante e que apresenta uma quilha fin keel (quilha longa). Dessa forma, os resultados obtidos nesta análise, servirão como base apenas para este gênero em específico.

A análise será desenvolvida com o auxílio do software de modelagem naval Rhinoceros e seu plug in ORCA 3D, que serão responsáveis pelo desenvolvimento do casco e a simulação dos ângulos.

1.1 OBJETIVOS

Aprimorar o conhecimento do balanceamento das forças aero e hidrodinâmica atuantes em veleiros.

1.1.1 Objetivo Geral

Verificar a influência de diferentes ângulos de banda no posicionamento do centro de resistência lateral encontrado pelo método proposto pelos autores Larsson e Eliasson (2007)

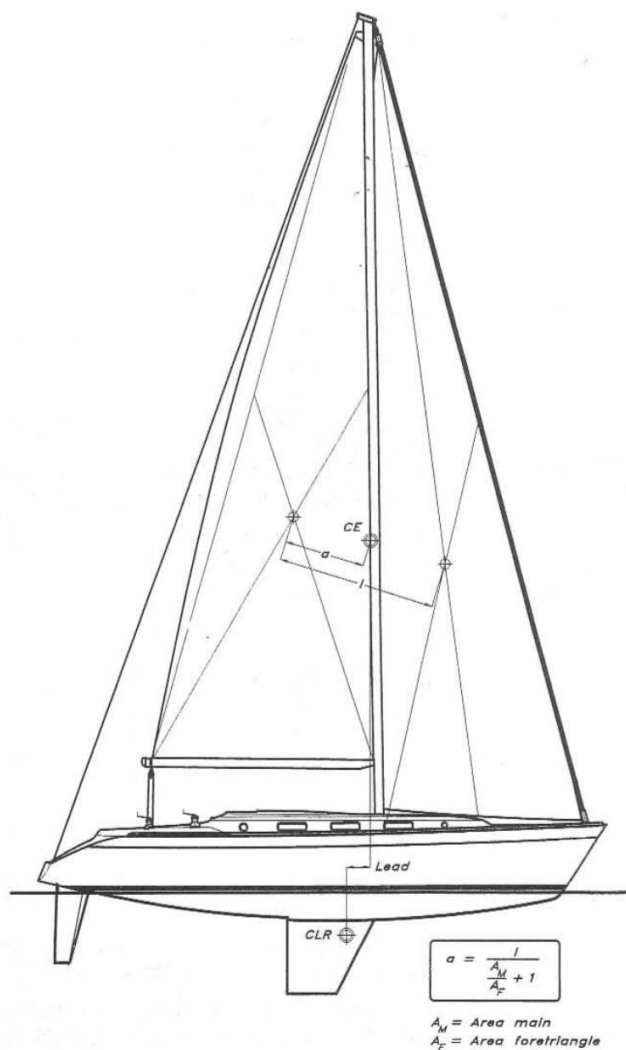
1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar o método de determinação do CLR de Larsson e Eliasson (2007);
- Modelar o casco apresentado por Larsson e Eliasson (2007) utilizando o software Rhinoceros com o plug in ORCA 3D;
- Determinar o CG para diversos ângulos de banda;
- Avaliar o posicionamento do CLR para diversos ângulos de banda;
- Comparar resultados dos CGs para diversos ângulos de banda;
- Comparar resultados dos CLR obtidos pelo método de Larsson e Eliasson (2007) para diversos ângulos de banda;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O equilíbrio do veleiro está diretamente relacionado com o lead, e conseqüentemente, com os posicionamentos dos centros de esforço da vela e o centro de resistência lateral hidrodinâmico no casco. De acordo com Larsson e Eliasson (2007) eles devem se encontrar desalinhados para forçar uma leve tendência a orça dos veleiros, ou seja, uma tendência do barco de alinhar sua proa com o vento. Dessa forma, garante-se que a embarcação pare no contravento ao invés de prosseguir, caso ocorra algum problema a bordo. Na Figura 1 pode-se observar um esquema do funcionamento do lead.

Figura 1 - Lead



Fonte: Larsson e Eliasson (2007)

Já segundo Edmund (1998), o lead para um veleiro que apresenta múltiplos cascos é considerado como sendo um caso completamente distinto, e geralmente o seu valor tende a ser próximo de zero. As forças hidrodinâmica que atuam no casco são variáveis e dependendo do clima o casco a barlavento pode se encontrar de duas formas: parcialmente dentro d' água ou completamente externo a ela. Para o último caso, a força resultante da vela localiza-se a barlavento da área do plano lateral único ou combinado dos cascos. Dessa forma, obtém-se um momento de giro que direciona a embarcação em direção ao vento, sendo um fato predominante em alguns multicascos.

O desbalanceamento entre as forças hidrodinâmica e aerodinâmica tem um efeito negativo no desempenho da embarcação de veleiro, pois faz-se necessária a realização de uma correção em sua trajetória, causando um sobrecarregamento no leme e aumento do arrasto.

Segundo Richard Jordan (2011), existe alguns procedimentos que podem ser aplicados com intuito de aprimorar o balanceamento do leme modificando a localização do CE e CLR, tanto a ré como avante. Segundo o autor:

1. Localização do mastro: se o mastro se encontrar muito a ré na embarcação pode ocorrer uma tendência a orça excessiva, desbalanceando a sua trajetória. O posicionamento do CE pode acabar alinhado ou atrás do CLR;

2. Utilização de gurupés: são adicionados a embarcações que apresentem uma tendência a orça excessiva. Dessa maneira, o estai de proa é fixado ao gurupés resultando em um aumento da área vélica da embarcação e em uma modificação do posicionamento do CE avante;

3. Aplicação do rizo nas velas: é uma maneira de mover o CE em qualquer direção desejada. Com este procedimento, reduz-se a área da vela principal (grande) ou da vela de proa e, conseqüentemente, podendo alterar o posicionamento do CE;

4. Rake do mastro (pré band): esse procedimento consiste na obtenção de uma curvatura do mastro no sentido a ré, tendo uma maior incidência na extremidade superior quando ele for conificado. Conseqüentemente, torna-se responsável por mover o CE a ré;

5. Posicionamento da bolina: ao abaixar o posicionamento da bolina, move-se o CLR avante, diminuindo a tendência de arribação (lee helm);

6. Distribuição do peso: influência no posicionamento do CLR. Deve-se distribuir o peso de forma que o CLR não se encontre nem muito a ré no casco e nem alinhado ou avante do CE, ou seja, distribuir os pesos de forma a não alterar o posicionamento do CG e do CLR conforme previstos em projeto;

7. Inclinação longitudinal: essa inclinação modifica o formato do casco submerso, alterando a localização do CLR. Uma inclinação a sotavento posicionará o CLR mais a ré, movendo o veleiro na direção ao vento. Ao diminuir a inclinação, diminui-se a tendência a orça.

A localização do mastro, utilização de gurupés, aplicação do rizo nas velas, e o rake do mastro podem influenciar no posicionamento do CE, enquanto o posicionamento da bolina, a distribuição de peso e a inclinação longitudinal alteram o CLR.

2.1 CLASSIFICAÇÕES DOS VELEIROS

O veleiro é um tipo de embarcação que se propela através da ação do vento efetuada nas duas faces do velame. Já as forças resultantes do ambiente, como ventos, ondas e correntes são responsáveis por afetar diretamente o seu movimento. (NORMAM-03,2003)

2.1.1 Funções da quilha e do leme

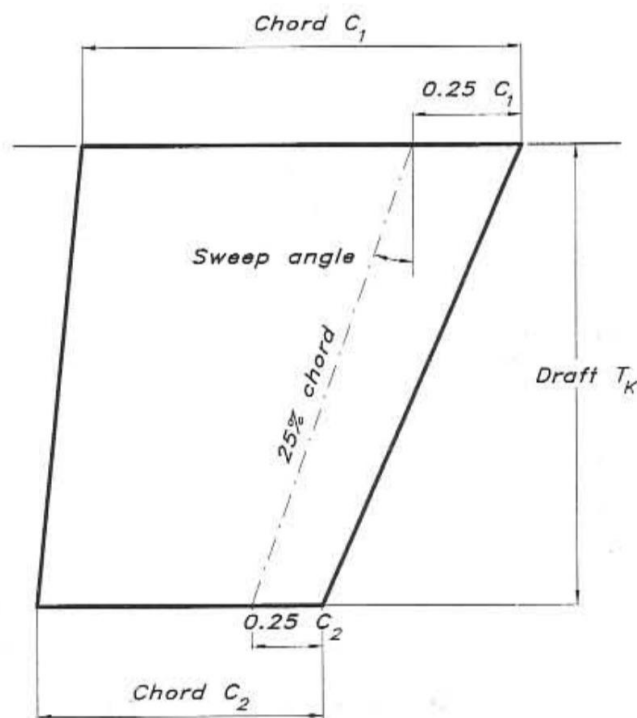
Segundo Ocean Sail (2018), as principais funções da quilha e do leme em um veleiro são de resistir às forças laterais aplicadas a embarcação, evitando o seu abatimento, quando esta veleja em ventos que não sejam de popa, e também são responsáveis por direcionar o barco. Isso ocorre devido à geração de forças laterais, que reagem ao fluxo da água quando esta passa por esses apêndices.

De acordo com Larsson e Eliasson (2007), a geometria e funcionamento da quilha e do leme são consideradas como sendo similares com as da asa de um avião. Dessa forma, as forças laterais mencionadas acima também são conhecidas como lift, pois são geradas da mesma maneira que a força de sustentação produzida pela asa do avião. A diferença entre eles se encontra no fato de que a quilha e o leme são posicionados verticalmente no casco, fazendo com que o lift seja aplicado horizontalmente, ao contrario do que ocorre no avião. Além disso, também são geradas forças de arrasto em reação aos esforços hidrodinâmicos.

Ainda segundo o artigo redigido por Ocean Sail (2018), o ângulo de ataque da quilha e do leme é responsável por determinar de que forma o lift será obtido. Como as suas seções transversais são simétrica, o lift é gerado de forma equivalente nas regiões de bombordo e estibordo. Portanto, para este tipo de perfil (quilha e leme), o lift é produzido a partir do

alinhamento entre o seu ângulo de ataque e o fluxo do fluido. A Figura 2 explica a terminologia acima.

Figura 2 - Esquema do perfil de uma quilha



Fonte: Larsson e Eliasson (2007)

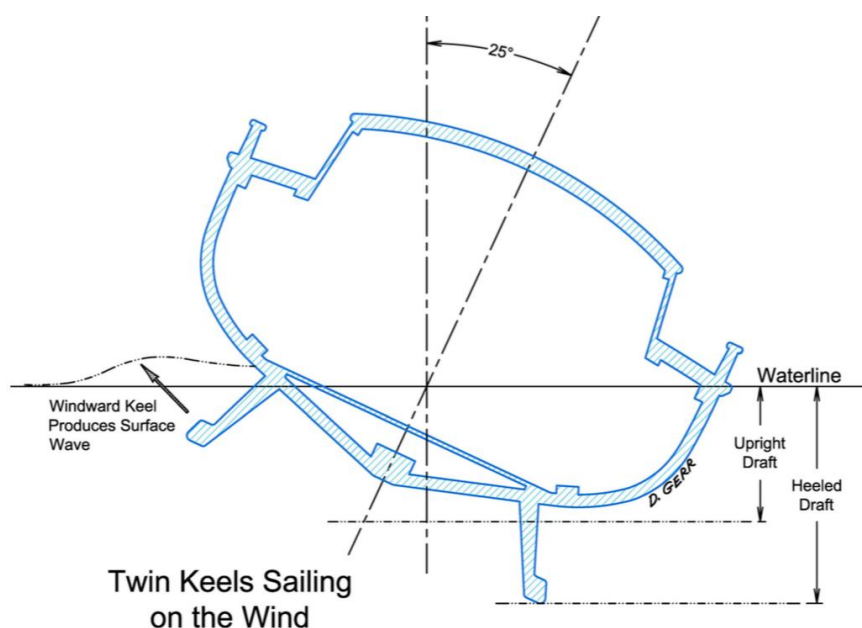
De acordo com o artigo citado acima, existem alguns fatores que devem ser levados em consideração quando se relaciona o lift aos perfis. Esses fatores podem ser observados a seguir.

1. A quantidade de lift produzido é proporcional ao ângulo de ataque (até certo ponto);
2. Há um limite para a quantidade de lift que pode ser gerada a uma determinada velocidade. Se o ângulo de ataque sofrer um aumento elevado, o perfil se tornará estacionário fazendo com que o lift gerado por ele sofra uma diminuição drástica;
3. A quantidade de lift é proporcional ao quadrado da velocidade;

4. O arrasto também aumenta de acordo com o ângulo de ataque (até o ponto de parada);

Segundo Gerr (2012), as quilhas duplas e lemes duplos se tornaram mais usuais atualmente. A quilha dupla é responsável por proporcionar um calado menos profundo e possibilitar que o veleiro se posicione de forma ereta, estável e nivelada com relação ao solo. Porém, no que diz respeito à navegação de um veleiro, as quilhas duplas são menos eficientes do que uma fin keel (quilha profunda), pois quando a embarcação sofre uma inclinação (heel) e navega contra o vento, apenas a quilha de sotavento realiza um trabalho considerável. A quilha de barlavento é utilizada apenas para o passeio. Isso significa que cada uma das quilhas individuais precisa apresentar uma área da aleta semelhante à de uma fin keel. A Figura 3 exemplifica o esquema de uma embarcação com ângulo de heel, que apresenta quilha dupla.

Figura 3 - Quilha dupla

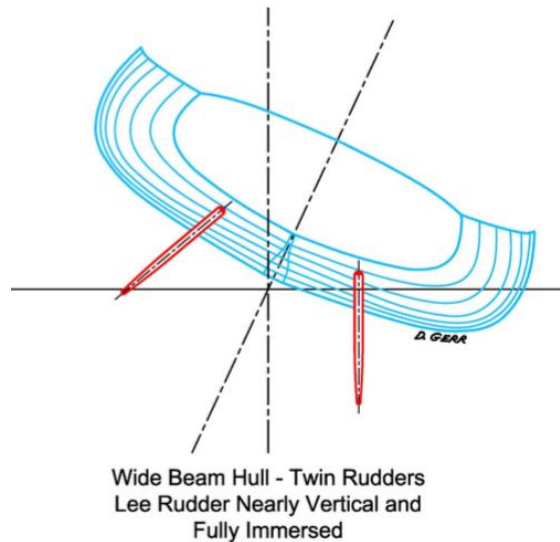


Fonte: Gerr (2012)

Ainda de acordo com Gerr (2012), o leme duplo corrige o problema de aeração, apresentado nos casos de inclinação de cascos que possuem um único leme. Nestes casos, o ar do lado de barlavento é quase sempre absorvido pela lâmina do leme, causando uma navegação imprevisível. Com a utilização dos lemes duplos, a embarcação torna a apresentar

uma direção confiável. A Figura 4 exemplifica o comportamento de uma embarcação com leme duplo ao ser inclinada.

Figura 4 - Leme duplo



Fonte: Gerr (2012)

Como o presente trabalho foca no estudo de veleiros que apresentam apenas uma quilha fin keel e um leme, não será aprofundada a análise do cálculo do balanceamento longitudinal de veleiros com quilhas e lemes duplos.

2.1.2 Tipos de Cascos

De acordo com um artigo redigido por Carol Cronin (2015) existem, atualmente, diversos gêneros de veleiros, que podem ser classificados a partir de três características principais: tipo de casco, quilha e configuração do mastro e das velas. Essas características são determinadas a partir da finalidade de utilização do veleiro sendo esta, principalmente, para recreio e regata.

Ainda segundo a autora, a classificação do veleiro a partir do tipo de casco está relacionada ao número de cascos que a embarcação apresenta, podendo ser um monocasco, um catamarã (dois cascos) ou um trimarã (três cascos). Por mais que o gênero monocasco seja o mais comum, existem algumas vantagens na utilização dos outros dois modelos como maior velocidade e estabilidade. Eles se destacam na estabilidade, pois apresentam um maior momento de inércia longitudinal (devido a distância entre os seus múltiplos cascos).

Exemplos de veleiros do tipo monocasco, catamarã e trimarã podem ser observados nas Figuras 5, 6 e 7 respectivamente.

Figura 5 - Veleiro do tipo monocasco



Fonte: Cruising world (2018)

Figura 6 - Veleiro do tipo catamarã



Fonte: Cruising Yachts (2018)

Figura 7 - Veleiro do tipo trimarã



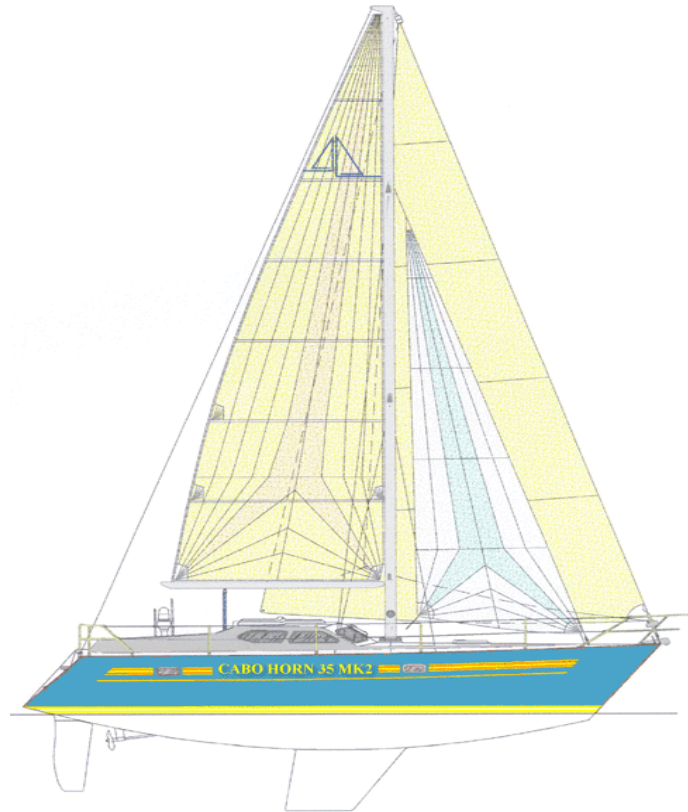
Fonte: Grainger Designs (2018)

Outra classificação existente referente aos tipos de casco é apresentada pela norma ISO 12215-5 (2008), que os configura segundo a sua geometria, podendo ser deslocante ou plante.

De acordo com a norma citada acima, o modo deslocante de funcionamento de uma embarcação no mar ocorre de tal forma que a sua massa é suportada principalmente pelas forças de flutuação. Dessa forma, uma embarcação é definida como deslocante quando a sua velocidade máxima em águas planas e suas condições de deslocamento de massa (mLDC), definidas pelo seu fabricante, são representadas através da Equação 2. A Figura 8 exemplifica um modelo de veleiro deslocante.

$$\frac{v}{\sqrt{Lwl}} < 5 \quad (2)$$

Figura 8 - Veleiro Deslocante



Fonte: Roberto Barros Yacht Design (2018)

Ainda segundo a ISO 12215-5 (2008), uma embarcação é definida como planante quando a sua velocidade máxima em águas planas e suas condições de deslocamento de massa, definidas pelo seu fabricante, se comportam segundo mostrado pela Equação 3.

$$\frac{v}{\sqrt{Lwl}} > 5 \quad (3)$$

É importante ressaltar que a razão de velocidade/comprimento pode variar de uma embarcação para outra de acordo com parâmetros como o formato do casco. Na Figura 9 observa-se um modelo de veleiro planante.

Figura 9 - Veleiro planante



Fonte: Sailing Scuttlebutt (2018)

2.1.3 Tipos de Quilha

Para o tipo de quilha, Carol Cronin (2015) as diferencia a partir de seu formato, e podendo ser classificadas da seguinte maneira:

1. Full-length keel (quilha patilhão): para promover sustentação (empuxo) e um lastro adequado do casco este modelo utiliza um maior comprimento ao invés da profundidade. Geralmente o leme é ligado à sua extremidade traseira;

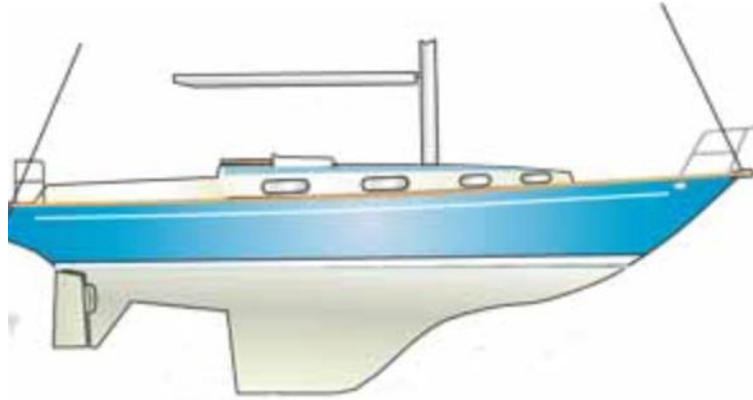
Figura 10 – Quilha Patilhão



Fonte: Sailing Simplicity (2018)

2. Fin keel (quilha longa): apresenta uma maior profundidade e menor comprimento em comparação ao comprimento total do casco. A quilha e o leme se encontram separados;

Figura 11 – Quilha longa



Fonte: Sailboat Cruising (2018)

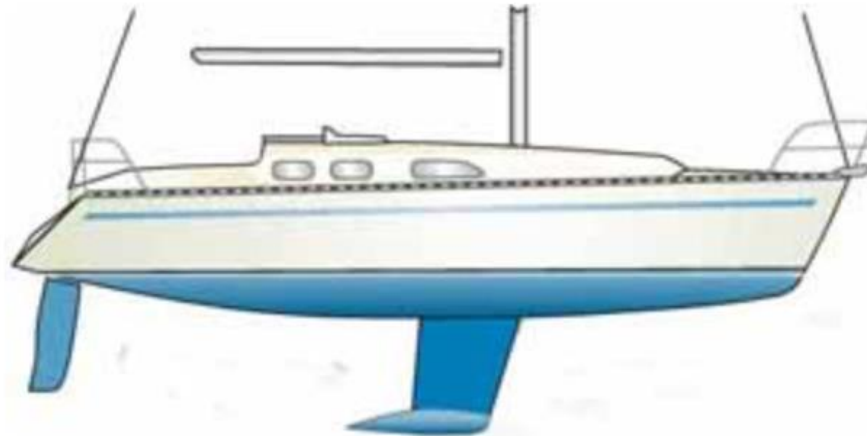
3. Wing or bulb keel (quilha com asa e quilha bulbosa): foram criadas com o objetivo de melhorar o momento de endireitamento sem adicionar muito peso;

Figura 12 – Quilha com Asa



Fonte: Beneteau (2018)

Figura 13 – Quilha bulbosa



Fonte: Sailboat Cruising (2018)

4. Bilge keel (quilha dupla): veleiros que apresentam este modelo de quilha são capazes de permanecer eretos na areia ou lama em marés mais baixas. As bilge keels não são tão eficazes quanto às quilhas centrais quando se trata da redução do deslizamento lateral (leeway).

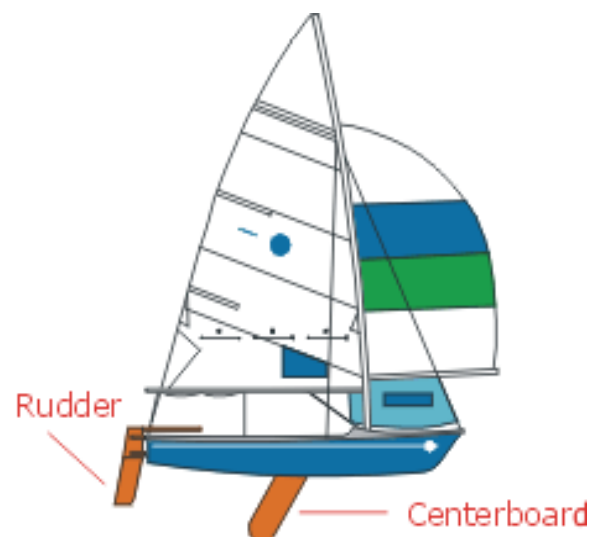
Figura 14 – Quilha Dupla



Fonte: Sirius Werft (2018)

5. Centerboard or daggerboard (bolina retrátil): permitem que seu posicionamento seja ajustado pela tripulação. Quando abaixado, promovem benefícios semelhantes à quilha, embora estejam frequentemente sem lastro em barcos menores.

Figura 15 - Bolina retrátil



Fonte: Boating basics online (2018)

2.1.4 Tipos de Velame

A última característica de classificação dos veleiros, mencionada anteriormente, é a configuração dos mastros e velas. Carol Cronin (2015), descreve alguns dos modelos mais usuais como sendo:

1. Sloop: conhecido como o modelo de mastreação mais comum, apresenta um mastro onde são atadas duas velas, sendo uma a vela mestra (grande) e outra a vela de proa;

Figura 16 - Sloop



Fonte: Thoughtco (2018)

2. Mastreação fracionada (fractional rig sloop): o forestay não alcança o topo do mastro, sendo conectado em um ponto mais baixo. Existem vantagens para esse tipo de configuração, pois o fractional rig permite que o topo do mastro seja dobrado e as velas sejam dobradas em casos onde a energia total não é necessária (dias com bastante vento);

Figura 17 - Mastreação fracionada



Fonte: Sailboat cruising

3. Cutter: apresenta apenas um mastro e uma vela mestra (grande), mas o mastro encontra-se mais à ré para permitir espaço para dois estai de proa provenientes de duas forestays. Esse modelo é um dos favoritos para veleiros de cruzeiro, pois oferece uma gama de combinações de vela que são facilmente manipuladas para diferentes forças de vento;

Figura 18 - Cutter



Fonte: Sailrite (2018)

4. Ketch: este modelo apresenta um segundo mastro mais curto que fica localizado a ré do mastro principal, mas à frente do poste do leme. O segundo mastro é chamado mastro de mizena;

Figura 19 – Ketch



Fonte: Denison yacht sales (2018)

5. Schooner: apresenta o mastro de popa mais alto que seu de mastro proa. As escunas podem ter até seis mastros, embora a maioria tenha apenas dois;

Figura 20 – Schooner



Fonte: North sailing (2018)

6. Yawl: este modelo é semelhante ao ketch, porém a diferença é que o mastro mizena em um yawl se encontra a ré do poste do leme, de modo que a vela mizena seja menor;

Figura 21 - Yawl



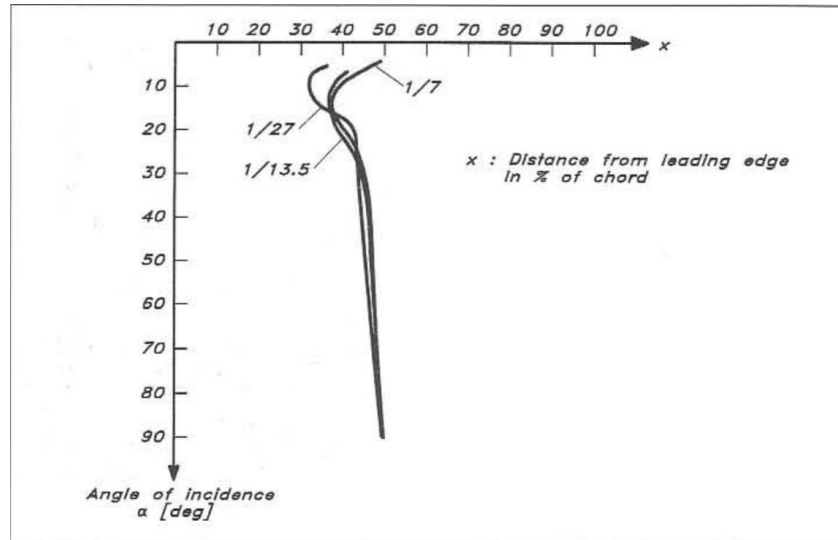
Fonte: Britannica (2018)

2.2 CENTRO DE ESFORÇO DA VELA

Segundo Larsson e Eliasson (2007), quando o vento realiza um ângulo de ataque de 90° com a vela, o seu centro de esforço encontra-se na mesma posição que o seu centro geométrico, caso comumente visto quando há vento de popa. Para esta situação, o CE pode ser calculado a partir da projeção geométrica da vela.

Já para os outros tipos de curso, o ângulo de ataque tende a ser menor e a posição do CE tende a se encontrar mais avante. Na Figura 22, pode-se observar a influência do ângulo de ataque no posicionamento do centro de esforço.

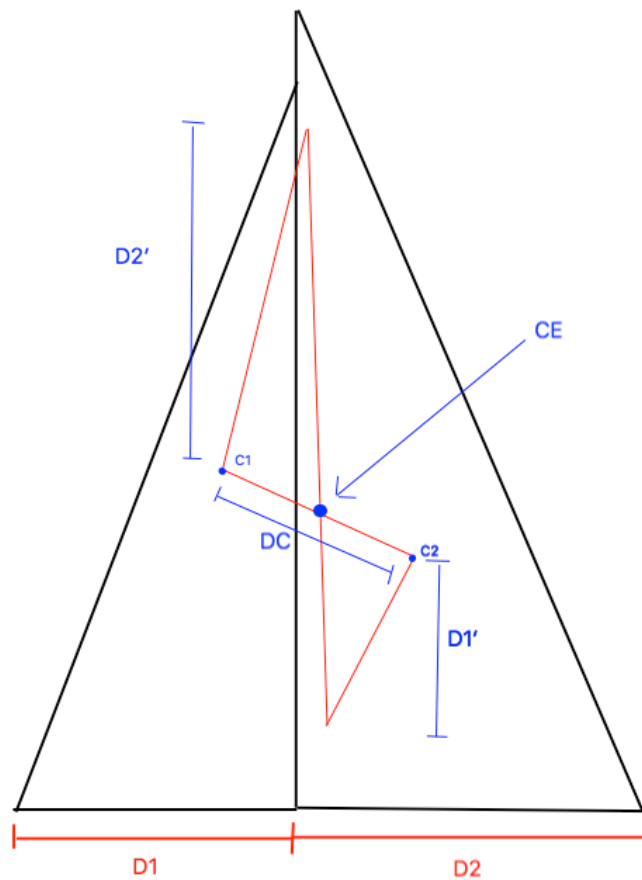
Figura 22 - CE da vela para diferentes ângulos de ataque



Fonte: Larsson, Eliasson (2007)

Segundo Edmund (1998), o centro de esforço de uma vela triangular, baseia-se na geometria da mesma e pode ser computado a partir do desenho de uma linha reta que parte de cada extremidade e é direcionada ao centro do lado oposto. Para veleiros que apresentam mais de uma vela, encontra-se o centro vélico de cada uma e realiza-se uma média ponderada entre os valores para a obtenção do centro da área vélica total correspondente ao CE. Esse cálculo pode ser observado a partir da Equação 1 e exemplificado na Figura 23.

Figura 23 - Centro do esforço vélico



Fonte: Autora (2018)

$$CE = \frac{D1 \times DC}{D1 + D2} \quad (1)$$

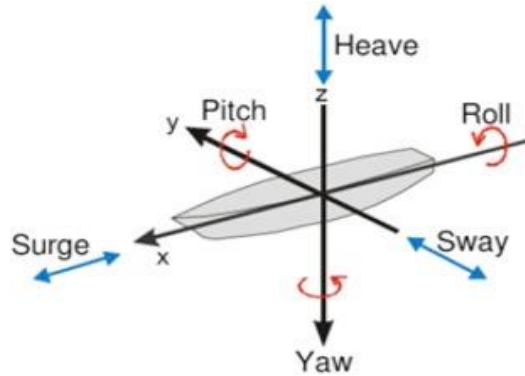
De acordo com Larsson e Eliasson (2007), o cálculo da área vélica de um veleiro está diretamente relacionado a geometria e o deslocamento de seu casco principalmente devido a sua estabilidade transversal. Isto acontece porque a força lateral exercida pelo vento na vela, não pode ser capaz de emborcar a embarcação.

2.3 MOVIMENTOS A QUE ESTÃO SUJEITAS AS EMBARCAÇÕES

Segundo Benford (1991), ao navegar, uma embarcação está sujeita a seis tipos de movimentos: heave, sway, surge, roll, pitch e yaw. Os três primeiros são classificados como

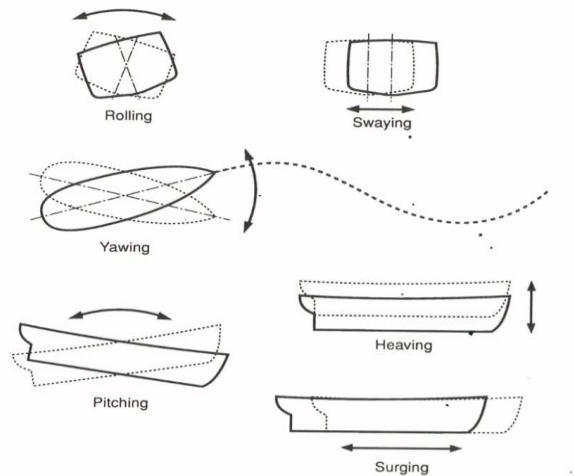
movimentos lineares de translação e os restantes, movimentos de rotação, considerados como sendo os mais pronunciados e problemáticos. Suas representações podem ser observadas nas Figuras 24 e 25.

Figura 24 - Movimentos de uma embarcação



Fonte: Lee et al. (2016)

Figura 25 - Movimentos de um navio



Fonte: Benford (1991)

De acordo com Gillmer e Johnson (1982) o heave é o movimento linear que ocorre ao longo do eixo vertical Z, causado pelo desbalanceamento entre o peso da embarcação e uma mudança instantânea na força de flutuação resultante da ação da onda. O sway é o movimento ao longo do eixo transversal Y. O surge é um distúrbio que ocorre ao longo do eixo longitudinal X, sobreposto a velocidade avante da embarcação. O roll é uma rotação

transversal oscilatória, que ocorre em torno do eixo longitudinal X. O pitch é uma rotação longitudinal oscilatória em torno do eixo transversal Y e o yaw em torno do eixo vertical Z.

Dado um pequeno período de tempo, os movimentos citados acima podem coexistir, sendo sobrepostos uns aos outros e resultando em um movimento bastante complexo. Desta forma, os estudos nesta área geralmente são realizados em casos onde alguns dos graus de liberdade são suprimidos. Por exemplo, em head seas, o pitch, heave e surge são aparentes, enquanto o sway, roll e yaw apresentam pouca influência. A importância para minimizar qualquer um destes movimentos está relacionada à função do navio e as condições de mar em que se espera que ele mantenha as capacidades operacionais.

A análise dos movimentos sofridos por um navio é considerada complexa, pois diversos destes encontram-se acoplados, especialmente para o caso de embarcações assimétricas no sentido longitudinal. Portanto, ao invés de tratar os movimentos como acoplados, realiza-se uma análise simplificada com estes desacoplados, mantendo uma visão útil sobre a natureza de resposta do navio. O formato desta análise consiste na utilizada para descrever o movimento de uma massa suspensa por uma mola, com ou sem amortecimento viscoso.

2.3.1 Movimento de roll

No presente trabalho, teremos como foco as consequências apresentadas pelo movimento de roll, também conhecido como banda. Segundo Fonseca (1960), ele está relacionado com movimento lateral da embarcação e o seu período de rolamento é definido pelo tempo que leva para que uma oscilação completa ocorra (horizontal-esquerda-horizontal-direita-horizontal). O ângulo de banda (rolamento) é medido a partir da horizontal e pode variar de 0° à ângulos maiores do que 45° , em casos de mares extremos.

De acordo com Benford (1991), a essência do movimento de banda é considerada como semelhante ao de um pêndulo. Isto é, dado um deslocamento inicial a partir do repouso, uma vez que a força de perturbação for removida o navio irá retornar para a sua posição estática inicial e continuará oscilando na direção oposta. Este processo continuará ocorrendo até que a força de restauração seja maior que a força de inércia. Assim como em um pêndulo, se não fosse pelas forças de fricção e outras inibidas, o movimento continuaria indefinitivamente.

Situações mais críticas podem ocorrer se a força de perturbação apresentar uma frequência coincidente com o período natural de rotação da embarcação. Essa condição,

também conhecida como ressonância, acarreta às amplitudes mais altas e em situações extremas pode levar a uma catástrofe.

Um exemplo desta situação envolve um navio navegando em beam seas (com ondas de avanço perpendiculares ao curso do vento) com uma frequência de encontro igual ao período natural de rolamento do navio. Para estas condições, mesmo que as ondas sejam pequenas, o rolamento pode acumular até que ocorra o emborcamento. Felizmente existem forças de absorção de energia que tendem a limitar o grau de roll.

Outras causas responsáveis pelo movimento de roll são os ventos variáveis, sendo particularmente preocupantes para embarcações à vela, e forças ocasionais aplicadas no deslocamento de cargas ou posicionamento do leme hard-over enquanto move-se avante com velocidade. Em embarcações pequenas uma pessoa pode iniciar o movimento de banda apenas por mover-se de um lado ao outro.

Segundo Gillmer e Johnson (1982) em águas calmas, um navio estável pode ser levado a rolar através da aplicação e subsequente remoção de um momento de adernamento externo. Em uma posição inclinada, existe um momento de endireitamento igual e oposto em direção ao momento de adernamento. Quando o momento externo é retirado da embarcação nesta posição, o momento de endireitamento produz uma rotação no navio para a configuração vertical.

A energia potencial que existe quando ocorre a inclinação (negligenciando a fricção da água) é completamente convertida em energia de movimento, para que na posição vertical obtenha-se apenas energia cinética. Portanto, o navio continua com sua rotação para o lado contrário até que a energia cinética seja reconvertida em potencial, em um limite de rolamento oposto.

Ao assumir que não existe perda por fricção, o navio irá continuar oscilando ou rolando indefinitivamente, com amplitude constante. No entanto, na prática, a fricção entre o casco e a água e a ação das ondas irá amortecer as oscilações enquanto a energia original é gradualmente absorvida.

Os elementos que causam uma embarcação a sofrer rolamento no mar são, primeiramente, os momentos desbalanceados, resultantes do deslocamento do centro de flutuação. Quando uma onda passa sob o navio, o plano de linha d'água encontra-se em movimento, sendo inclinado a uma taxa que depende da frequência, comprimento e amplitude desta onda.

O centro de flutuação, cuja posição depende do declive do plano de linha d'água para qualquer calado, irá deslocar-se de uma linha vertical através do centro de gravidade, se a

linha d'água se encontrar inclinada. A componente transversal desta inclinação resulta na configuração de um braço inclinado, por onde a embarcação irá adernar e tender ao se alinhar para que o plano central se encontre perpendicular à superfície da onda. No entanto, esta situação pode se modificar até certo ponto, devido ao movimento do navio em relação a própria água.

O movimento de banda em uma embarcação gera forças de aceleração crescentes e decrescentes direcionadas tangencialmente a trajetória da rotação, que tendem a aumentar o seu valor conforme a distância do eixo de referência aumenta. Os ângulos de banda criam forças de inclinação dirigidas para baixo (momento de emborcamento). Para estar em equilíbrio, o momento de restauração deve ser igual ao de emborcamento. Esse ângulo influencia no posicionamento dos centros CE e CLR, pois causa uma modificação da geometria do casco que estará submersa e da área vélica exposta à ação do vento. A proporção das duas áreas diminui, quando comparadas com as originais.

2.3.2 Movimento de yaw

O movimento de yaw, também conhecido como guinada, apresenta uma pequena influência no posicionamento do CLR e é afetado pelo desbalanceamento do casco.

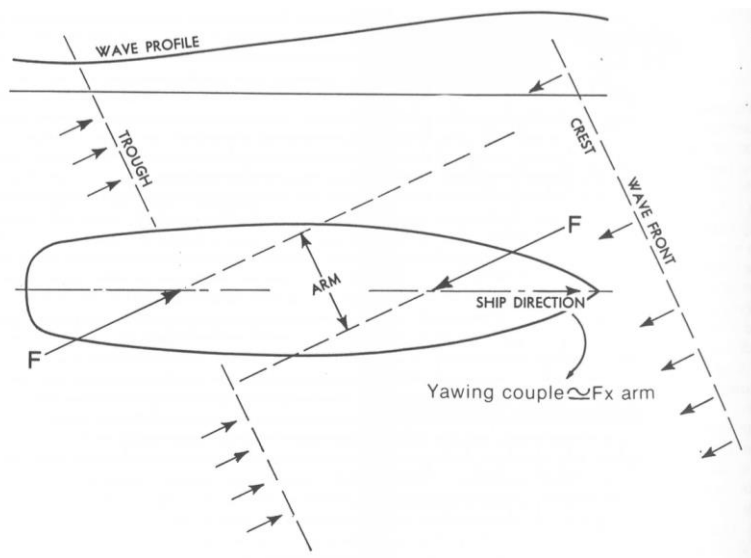
Segundo Gillmer e Johnson (1982), yawing é um movimento angular em torno do eixo vertical através do centro de gravidade da embarcação. É comumente dito que este movimento resulta, além da má direção, de três fatores: desigualdade das pressões estáticas no casco; o movimento orbital da água no mar; e a ação giroscópica.

Geralmente, no mar, o perfil da onda nas regiões de bombordo e estibordo do navio não é idêntico, e como resultado, o posicionamento longitudinal do centro de pressão em um dos lados da parcela submersa do casco é compensado tanto verticalmente como longitudinalmente para o outro lado. Dessa forma, produz-se um acoplamento rotacional em relação ao eixo vertical, ou uma tendência a guinada, assim como um momento de adernamento.

Conforme o perfil da onda se altera devido ao comportamento do mar, o acoplamento de guinada se modifica na magnitude e alterna na direção, produzindo uma oscilação. Essa oscilação irá ocorrer na parcela aparente do período das ondas que passa pelo navio. A melhor maneira de corrigir os efeitos causados pelo yaw, é antecipar o movimento, e aplicar com uma ação leme compensada.

Uma ação dinâmica de guinada é produzida a partir da rotação orbital da água em uma onda. As partículas na crista da onda se movem no topo de uma órbita circular na direção de avanço desta onda. No vale, elas se encontram no fundo de sua órbita e se movimentam na direção oposta ao avanço da onda. Dessa forma, uma embarcação navegando em um mar de bochecha (quartering sea) ou em um mar com um ângulo na proa, é submetido a um acoplamento de guinada. Esse procedimento pode ser observado na Figura 26.

Figura 26 - Acoplamento de guinada no mar



Fonte: Benford (1991)

Quando as ondas passam pelo navio, mudando da crista para o vale na proa e do vale para a crista nas porções posteriores da embarcação, esse acoplamento é revertido. O resultado líquido obtido (net result) consiste em uma oscilação de guinada com o mesmo período do que o de encontro das ondas.

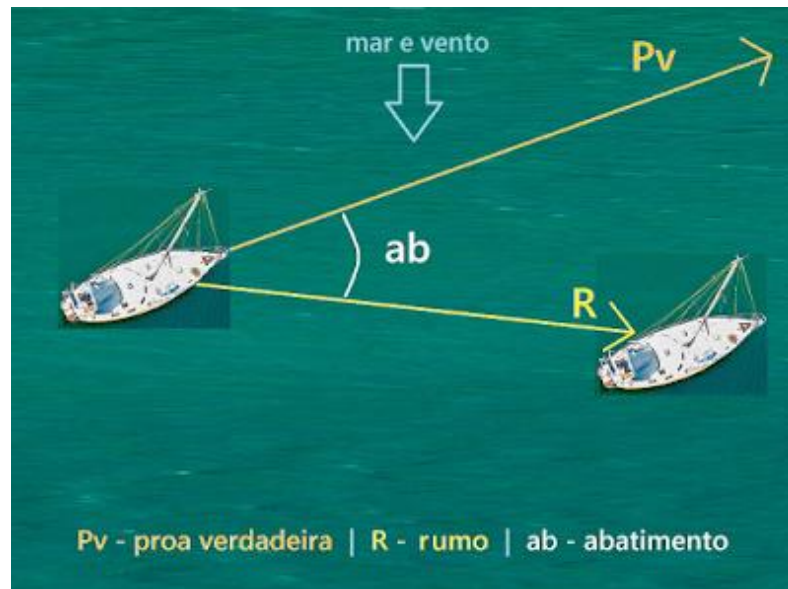
A compensação do leme para esta dinâmica e movimento orbital da água é mais difícil, pois para cada metade do comprimento de onda, a água na proximidade do leme estará se movendo na mesma direção que o navio, e um acoplamento de viramento (turning couple) severamente reduzido é desenvolvido pelo leme. Essa perda do controle é especialmente crítica quando o leme não está localizado na linha da hélice (propeller race).

2.4 ABATIMENTO LATERAL

Segundo Francisco Santos (2018), o abatimento é definido como o ângulo entre o plano longitudinal do navio e a direção em que se movimenta e é responsável por provocar um desvio lateral na direção sotavento. Geralmente, pode ser verificado visualmente.

O abatimento lateral ocorre devido ao efeito das ações do vento e das ondas e correntes do mar e pode ser exemplificado através da Figura 27.

Figura 27 - Abatimento Lateral



Fonte: Salvador Náutico (2018)

Ainda de acordo com Francisco Santos (2018), a resistência ao movimento de abatimento lateral nos veleiros pode ser obtida através da utilização de patilhões, quilhas e leme. O patilhão consiste em uma quilha artificial empregada nas embarcações à vela para evitar a deriva.

O esforço hidrodinâmico atuante no CLR se contrapõe à ação do vento, minimizando o efeito do abatimento lateral e permitindo que o veleiro navegue corretamente. A ausência deste, faria com que a embarcação navegasse apenas lateralmente.

O abatimento lateral não é considerado como desvantajoso em todas as situações, pois tem grande importância em atividades como: na manobra de reboque, reabastecimento

no mar, manobra de atracar ou desatracar, fundear ou pairar, em operações com aeronaves, e na navegação em águas restritas.

2.5 MÉTODOS ANALÍTICOS

Segundo Edmund (1998) e Larsson e Eliasson (2007), a literatura referente ao posicionamento do centro de resistência lateral ainda é muito escassa. Portanto, para a realização do presente trabalho foram analisados os métodos analíticos propostos por Gerritsma (1971), Nomoto e Tatano (1979) e Larsson e Eliasson (2007).

2.5.1 Método de Gerristma

O estudo realizado pelo Gerritsma (1971) buscava obter melhor entendimento da estabilidade direcional presente nas embarcações de veleiro, tornando possível a elaboração de um método empírico para a determinação da posição aproximada do centro de resistência lateral hidrodinâmico. Para a formulação desse método, que foca em veleiros de quilha longa (fin-keel), foi feita uma comparação entre quatro modelos de veleiros distintos com geometrias de caso semelhantes, e foi considerada apenas a influência da quilha e do leme na estabilidade.

Três dos modelos utilizados foram obtidos através do relatório realizado por Spens et al. que determinaram as estabilidades dinâmicas a partir de uma instalação de braço rotativo (GERRISTMA, 1971). Uma investigação similar foi realizada para o modelo remanescente de veleiro, do tipo half-ton cup, no Delft Shipbuilding Laboratory, porém, a determinação experimental da estabilidade foi feita através de um mecanismo de movimento planar.

Nessa análise, foi obtida uma estimativa mais precisa do posicionamento do CLR quando a força atuante no leme era multiplicada por um fator de 0,4. Esse valor é justificado pela mudança no ângulo de entrada do leme causada pela quilha, que reduzia o lift em até 40% para um leme alinhado ao plano diametral.

2.5.2 Método de Nomoto e Tatano

Uma aprimoração do método obtido por Gerristma foi sugerida em um estudo realizado por Nomoto e Tatano em 1979, que considerava que a diferença entre o valor de

CLR calculado e o medido devia-se, principalmente, ao fato de que a força lateral causada pela parcela submersa do casco da embarcação não havia sido considerada de forma correta. Dessa forma, para a obtenção do método empírico, adicionou-se o efeito da força hidrodinâmica na parte dianteira do casco submerso, algo que não tinha sido considerado no método realizado por Gerristma (1971).

A força hidrodinâmica e seus momentos foram calculados a partir da teoria de corpos delgados (slender bodies). Tal teoria pondera o efeito causado pelo deslocamento dinâmico, que consiste na indução de uma mudança no momento de entrada do fluido, levando à aplicação de uma força no corpo em questão (NOMOTO; TATANO, 1979).

Segundo Batchelor (1970), um corpo delgado é aquele que apresenta um diâmetro menor do que o seu comprimento. Desta forma, a teoria citada acima considera que este corpo tenha sua massa predominantemente distribuída em seções longitudinais delgadas, em que cada seção apresente uma massa adicional que seja facilmente computada. Os efeitos causados são integrados ao longo do comprimento para aproximar a força e o momento de lift (levantamento). A teoria de corpos delgados é considerada precisa para razões pequenas de D/L , com excessão das regiões próximas as extremidades do corpo.

O diâmetro apresentado na teoria dos corpos delgados equivale a boca de uma embarcação, e o comprimento é referente ao LOA.

A partir desse conceito, levando em consideração corpos delgados e força hidrodinâmica, é possível encontrar uma formulação para o momento lateral de um fluido em um plano perpendicular ao eixo do corpo. Dessa forma, Nomoto e Tatano (1979) simplificaram essa formulação e conseguiram obter as fórmulas de força lateral e momento de guinada (yaw) e uma posição aproximada do CLR.

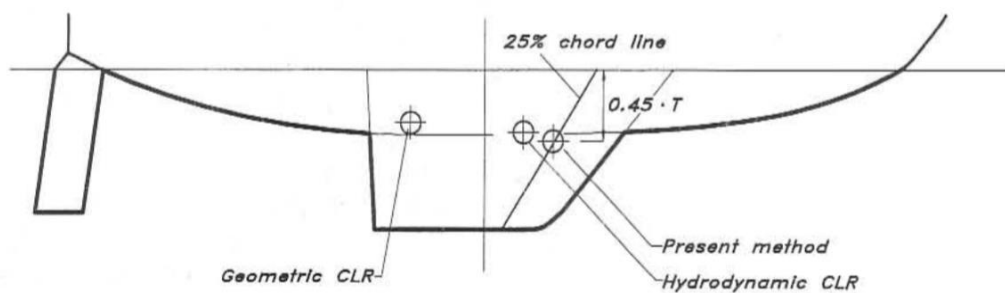
2.5.3 Método de Larsson e Eliasson

A maior desvantagem apresentada pelos métodos citados anteriormente é que existem pouquíssimos dados empíricos que relacionam o CLR computado pelos autores com o CE.

Portanto Larsson e Eliasson (2007) propuseram uma simplificação do método apresentado por Nomoto e Tatano (1979) aplicada para veleiros de quilhas profundas em que os dados empíricos estão disponíveis. Nessa análise, os efeitos causados pelo leme e pela parte posterior do casco submerso foram desconsiderados devido ao fato de que na maioria dos veleiros de quilha longa, esses efeitos se cancelam de forma satisfatória. Portanto,

utilizou-se apenas a quilha para computar a localização do centro de pressão atuante, que apresenta o mesmo posicionamento do CLR. Essa posição é obtida através da intersecção do ponto que se encontra a 25% da corda e do que se encontra a 45% do calado referente a distância que parte da linha d'água e vai até a extremidade da quilha. Esse procedimento pode ser observado na Figura 28.

Figura 28 - Determinação da posição do CLR



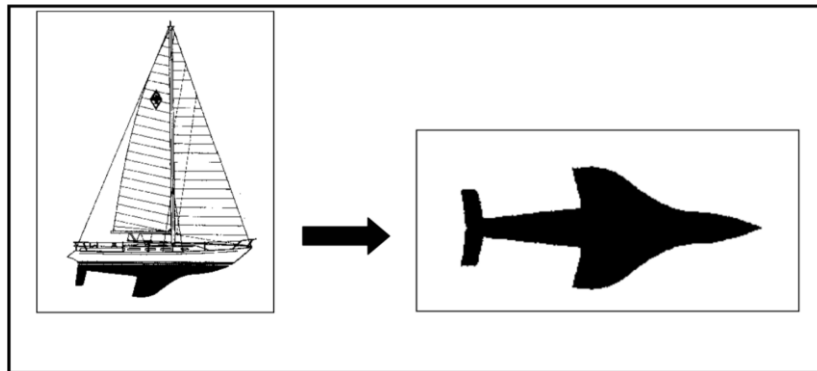
Fonte: Larsson, Eliasson (2007)

A metodologia utilizada por Larsson e Eliasson (2007), baseou-se no estudo do centro de esforço obtido em uma asa de avião, que determinava que seu posicionamento se encontrava a 25% da corda, partindo da borda de ataque, e não em 50% onde o centro de gravidade, e o CLR geométrico se encontram. A dissemelhança na localização do CLR hidrodinâmico e no geométrico ocorre devido ao efeito do empuxo que atua no casco.

Segundo Sakurai, Nakamura e Nakamoto (2003), considera-se que a vista lateral da parcela submersa de um veleiro é similar ao formato plano de um avião. A similaridade também ocorre devido ao sistema de forças atuantes nos dois elementos, que se torna uma analogia dinâmica exata, quando se assume que não existe momento produzido pelo veleiro.

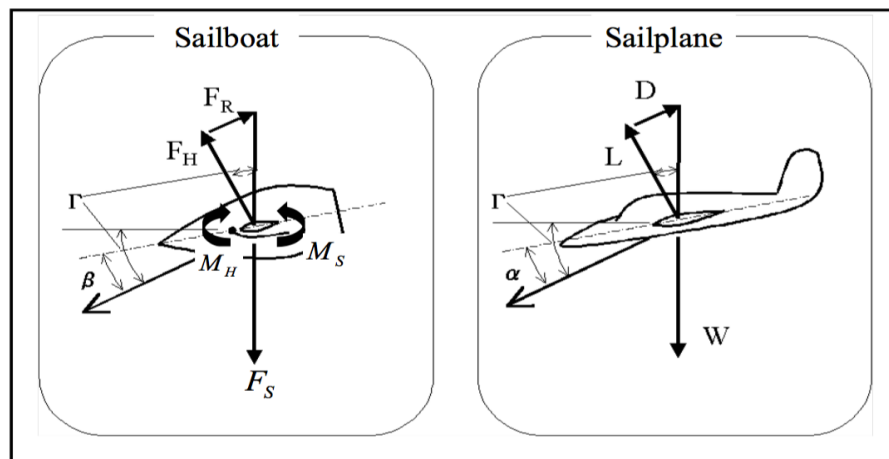
Dessa forma, tornou-se possível aplicar o método utilizado na asa de um avião para determinar o posicionamento do CLR hidrodinâmico do veleiro e assumir que o seu posicionamento não irá coincidir com o do CLR geométrico. Nas Figuras 29 e 30 podem-se observar as comparações geométricas e do sistema de forças atuantes entre um avião e a parcela submersa do casco de um veleiro.

Figura 29 - Comparação geométrica



Fonte: Sakurai, Nakamura e Nakamoto (2003)

Figura 30 - Comparação entre uma embarcação e um avião



Fonte: Sakurai, Nakamura e Nakamoto (2003)

Uma desvantagem apresentada por este método é que deve ser utilizado apenas para veleiros que apresentem quilhas do tipo fin keel. Segundo Larsson e Eliasson (2007), para quilhas longas a melhor maneira de calcular o posicionamento do CLR seria empregando o CG, e relacionando-o empiricamente com o plano de velas.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso apontando os fatores necessários para a obtenção da posição do centro de resistência lateral, a partir da utilização de dados quantitativos. O procedimento foi realizado coletando os dados por meio de artigos, estudos e experimentos, realizando uma análise de conteúdos destes.

A metodologia empregada consiste na aplicação do método analítico apresentado por Larsson e Eliasson (2007), discutido nos itens anteriores, a fim de gerar resultados que permitam iniciar uma análise na influência do movimento de banda no balanceamento longitudinal de um veleiro.

O material utilizado como estudo de caso consistiu no método do posicionamento aproximado do centro de resistência lateral hidrodinâmico apresentado pelos autores Larsson e Eliasson (2007), sendo uma simplificação do estudo originado por J. Gerristma (1971) e aprimorado pelos autores Nomoto e Tatano (1979).

Para o desenvolvimento do casco foi empregado o software de modelagem naval Rhinoceros e seu plugin ORCA 3D. Para isso, foi selecionado o modelo de veleiro YD- 40 utilizado na literatura de Larsson e Eliasson (2007).

Na última etapa do trabalho, realiza-se uma comparação entre o posicionamento do CLR da embarcação obtido para os casos de aplicação de um ângulo de banda variando de 0 a 30 graus, utilizando uma taxa de variação de 5 graus.

Dessa forma, será analisado o comportamento do balanceamento longitudinal tanto para as situações mais usuais de navegação, ou seja, com ângulos de banda de 10 graus, como para os casos extremos, como os ângulos de 20 graus em diante.

4 DESENVOLVIMENTO

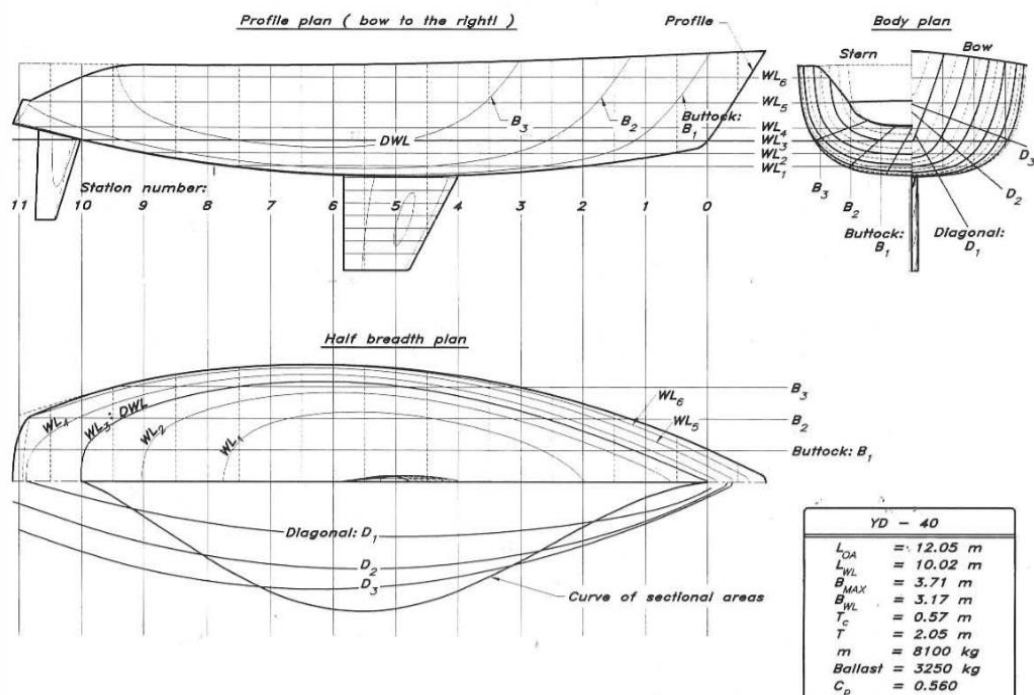
Nesta etapa do trabalho são descritos todos os passos realizados para a obtenção dos resultados desejados, englobando desde a seleção e modelagem do casco, até a aplicação do método analítico para o cálculo de CLR em diferentes ângulos de banda e o cálculo do CG.

4.1 SELEÇÃO DO MODELO DE VELEIRO

A modelo de veleiro utilizado no presente trabalho foi o YD-40, projetado por Larsson e Eliasson (2007). O motivo da seleção deste modelo deve-se ao fato de que Larsson e Eliasson (2007) utilizaram esta embarcação para o desenvolvimento de seu método empírico sobre posicionamento do CLR, que também será implementado em nossas análises.

O seu plano de linhas pode ser observado na Figura 31, e suas dimensões principais podem ser observadas na Tabela 1.

Figura 31 - Plano de linhas



Fonte: Larsson e Eliasson (2007)

Tabela 1 - Dimensões Principais YD-40

LOA (m)	12,05
LWL (m)	10,02
Boca máx (m)	3,71
Boca lwl (m)	3,17
Calado (m)	2,05
Massa (kg)	8120
Cp	0,56
LCG (m)	5,36

Fonte: Autora (2018)

4.1.1 Cálculo do regime de sustentação

O equacionamento utilizado nos cálculos para definir se o modelo de veleiro YD-40 apresenta um casco deslocante ou planante foram obtidos através da norma ISO 12215-5 (2008), citada anteriormente.

A primeira etapa consistiu na obtenção da velocidade de navegação do veleiro clássico. Para isso, foi utilizada a equação aplicada por Gerr (2013), derivada da fórmula de efeito das ações das ondas e gravidade estudada por Froude, mostrada na Equação 4 a seguir.

$$1,34 \times \sqrt{Lwl} \quad (4)$$

A partir deste equacionamento, foi possível encontrar um valor de velocidade de 7,68 nós, ou 3,95 m/s.

Na etapa seguinte, o valor de velocidade obtido em nós foi aplicado ao equacionamento 2 apresentado pela ISO 12215-5 (2008). Dessa forma, obteve-se uma razão de velocidade por comprimento de 1,34, tornando-se possível concluir que o veleiro YD-40 navega em regime deslocante.

4.1.2 Cálculo do escoamento

Segundo Fox, McDonald e Pritchard (2001) em um fluxo muito baixo o escoamento de água será bastante suave, representando um escoamento laminar. Se o fluxo for aumentado, a água irá sair de maneira agitada, caótica, representando um fluxo turbulento.

Um escoamento laminar consiste naquele em que as partículas se movem em camadas suaves, já o escoamento turbulento é aquele em que as partículas se misturam rapidamente conforme elas se movem devido a flutuações com velocidades tridimensionais.

Dessa forma, para analisar qual o tipo de escoamento que o veleiro YD-40 irá navegar, foram aplicadas as equações obtidas através do experimento de Reynolds (1883). Segundo Labtermo (2018), se o valor de Reynolds for menor ou igual a 2300, o escoamento será laminar e se for acima ou igual a 4000 será escoamento turbulento. Entre estes dois intervalos tem-se um escoamento de transição ou intermediário. A Equação 5 utilizada neste procedimento pode ser observada a seguir.

$$Re = \frac{D.V.\rho}{\mu} \quad (5)$$

Onde:

D = comprimento da linha d'água do veleiro (m)

V = velocidade da embarcação (m/s)

ρ = densidade do fluido (kg/m³)

μ = viscosidade cinemática do fluido (m²/s)

Os valores utilizados para a realização do cálculo da Equação 4 podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros para o cálculo do escoamento

D (m)	10,02
V (m/s)	3,95
ρ (kg/m ³)	1025
μ (m ² /s) para 15°C	1,22 x10 ⁻³
Re	33.252.848,36

Fonte: Autora (2018)

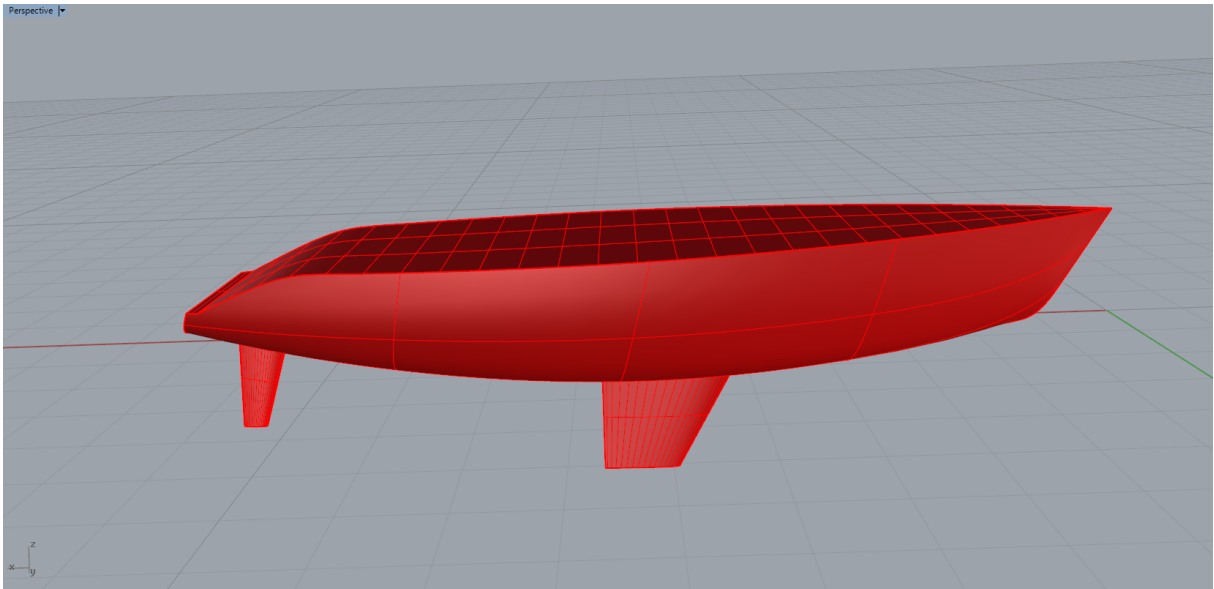
Sendo assim, foi possível determinar que a embarcação navegará em um regime turbulento.

4.2 MODELAGENS DOS CASCOS

A próxima etapa do trabalho consistiu na modelagem dos cascos dos veleiros com o auxílio da ferramenta computacional Rhinoceros e seu plug in ORCA 3D, utilizando como base o modelo selecionado anteriormente. Ao importar as imagens no software, aplicou-se a ferramenta *scale* com o intuito de escalar a imagem ao tamanho original da embarcação. Com isso, foi possível traçar as vistas frontal e superior do casco assim como a quilha e o leme. Para que o modelo se torne mais preciso, traçou-se também o plano de linhas do veleiro.

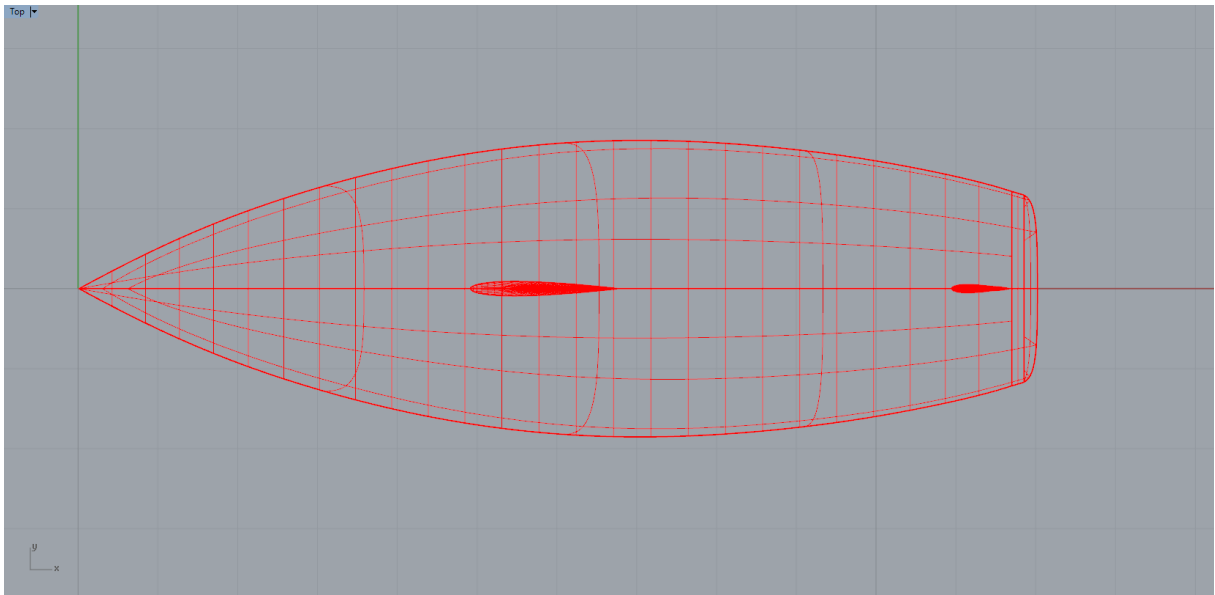
Depois da obtenção do contorno, utilizamos o ORCA 3D para transformar o desenho em uma figura 3D. Para o casco utilizou-se a ferramenta *Hull Assistance*, e para a quilha e o leme a ferramenta *Foil Assistance*. As Figuras 32 e 33 exibem os resultados obtidos pelo software.

Figura 32- Vista Perspectiva do Casco



Fonte: Autora (2018)

Figura 33 - Vista de topo do casco



Fonte: Autora (2018)

4.3 OBTENÇÕES DOS RESULTADOS PELO MÉTODO EMPÍRICO

Esta etapa do desenvolvimento do trabalho consistiu na obtenção da localização dos centros de resistência lateral hidrodinâmicos para cascos com ângulos de banda variando de 0 a 30 graus, com aumento de 5 graus para cada iteração. Para isso, foi implementado o método empírico desenvolvido pelos autores Larsson e Eliasson (2007).

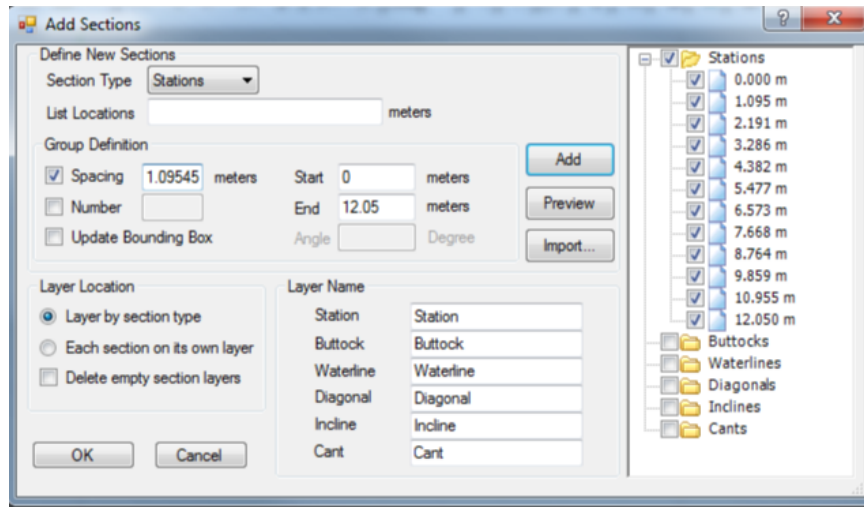
Atém disso, também foram encontradas as posições do centro geométrico (CG) do conjunto casco, quilha e leme, para cada iteração.

Os processos foram reproduzidos através do software Rhinoceros e seu plug-in ORCA 3D, utilizando o casco, a quilha e o leme modelados previamente.

Ao aplicar-se uma rotação no casco e nos apêndices modelados, a linha d'água referente a figura tende a se alterar. Dessa forma, após a aplicação desta rotação foi necessário utilizar o plug-in ORCA 3D para obter o posicionamento da nova linha d'água.

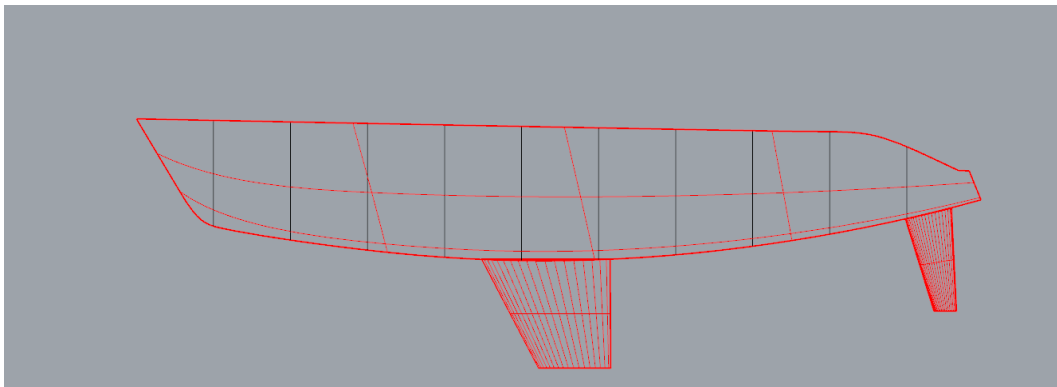
Este procedimento consistiu, primeiramente, em adicionar as seções no casco, podendo ser observadas nas Figura 34 e 35.

Figura 34 - Input das Seções no Casco



Fonte: Autora (2018)

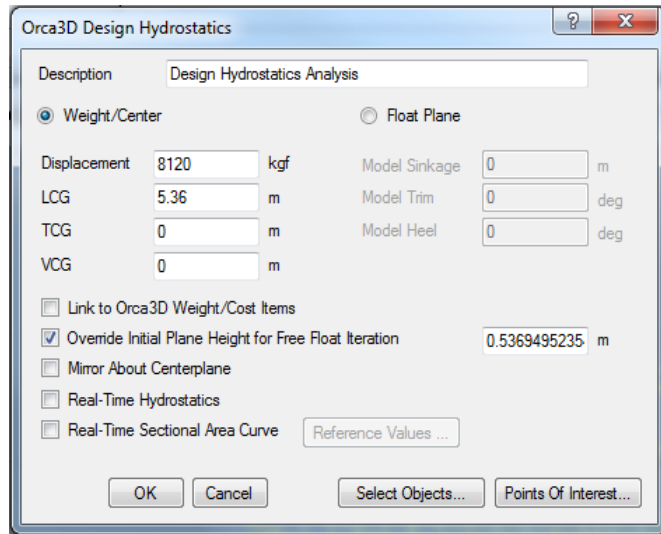
Figura 35 - Seções



Fonte: Autora (2018)

O próximo passo baseou-se na realização da análise de design hidrostático do casco, onde foram aplicados os parâmetros de peso e da posição longitudinal do centro de gravidade (LCG) da embarcação original. Esse procedimento pode ser observado na Figura 36.

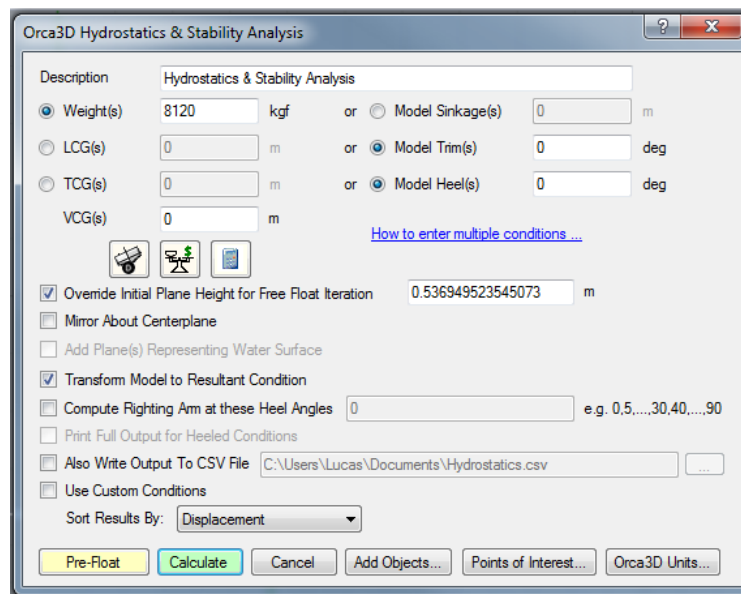
Figura 36 - Análise do Design Hidrostático do Casco



Fonte: Autora (2018)

O último passo realizado na aquisição do posicionamento da nova linha d'água foi obter a análise hidrostática e de estabilidade do casco. Esse procedimento pode ser observado na Figura 37. Os resultados obtidos a partir dessa análise para cada situação de ângulo de banda podem ser observados no Apêndice A.

Figura 37 - Análise Hidrostática e de Estabilidade



Fonte: Autora (2018)

4.3.1 Obtenção do CG nos cascos

O posicionamento do centro geométrico está diretamente relacionado com a forma da figura a ser analisada. Desta maneira, para a obtenção do CG da parcela submersa do veleiro foi necessária realização da projeção geométrica do fragmento da figura que se encontra abaixo da linha d'água. Para isso, foi necessária a criação de um plano para que as linhas que configuram a carena fossem projetadas a ele, transformando-as em uma figura plana (2D). A Figura 38 mostra o resultado obtido a partir deste processo para o casco com ângulo de banda igual a zero.

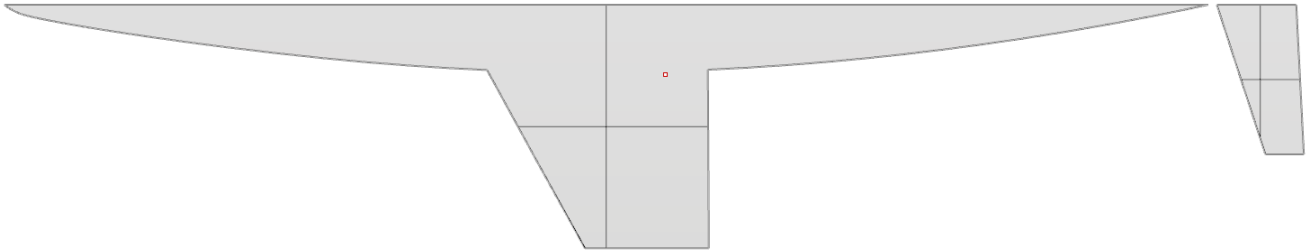
Figura 38- Carena planificada



Fonte: Autora (2018)

A partir da planificação da carena, foi possível aplicar a ferramenta *Area Centroid* para a obtenção do centro geométrico da figura. Esse processo foi realizado para todos os casos de ângulo de banda aplicados ao casco, variando de 0 a 30 graus. Na Figura 39, observa-se o posicionamento do CG para o caso zero graus de banda. . As ilustrações dos resultados para os outros ângulos podem ser observados no Apêndice B.

Figura 39 – Posicionamento do CG



Fonte: Autora (2018)

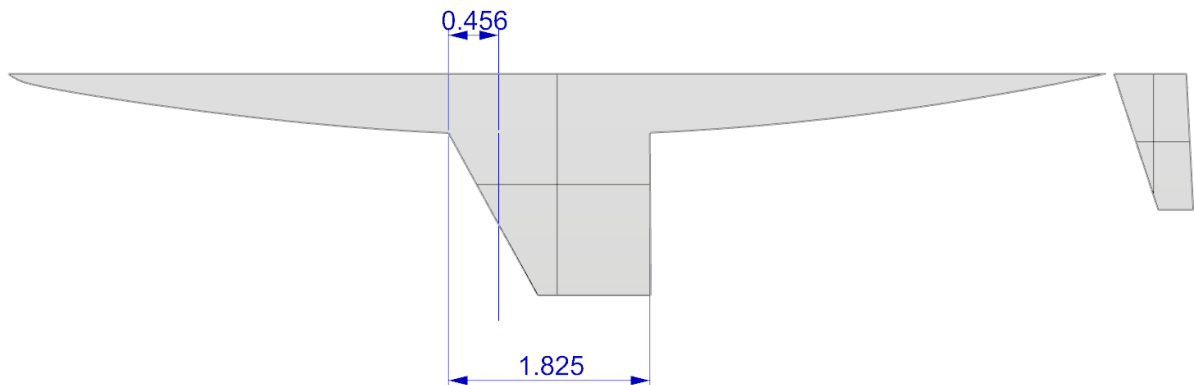
4.3.2 Obtenção do CLR nos cascos

Para a obtenção do posicionamento do centro de resistência lateral, utilizou-se a metodologia descrita por Larsson e Eliasson (2007), que, como visto anteriormente, leva em consideração apenas o efeito da quilha na realização do procedimento.

O procedimento foi realizado da mesma maneira para todas as situações de ângulo de banda estudadas, portanto, nesta seção será apenas apresentada a análise para o ângulo de zero grau. As imagens com os resultados obtidos para os demais casos podem ser observados no apêndice C.

O primeiro passo foi compreendido pela aquisição do ponto 1 que se encontra a 25% da corda partindo da borda de ataque da quilha. A corda superior da quilha apresenta um comprimento de 1,825 metros, portanto o ponto inicial localiza-se a 0,456 metros desta distância e está representado na Figura 40.

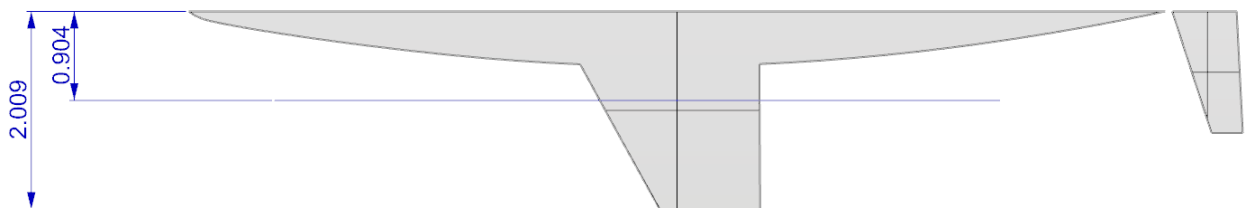
Figura 40 - 25% do Comprimento da Corda da Quilha



Fonte: Autora (2018)

O segundo passo consistiu na obtenção do ponto 2, localizado a 45% do calado partindo da linha d'água, terminando na extremidade inferior da quilha. A distância do calado equivale a 2,009 metros e o ponto 2 se localiza em 0,904 metros, podendo ser observado na Figura 41.

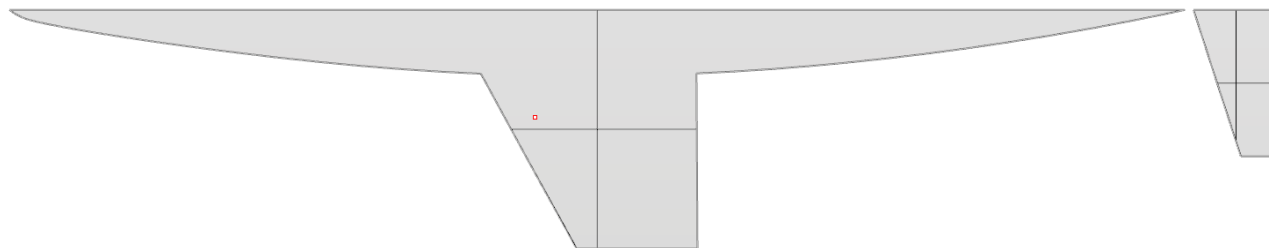
Figura 41 - 45% do Calado



Fonte: Autora (2018)

A figura 42 exibe o posicionamento do CLR para a situação de ângulo de banda igual a zero. As ilustrações dos resultados de CLR para os outros ângulos podem ser observados no Apêndice B.

Figura 42 – Posicionamento do CLR



Fonte: Autora (2018)

5 RESULTADOS

Nesta seção serão compreendidos todos os resultados obtidos ao realizar os procedimentos de obtenção dos centros geométricos e de resistência lateral para diferentes ângulos de banda. Os resultados foram obtidos no software Rhinoceros através da projeção geométrica das obras vivas e da metodologia desenvolvida por Larsson e Eliasson (2007).

5.1 POSICIONAMENTOS do CG

Ao realizar o procedimento para encontrar a localização do centro geométrico para os ângulos de banda variando de 0 a 30 graus, foi possível perceber que as posições verticais e horizontais do CG tendem a se distanciar da situação de origem, ou seja, da situação de ângulo de 0 graus, conforme os ângulos de banda aumentam.

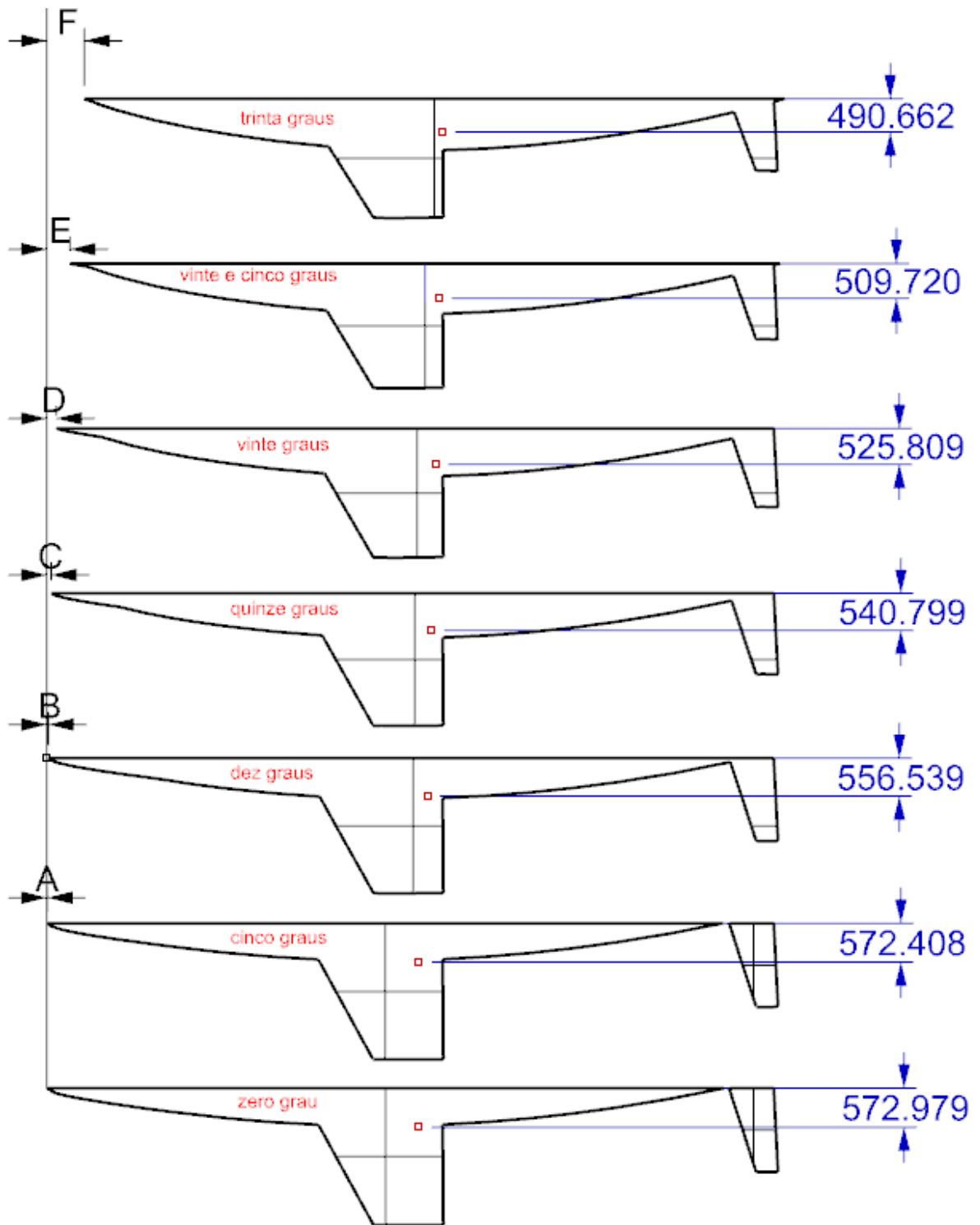
No eixo horizontal o posicionamento de CG tende a se mover a ré da embarcação quando comparado com a situação de origem. Já o posicionamento vertical apresenta um movimento ascendente. Uma comparação entre os resultados dos centros geométricos obtidos para cada situação de roll referente ao eixo vertical pode ser observada na Figura 42 e a referente ao eixo horizontal na figura 43. A Tabela 3 exibe as coordenadas das posições dos centros encontrados, e as distâncias das carenas rotacionadas até a perpendicular avante da carena com zero grau de banda. Para simplificar a visualização, esta distância foi denominada DPA (distância da perpendicular avante) na Tabela e representada pelas letras A á F nas Figuras 43 e 44.

Tabela 3 - Comparação de Resultados CG

Ângulos de banda (graus)	DPA	DPA (mm)	Posição Vertical (mm)	Posição Horizontal (mm)
0	-	0	572,979	5463,756
5	A	5,744	572,408	5465,499
10	B	24,298	556,539	5585,602
15	C	61,126	540,799	5.651,802
20	D	138,203	525,809	5.709,642
25	E	337,807	509,720	5.763,277
30	F	547,497	490,662	5.809,869

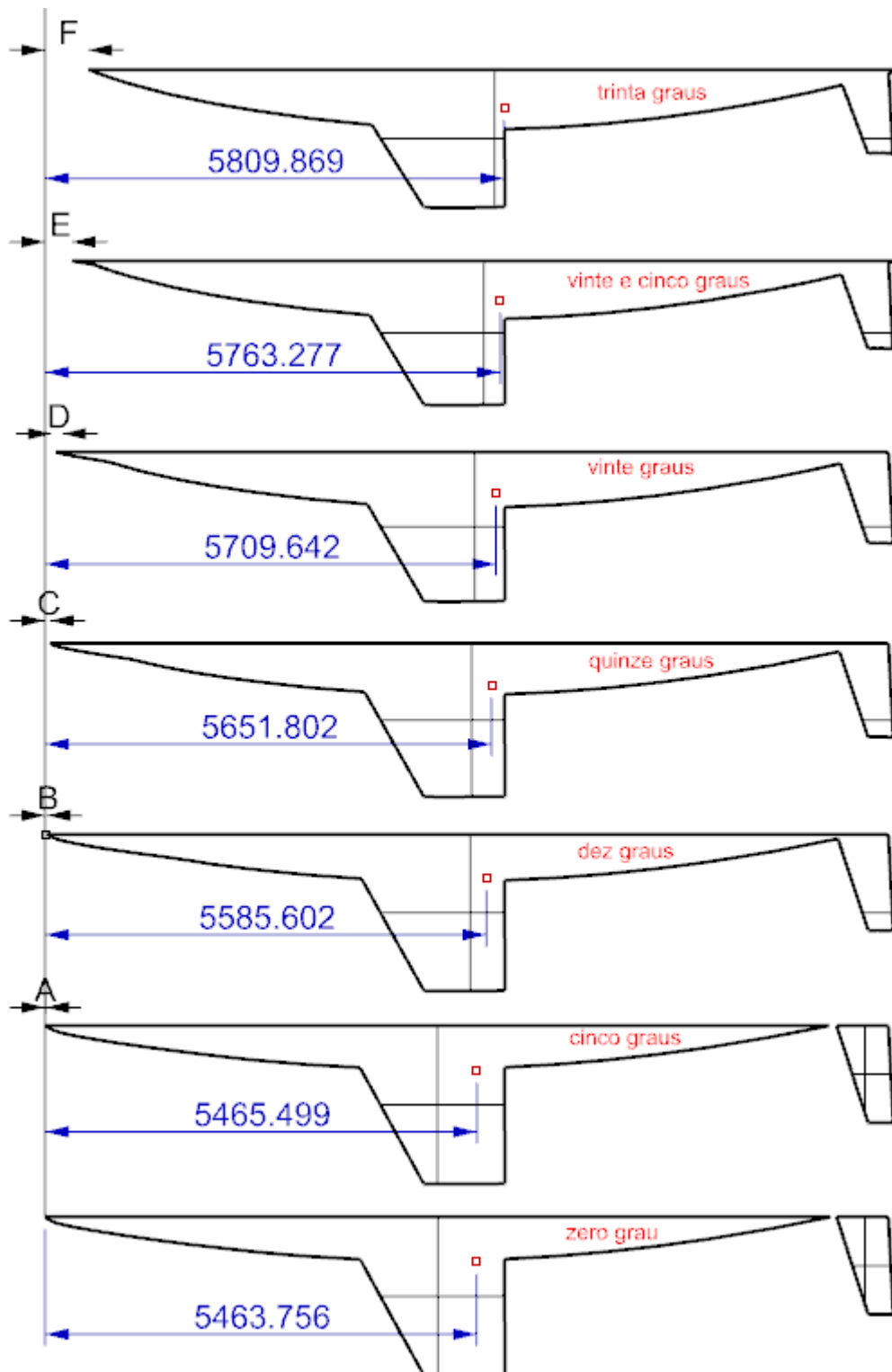
Fonte: Autora (2018)

Figura 43 - Comparação do CG verticalmente



Fonte: Autora (2018)

Figura 44 - Comparação do CG horizontalmente



Fonte: Autora (2018)

Ao observar a Figura 43 e 44 e os valores apresentados na Tabela 3, pode-se perceber que o centro geométrico apresenta uma conduta consistente conforme os ângulos de banda aumentam. A partir dos valores obtidos das DPAs, pode-se perceber que a área da parte posterior da embarcação vai diminuindo conforme o ângulo de roll aumenta.

Para medir a alteração horizontal do posicionamento de CG, foi contabilizada a distância que parte da perpendicular avante da carena original, ou seja, com zero graus de banda, até o ponto onde se localiza o centro geométrico de cada caso. Para medir a alteração vertical, foi contabilizada a distância do CG até a linha d'água para cada situação.

O comportamento das alterações do CG pode estar relacionado ao fato de que na medida em que o roll aumenta, a projeção da geometria da carena e seus apêndices se modificam. Isto ocorre, pois, o posicionamento da linha d'água da embarcação se altera, resultando na submersão de uma parcela menor das obras vivas. A diminuição da projeção ocorre tanto horizontalmente quanto verticalmente.

Como podemos observar nas Figuras 43 e 44, o volume da proa diminui quando comparada com a projeção original, ao contrario do que acontece com a popa. Conforme o veleiro rotaciona, a projeção da área do casco submerso e do leme, que inicialmente eram seguimentos separados, se transformam em um único elemento, resultando em uma área maior e, conseqüentemente, em um posicionamento do CG mais a ré.

5.2 POSICIONAMENTOS do CLR

Ao realizar o procedimento para encontrar o posicionamento do CLR nas situações de roll variando de 0 a 30 graus, foi possível notar que nos casos dos ângulos de 10 a 30 graus tanto as posições verticais como as horizontais do CLR tendem a se distanciar da posição obtida na origem, ou seja, na situação de ângulo de 0 grau. Porém, para o caso do ângulo de 5 graus, houve um comportamento diferente ao se tratar da localização horizontal. Esse comportamento será discutido ao final desta seção.

No eixo horizontal, para os ângulos de 10 a 30 graus, houve uma movimentação dos CLR's à ré. Já para o ângulo de 5 graus, houve uma movimentação avante com relação ao caso original. No caso das posições verticais, houve um comportamento consistente para todos os ângulos aplicados, onde os centros se movimentaram de forma ascendente.

As Figuras 45 e 46 exibem, respectivamente, uma comparação do comportamento vertical e horizontal dos CLR's conforme o aumento dos ângulos de banda. A Tabela 4

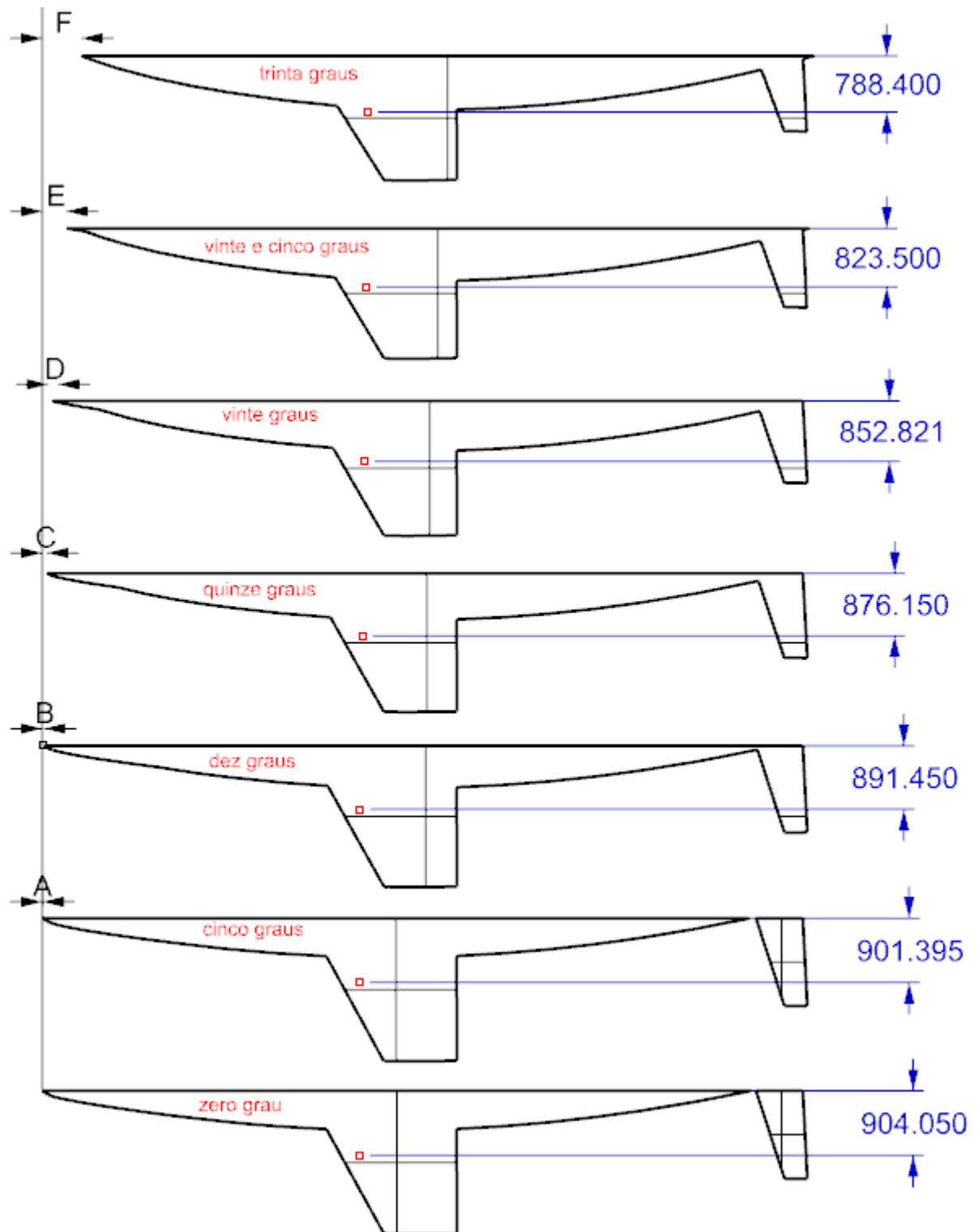
apresenta as coordenadas das posições dos centros encontrados, assim como a área da projeção geométrica das obras vivas para cada situação. Os valores das DPAs continuam os mesmos que no caso do CG, portanto não foram introduzidos nesta tabela.

Tabela 4 - Comparação de Resultados CLR

Ângulos de banda (graus)	Posição vertical (mm)	Posição horizontal (mm)	Área obras vivas (mm ²)
0	904,050	4.444,939	6.405.709,56
5	901,395	4.443,148	6.351.599,315
10	891,450	4.458,426	6.597.204.700
15	876,150	4.486,999	6.873.236,240
20	852,821	4.513,149	7.040.294,810
25	823,500	4.536,552	7.088.561,080
30	788,400	4.557,324	7.024.898,130

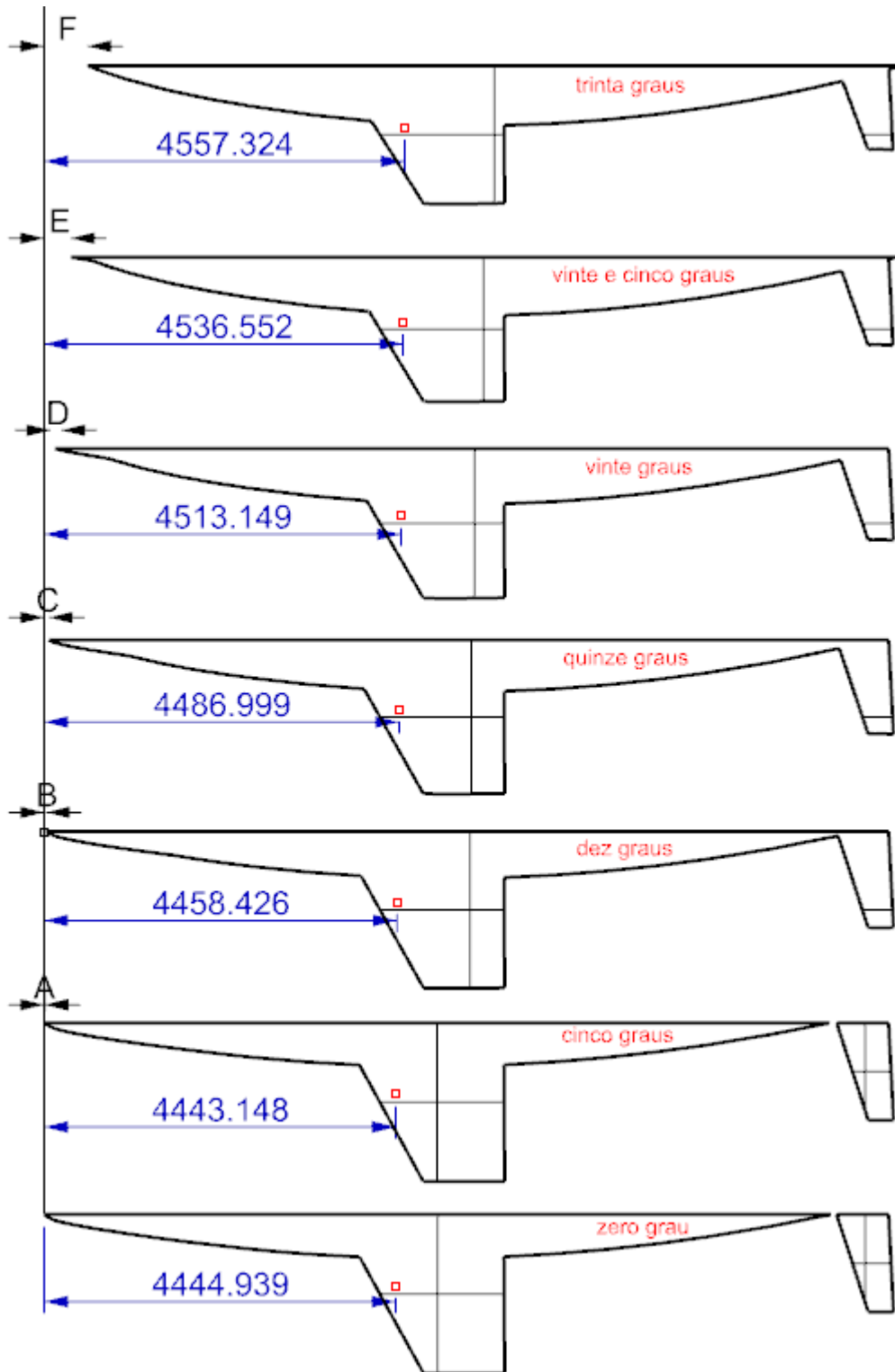
Fonte: Autora (2018)

Figura 45 - Comparação do CLR verticalmente



Fonte: Autora (2018)

Figura 46 - Comparação do CLR horizontalmente



Fonte: Autora (2018)

Ao observar as Figura 45 e 46 e os dados apresentados pela Tabela 4, foi possível constatar que para os ângulos de 10 a 30 graus, tanto o posicionamento vertical como o horizontal tenderam ao mesmo comportamento que o apresentado pelo centro geométrico.

Como o centro de resistência lateral foi determinado apenas através da quilha, o padrão da alteração das coordenadas do CLR pode estar relacionado com as modificações que esta sofre ao se aplicarem diferentes ângulos de banda. Conforme o movimento de roll aumenta, a posição da linha d'água se modifica e a parcela das obras vivas submersas diminui, fazendo com que a projeção geométrica da quilha diminua. Ao reduzir o comprimento da corda superior, o posicionamento de 25% desta, irá encontra-se mais a ré do que inicialmente, pois com a rotação da quilha a projeção da aresta de seu bordo de ataque irá diminuir. E ao reduzir o calado da embarcação, o posicionamento de 45% desta distância também diminuirá, resultando na ascensão do posicionamento do centro.

Ao observar a Tabela 4, foi possível constatar que os valores das áreas das obras vivas para as situações de banda de zero e 5 graus são menores do que no restante dos casos. A razão disso pode estar relacionada com o fato de que nestas duas situações as projeções da carena e do leme encontram-se separadas, resultando em uma área menor.

O valor da área para a projeção geométrica com ângulo de zero grau é maior do que a com 5 graus. Possivelmente, isto ocorre, devido ao fato de que as áreas da carena e quilha da situação original, ou seja, com zero grau de banda, são maiores do que no caso de 5 graus. A mesma situação ocorre para as rotações de 25 e 30 graus.

Como visto anteriormente, o teste realizado para o ângulo de 5 graus resultou em um comportamento da coordenada horizontal distinto das demais situações. A inconsistência equivale a um valor bastante diminuto de 1,716 mm. Porém, com o intuito de obter uma análise mais completa, repetiu-se o mesmo estudo para os ângulos de roll variando de 1 a 9 graus, buscando analisar se a localização do CLR seguiria a mesma inconsistência apresentada pela situação de 5 graus.

A Tabela 5 exibe as coordenadas obtidas para os posicionamentos dos diferentes centros de resistência laterais, as áreas das projeções geométricas das carenas e as DPAs.

Tabela 5 – Comparação de resultados para pequenos ângulos

Ângulos (graus)	DPA	DPA (mm)	Posição vertical (mm)	Posição horizontal (mm)	Área das obras vivas (mm ²)
0	A	0	904,050	4444,939	6405709,56
1	B	0,226	904,050	4444,847	6403284,73
2	C	0,907	903,600	4444,803	6397775,249
3	D	2,047	903,150	4445,311	6386178,954
4	E	3,653	902,700	4443,874	6369811,21
5	F	5,744	900,450	4443,148	6351599,315
6	G	8,336	898,200	4442,399	6367272,06
7	H	11,452	898,650	4429,978	6414768,49
8	I	15,126	896,400	4446,219	6468861,51
9	J	19,391	894,600	4452,394	6528998,66

Fonte: Autora (2018)

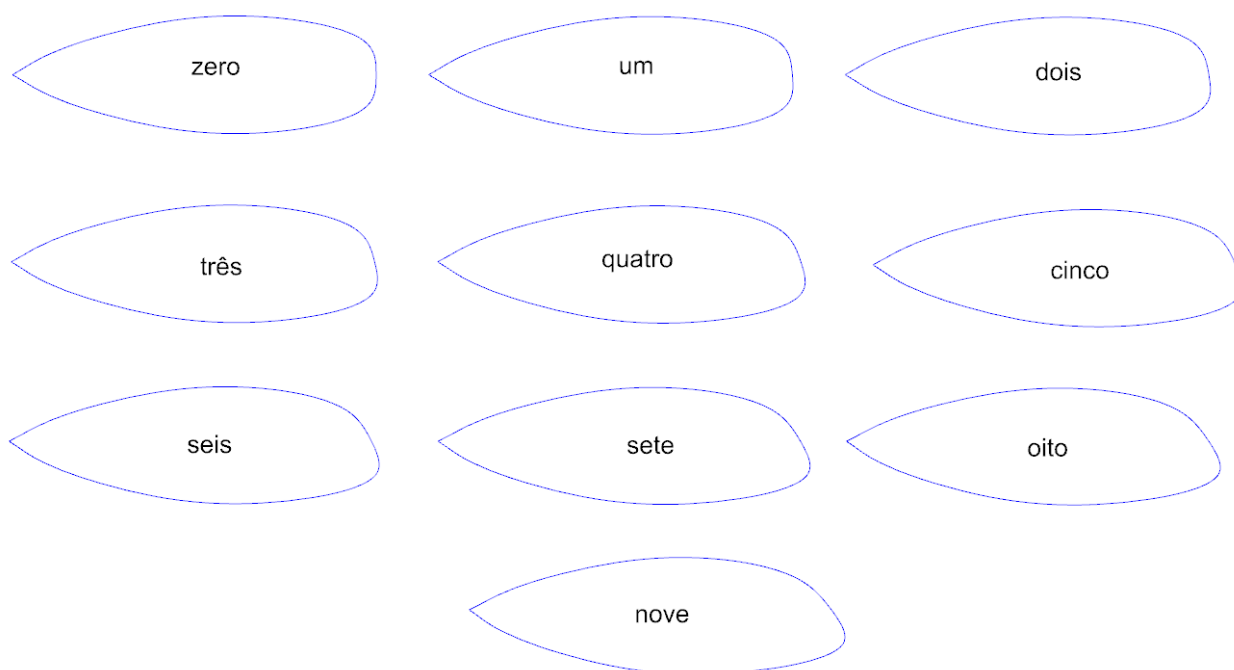
Com a realização deste procedimento, foi possível constatar que para os ângulos de 1 a 7 graus a alteração do posicionamento do CLR apresentava o mesmo padrão que no caso de 5 graus, ou seja, conforme o movimento de roll aumentava a localização horizontal do centro encontravam-se mais avante do que na situação inicial de zero grau. A partir de 8 graus o comportamento se igualava aos ângulos de 10 em diante, encontrando-se mais a ré do que no início.

É importante ressaltar que no caso do ângulo de banda de 3 graus, o posicionamento horizontal de CLR não seguiu o padrão apresentado pelas situações de ângulo de 1 a 7 graus, exibindo uma inconsistência de 0,464 mm. E para no caso do ângulo de 6 graus, a localização vertical do CLR, também não seguiu o padrão apresentado pelas situações de 1 a 7 graus, resultando em uma inconsistência de 0,45 mm.

5.3 COMPARAÇÕES DOS PLANOS DE LINHAS D'ÁGUA

Ao aplicar diferentes ângulos de banda no veleiro, foi possível analisar que o formato do plano de linha d'água para cada um dos casos se alterava, tornando-se cada vez menor e mais distorcido conforme ocorria um aumento do movimento de roll. Isto se deve ao fato de que, com o aumento da inclinação do casco, a região de intersecção entre ele e o plano torna-se cada vez menor, resultando nas situações mostradas na Figura 47 e 48.

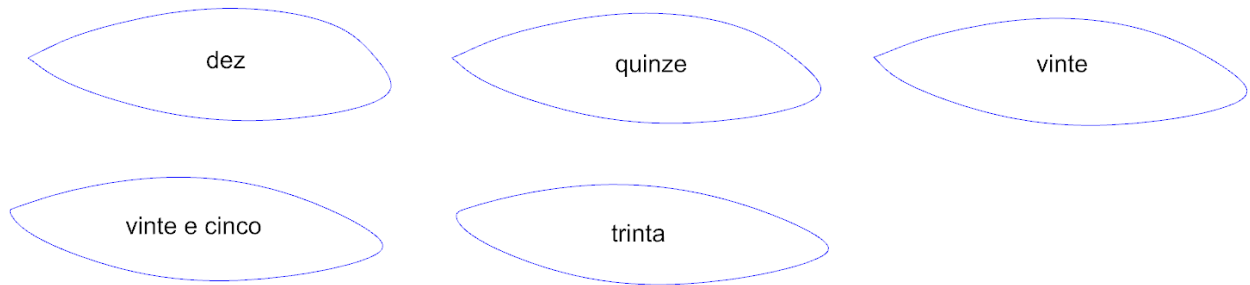
Figura 47 - Comportamento do plando de linha d'água pequenos ângulos



Fonte: Autora (2018)

A Figura 47 exhibe os planos de linha d'água dos cascos com ângulo de roll variando de 0 a 10 graus. Ao analisar a imagem, é possível perceber que o formato deste plano começa a apresentar uma alteração mais significativa na popa a partir de 5 graus. Porém, para ângulos pequenos, as modificações ainda não são tão expressivas.

Figura 48 - Comportamento do plano de linha d'água



Fonte: Autora (2018)

Na Figura 48 é possível observar os planos de linhas d'água dos cascos com aplicação de ângulo de banda de 10 a 30 graus. Ao analisar a imagem, percebe-se que quando a embarcação sofre um rotacionamento maior, a região do casco que se intercepta com o plano diminui consideravelmente, fazendo com que o formato deste, na proa e na popa, torne-se mais delgado. Para os ângulos de 10 a 30 graus, a modificação da geometria dos planos de linha d'água é bastante perceptível.

6 CONCLUSÃO

A importância que o posicionamento do centro de resistência lateral apresenta no balanceamento longitudinal de um veleiro e, conseqüentemente, na estabilidade direcional da embarcação, fomenta a realização de um estudo sobre o seu comportamento diante de diferentes situações de banda.

Através da análise do método empírico da obtenção do posicionamento do CLR, desenvolvido por Gerristma (1971) e aprimorado por Nomoto e Tatano (1979), utilizou-se a simplificação deste método elaborada por Larsson e Eliasson (2007) na realização do presente estudo. Esta decisão baseou-se nas considerações adicionais propostas pelos autores.

Ao estudar o método de determinação do CLR de Larsson e Eliasson (2007), foi possível concluir que ele se aplica apenas a veleiros do tipo deslocante e que apresentem fin keel, pois o seu posicionamento depende, principalmente, das dimensões da quilha. Além disso, como o método citado acima considera a projeção geométrica das obras vivas de uma embarcação como sendo semelhante ao formato de um avião, conclui-se que o CLR irá se localizar a 25% da corda, a partir da borda de ataque, não em 50% onde o centro de gravidade e o CG se encontram. A diferença no posicionamento do CLR hidrodinâmico e no CG ocorre devido ao efeito do empuxo atuante no casco.

Com o estudo do comportamento do lead e da estabilidade direcional de um veleiro, foi possível concluir que o cálculo do centro de esforço da vela utilizado, pode ser aplicado a todos os tipos de veleiros, independente do velame, pois ele depende apenas da geometria das velas. O mesmo ocorre com o cálculo do centro geométrico, já que este, está relacionado com a projeção de forma das obras vivas.

O trabalho realizado consistiu na aplicação de diferentes ângulos de banda no casco proporcionado por Larsson e Eliasson (2007) em seu estudo. Portanto, iniciou-se com a modelagem da geometria do veleiro a partir do software Rhinoceros e seu plug in ORCA 3D, buscando a maior similaridade com a embarcação estudada. Com a modelagem concluída, aplicaram-se os ângulos de roll, variando de zero a 30 graus, que resultaram em planos de linha d'água distintos para cada ângulo, obtidos através do ORCA 3D. Por último, utilizou-se a projeção geométrica da carena e seus apêndices para determinar o CG e o CLR para cada situação de banda, comparando os resultados.

Com a comparação dos posicionamentos dos CGs entre os ângulos de banda foi possível concluir que conforme a rotação aumentava, o comportamento da localização do centro permanecia consistente, se movendo à ré e para cima da geometria projetada.

No caso do CLR, ao rotacionar de zero a 30 graus, a posição vertical dos centros se comportou da mesma maneira que em CG, porém para posição horizontal houve uma inconsistência no intervalo de 1 a 7 graus. Uma das possíveis justificativas do comportamento errático apresentado pelas rotações de 1 a 7 graus seria a variação não uniforme do plano de linha d'água para variados ângulos de banda de cascos de veleiros típicos. Como as inconsistências obtidas são muito pequenos, é possível cogitar que essas inconsistências não afetam no balanceamento longitudinal.

Os objetivos principais estipulados por esse trabalho foram concluídos, porém diversos questionamentos surgiram ao longo do processo, sendo necessária a realização de trabalhos futuros para obter uma melhor avaliação.

Recomenda-se analisar a influência da ação que o lift tem no posicionamento do centro de esforço vélico para verificar possíveis alterações no equilíbrio direcional do veleiro. Realizar um estudo mais aprofundado no posicionamento do CLR para os intervalos de 1 a 7 graus de banda, para determinar o motivo de seu comportamento distinto. Estudar o efeito de diferentes modelos de quilha e leme no balanceamento longitudinal do veleiro e também o efeito de diferentes tipos de geometrias de cascos.

REFERÊNCIAS

- ABATIMENTO LATERAL. Descrição detalhada. **Salvador**. Disponível em: <<http://salvador-nautico.blogspot.com/2018/06/abatimento.html>>. Acesso em: 11 nov 2018.
- BATCHELOR, G, K. **Slender-body theory for particles of arbitrary cross-section in Stokes flow**. Cambridge: Journal of Fluid Mechanics, 1970.
- BENFORD, H. **Naval architecture for non-naval architects**. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1991.
- BILGE KEEL. Descrição detalhada. **Sirius**. Disponível em: <www.sirius-werft.de/wpsirius/en/yachten/kiele/kimmkiele/>. Acesso em: 15 out. 2018.
- BOLINA RETRÁTIL. Descrição detalhada. **Boating**. Disponível em: <boatingbasiconline.com/content/general/9_5_b.htm>. Acesso em: 15 out. 2018.
- CATAMARÃ. Descrição detalhada. **Cruising**. Disponível em: <cruisingyachts.net/yachts/bali-catamarans/bali-5-4-catamaran/>. Acesso em: 29 out. 2018.
- CUTTER. Descrição detalhada. **Sailrite**. Disponível em: <sailrite.com/Pearson-422-cutter-Rig-Sail-Data/>. Acesso em: 29 out. 2018.
- EDMUNDS, A. **Designing power and sail**. Enola: Bristol Fashion Publications, 1998.
- EXPERIMENTO DE REYNOLDS. Descrição detalhada. **Labtermo**. Disponível em: <labtermo.ufsc.br>. Acesso em: 11 nov 2018.
- FONSECA, M. **Arte naval**. 6. ed. Rio de Janeiro: Serviço de documentação da marinha, 2002.
- FOX, R.; MCDONALD, A; PRITCHARD, J. **Introduction to fluid mechanics**. 6. ed. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 2004.
- FRANCISCO SANTOS. Descrição detalhada. **Salvador**. Disponível em: <<http://salvador-nautico.blogspot.com/2018/06/abatimento.html>>. Acesso em: 11 nov. 2018.
- GERR, D. Descrição detalhada. **Gerrmarine**. Disponível em: <gerrmarine.com/Articles/TwinKeelsAndRudders.pdf>. Acesso em: 28 out. 2018.
- GERR, D. **Propellers: form, function, selection, speed & powering and problem solving**. New York: Dave Gerr, 2013.
- GERRISTMA, J. **Course keeping qualities and motions in waves of a sailing yacht**. Estocolmo: Technical Report, Delft University of Technology, 1971.
- GILLMER, C. T.; JOHNSON, B. **Introduction to naval architecture**. Maryland: United States Naval Institute, 1982.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12215: Small craft- Hull construction and scantlings**, Vernier, 2008 part 5.

KETCH. Descrição detalhada. **Denson**. Disponível em: <denisonyachtsales.com/yacht-listings/63-Cruising-Ketch-Stuart-63-1983-Palm-Beach-Florida/5028536>. Acesso em: 15 out. 2018.

LARSSON, L.; ELIASSON, E.R. **Principals of yacht design**. 3. ed. Maine: McGraw-Hill, 2007.

LEE, J, M. et al. **Determination of global ice loads on the ship using the measured full-scale motion data**. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 8 ed, 2016.

MONOCASCO. Descrição detalhada. **Cruising**. Disponível em: < cruisingworld.com/hull-types/monohull>. Acesso em: 29 out. 2018.

NOMOTO, K.; TATANO, H. **Balance of helm of sailing yachts, a shiphydrodynamics approach on the problem**. Amsterdam: HISWA, 1979.

NORMAS DA AUTORIDADE MARÍTIMA. **NORMAM -03**: Amadores, Embrcações de Esporte e/ ou Recreio para Cadastramento e Funcionamento das Marinas, Clubes e Entidades Desportivas Náuticas. Rio de Janeiro, 2003. 16 p.

OCEANSAIL. Descrição detalhada. **Oceansail**. Disponível em: <oceansail.co.uk/articles/KeelsAndRuddersArticle.php> Acesso em: 22 set. 2018.

QUILHAS. Descrição detalhada. **Sailing**. Disponível em: <sailingsimplicity.com/best-features-of-a-blue-water-boat-part-i/>. Acesso em: 15 out. 2018.

RICHARD JORDAN. Descrição detalhada. **Jordanyachts**. Disponível em: <jordanyachts.com/4023>. Acesso em: 30 out. 2018.

SAKURAI, A; NAKAMURA, T; NAKAMOTO, Y. **Experimental study of a directional stable sailing vehicle with a free-raking rig and self- trimming sail**. 16.ed. Maryland, 2003.

SHIP MOTION. Descrição detalhada. **Rmrco**. Disponível em: <rmrco.com/docs/m1207_ship_movements_at_sea.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2018.

SLOOP. Descrição detalhada. **Thoughtco**. Disponível em: <thoughtco.com/buying-a-sailboat-sloop-vs-ketch-2915587>. Acesso em: 15 out. 2018.

CAROL CRONIN. Descrição detalhada. **Boats**. Disponível em: <boats.com/resources/sailing-101-sailboat-types-rigs-and-definitions/>. Acesso em: 15 out. 2018.

TIPOS DE VELAMES. Descrição detalhada. **Boats**. Disponível em: <boats.com/resources/sailing-101-sailboat-types-rigs-and-definitions/>. Acesso em: 15 out. 2018.

TIPOS DE VELEIROS. Descrição detalhada. **Boats**. Disponível em: <boats.com/resources/sailing-101-sailboat-types-rigs-and-definitions/>. Acesso em: 15 out. 2018.

TRIMARÃ. Descrição detalhada. **Grainger**. Disponível em: <graingerdesigns.net/trimaran-designs/mauritius-20-trimaran/>. Acesso em: 29 out. 2018.

VELEIRO DESLOCANTE. Descrição detalhada. **Cruising**. Disponível em: <cruisingworld.com/hull-types/monohull >. Acesso em: 28 out. 2018.

VELEIRO PLANANTE. Descrição detalhada. **Sailing**. Disponível em: <[boa/](#)>. Acesso em: 28 out. 2018.

VISCOSIDADE DINÂMICA. Descrição detalhada. **Hidrotec**. Disponível em: <hidrotec.xpg.com.br/tabvisc.htm>. Acesso em: 25 out. 2018.

WING KEEL. Descrição detalhada. **Beneteau**. Disponível em: <beneteau235.com/keel.htm>. Acesso em: 15 out. 2018.

APÊNDICE A - RESULTADOS HIDROSTÁTICOS E ESTÁTICOS

Figura 1 - Ângulo de banda zero graus

Condition Summary

Load Condition Parameters					
Condition	Weight / Sinkage	LCG / Trim	TCG / Heel	VCG (m)	
Condition 1	8120,000 kgf	0,000 deg	0,000 deg	0	

Resulting Model Attitude and Hydrostatic Properties				
Condition	Sinkage (m)	Trim(deg)	Heel(deg)	Ax(m ²)
Condition 1	0,006	0,000	0,000	1,40

Condition	Displacement Weight (kgf)	LCB(m)	TCB(m)	VCB(m)	Wet Area (m ²)
Condition 1	8120,002	6,172	0,000	-0,198	26,418

Condition	Awp(m ²)	LCF(m)	TCF(m)	VCF(m)
Condition 1	23,831	6,464	0,000	0,006

Condition	BMt(m)	BMI(m)	GMt(m)	GMI(m)
Condition 1	1,899	17,562	1,701	17,364

Condition	Cb	Cp	Cwp	Cx	Cws	Cvp
Condition 1	0,445	0,568	0,745	0,783	2,977	0,597

Figura 2 - Ângulo de banda cinco graus

Condition Summary

Load Condition Parameters					
Condition	Weight / Sinkage	LCG / Trim	TCG / Heel	VCG (m)	
Condition 1	8120,000 kgf	0,000 deg	0,000 deg	0	

Resulting Model Attitude and Hydrostatic Properties				
Condition	Sinkage (m)	Trim(deg)	Heel(deg)	Ax(m ²)
Condition 1	0,002	0,000	0,000	1,40

Condition	Displacement Weight (kgf)	LCB(m)	TCB(m)	VCB(m)	Wet Area (m ²)
Condition 1	8120,001	6,187	-0,148	-0,205	26,361

Condition	Awp(m ²)	LCF(m)	TCF(m)	VCF(m)
Condition 1	23,743	6,465	-0,101	0,002

Condition	BMt(m)	BMI(m)	GMt(m)	GMI(m)
Condition 1	1,876	17,563	1,671	17,358

Condition	Cb	Cp	Cwp	Cx	Cws	Cvp
Condition 1	0,420	0,561	0,735	0,748	2,950	0,571

Figura 3 - Ângulo de banda dez graus

Condition Summary

Load Condition Parameters					
Condition	Weight / Sinkage	LCG / Trim	TCG / Heel	VCG (m)	
Condition 1	8120,000 kgf	0,000 deg	0,000 deg	0	

Resulting Model Attitude and Hydrostatic Properties				
Condition	Sinkage (m)	Trim(deg)	Heel(deg)	Ax(m ²)
Condition 1	-0,011	0,000	0,000	1,39

Condition	Displacement Weight (kgf)	LCB(m)	TCB(m)	VCB(m)	Wet Area (m ²)
Condition 1	8120,001	6,231	-0,290	-0,224	26,188

Condition	Awp(m ²)	LCF(m)	TCF(m)	VCF(m)
Condition 1	23,476	6,470	-0,203	-0,011

Condition	BMt(m)	BMI(m)	GMt(m)	GMI(m)
Condition 1	1,808	17,555	1,584	17,331

Condition	Cb	Cp	Cwp	Cx	Cws	Cvp
Condition 1	0,390	0,554	0,721	0,705	2,904	0,541

Figura 4 - Ângulo de banda quinze graus

Condition Summary

Load Condition Parameters				
Condition	Weight / Sinkage	LCG / Trim	TCG / Heel	VCG (m)
Condition 1	8120,000 kgf	0,000 deg	0,000 deg	0

Resulting Model Attitude and Hydrostatic Properties				
Condition	Sinkage (m)	Trim(deg)	Heel(deg)	Ax(m ²)
Condition 1	-0,034	0,000	0,000	1,38

Condition	Displacement Weight (kgf)	LCB(m)	TCB(m)	VCB(m)	Wet Area (m ²)
Condition 1	8120,001	6,301	-0,423	-0,255	25,896

Condition	Awp(m ²)	LCF(m)	TCF(m)	VCF(m)
Condition 1	23,034	6,481	-0,307	-0,034

Condition	BMt(m)	BMI(m)	GMt(m)	GMI(m)
Condition 1	1,700	17,503	1,445	17,248

Condition	Cb	Cp	Cwp	Cx	Cws	Cvp
Condition 1	0,366	0,548	0,710	0,667	2,848	0,515

Figura 5 - Ângulo de banda vinte graus

Condition Summary

Load Condition Parameters						
Condition	Weight / Sinkage	LCG / Trim	TCG / Heel	VCG (m)		
Condition 1	8120,000 kgf	0,000 deg	0,000 deg	0		

Resulting Model Attitude and Hydrostatic Properties					
Condition	Sinkage (m)	Trim(deg)	Heel(deg)	Ax(m ²)	
Condition 1	-0,065	0,000	0,000	1,37	

Condition	Displacement Weight (kgf)	LCB(m)	TCB(m)	VCB(m)	Wet Area (m ²)	
Condition 1	8120,001	6,389	-0,541	-0,297	25,484	

Condition	Awp(m ²)	LCF(m)	TCF(m)	VCF(m)		
Condition 1	22,427	6,506	-0,413	-0,065		

Condition	BMt(m)	BMI(m)	GMt(m)	GMI(m)		
Condition 1	1,560	17,345	1,263	17,047		

Condition	Cb	Cp	Cwp	Cx	Cws	Cvp
Condition 1	0,351	0,547	0,703	0,642	2,788	0,500

Figura 6 - Ângulo de banda vinte e cinco graus

Condition Summary

Load Condition Parameters						
Condition	Weight / Sinkage	LCG / Trim	TCG / Heel	VCG (m)		
Condition 1	8120,000 kgf	0,000 deg	0,000 deg	0		

Resulting Model Attitude and Hydrostatic Properties					
Condition	Sinkage (m)	Trim(deg)	Heel(deg)	Ax(m ²)	
Condition 1	-0,106	0,000	0,000	1,36	

Condition	Displacement Weight (kgf)	LCB(m)	TCB(m)	VCB(m)	Wet Area (m ²)	
Condition 1	8120,001	6,487	-0,642	-0,349	24,976	

Condition	Awp(m ²)	LCF(m)	TCF(m)	VCF(m)		
Condition 1	21,703	6,553	-0,520	-0,106		

Condition	BMt(m)	BMI(m)	GMt(m)	GMI(m)		
Condition 1	1,407	17,011	1,058	16,662		

Condition	Cb	Cp	Cwp	Cx	Cws	Cvp
Condition 1	0,347	0,550	0,704	0,630	2,733	0,492

Figura 7 - Ângulo de banda trinta graus

Condition Summary

Load Condition Parameters					
Condition	Weight / Sinkage	LCG / Trim	TCG / Heel	VCG (m)	
Condition 1	8120,000 kgf	0,000 deg	0,000 deg	0	

Resulting Model Attitude and Hydrostatic Properties				
Condition	Sinkage (m)	Trim(deg)	Heel(deg)	Ax(m ²)
Condition 1	-0,156	0,000	0,000	1,36

Condition	Displacement Weight (kgf)	LCB(m)	TCB(m)	VCB(m)	Wet Area (m ²)
Condition 1	8120,001	6,585	-0,726	-0,409	24,445

Condition	Awp(m ²)	LCF(m)	TCF(m)	VCF(m)
Condition 1	20,969	6,619	-0,625	-0,156

Condition	BMt(m)	BMI(m)	GMt(m)	GMI(m)
Condition 1	1,268	16,515	0,859	16,106

Condition	Cb	Cp	Cwp	Cx	Cws	Cvp
Condition 1	0,346	0,552	0,705	0,628	2,678	0,491

APÊNDICE B – CÁLCULO DO CG E CLR

Figura 1 – CG de cinco a trinta graus

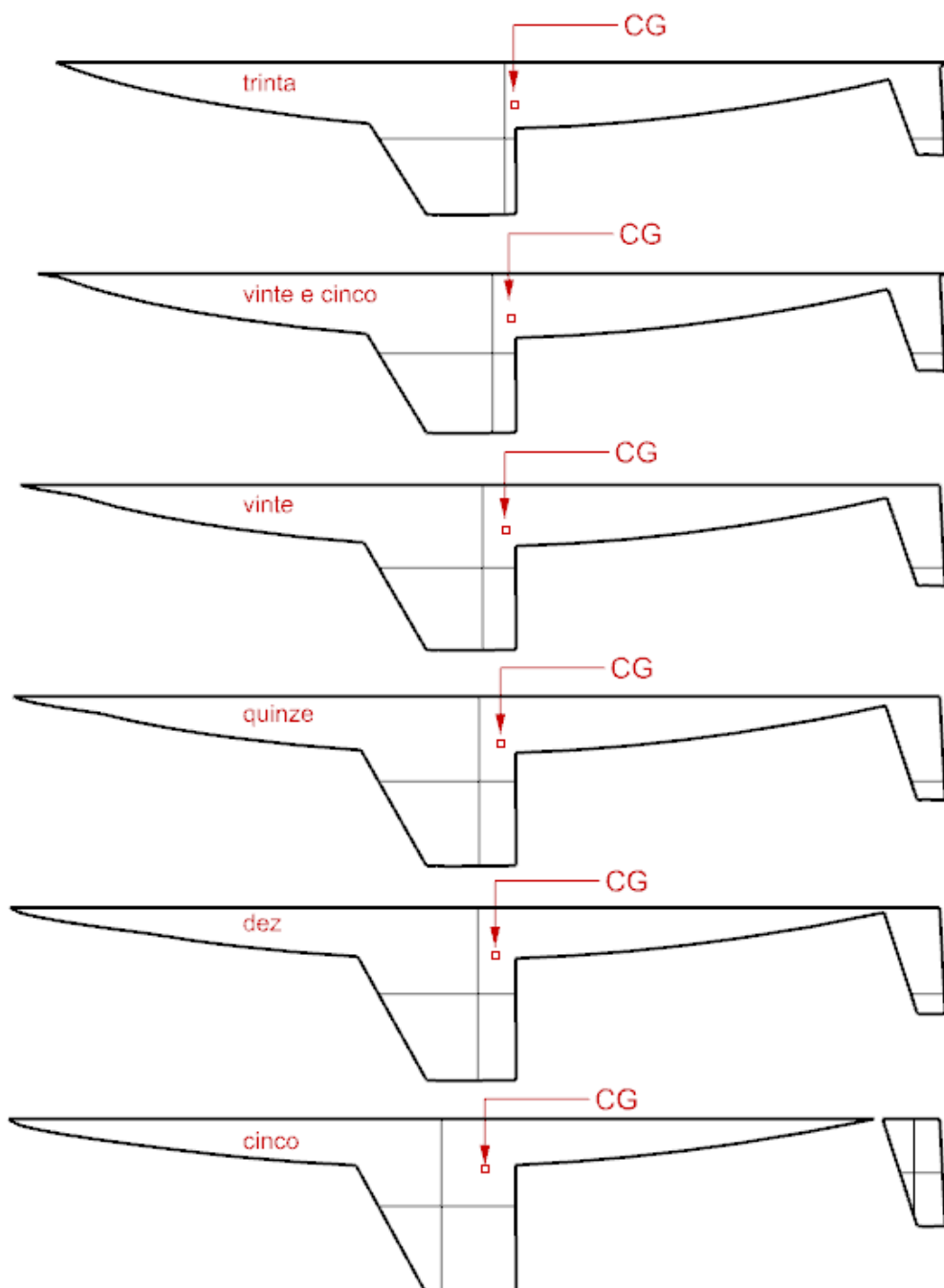


Figura 2 – CLR de cinco a trinta graus

