

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

JOÃO PEDRO DE MATOS PIO

ANÁLISE DE ESTABILIDADE TRANSVERSAL DE UM CAIAQUE TRIMARÃ DE
PESCA DE PEQUENA DIMENSÃO

Joinville

2018

JOÃO PEDRO DE MATOS PIO

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE TRANSVERSAL DE UM CAIAQUE TRIMARÃ DE
PESCA DE PEQUENA DIMENSÃO**

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: Prof. Dr. Eng. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto

Joinville

2018

JOÃO PEDRO DE MATOS PIO

ANÁLISE DE ESTABILIDADE TRANSVERSAL DE UM CAIAQUE TRIMARÃ DE
PESCA DE PEQUENA DIMENSÃO

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:

Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto

Orientador

Presidente

Dr. Thiago Pontin Tancredi

Membro

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luiz Eduardo Bueno Minioli

Membro

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Dalnei e Angélica, e à minha madrasta, Ana Carina, por toda confiança, compreensão e amor incondicional ao longo desses anos.

Agradeço aos meus irmãos, Matheus e Gabriel, por serem meus melhores amigos e confidentes.

À minha família, por todo apoio e motivação.

Aos meus colegas de turma, que me ensinaram que a caminhada é menos árdua quando se está acompanhado.

Ao Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, por todo conhecimento compartilhado ao longo desse projeto.

Ao Engenheiro e grande amigo Eduardo Bastezini, pelo fornecimento do material para o trabalho e pela amizade ao longo de todos esses anos.

À minha namorada, que me motiva a cada dia a ser uma pessoa melhor em todas as esferas da minha vida.

A todos os meus ex-colegas de república, que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

“A verdadeira força nem sempre é mostrada através da vitória.
Levante-se, tente novamente e mostre a força do coração.”

Rickson Gracie

RESUMO

O presente trabalho tem a proposta de analisar a estabilidade estática transversal (*roll*) de um caiaque trimarã de pequena dimensão através de estudos bibliográficos cálculos analíticos. O estudo se faz presente uma vez que o conforto e a segurança da prática são imprescindíveis para essa modalidade, e caiaques por si só são um tanto quanto instáveis quando comparados a embarcações maiores, além de possuírem pouco material de estudo na literatura. O caiaque tem capacidade para uma pessoa e é propelido por remo e vela, tendo como objetivos principais o uso para a prática de pesca esportiva e vela, que vêm se mostrando nova tendência no Brasil no ramo de esporte e lazer. O caiaque oferece possibilidades de conversão em um trimarã por meio de adição de hastes e flutuadores, facilitando sua utilização com propulsão a vela. No trabalho é analisado apenas a influência dos estabilizadores laterais e distribuição de peso em sua estabilidade transversal sem modificações no projeto do casco central e geometria dos flutuadores, através da identificação da distribuição do peso corporal do praticante nas situações de uso, seleção equipamentos a bordo e análise analítica e de normas, realizados através do Orca3D®, *plug-in* do Rhinoceros®. Após a obtenção dos resultados e dos comparativos com o material bibliográfico, a embarcação foi considerada como estável nas condições analisadas, sendo apta para receber vento de até 12 m/s, equivalente a força 6 na Escala Beaufort.

Palavras-chave: Multicasco. Estabilidade. Trimarã. Caiaque.

ABSTRACT

The present work has a proposal of analyzing the static transversal stability (roll) of a trimaran kayak of small dimension through bibliographic studies and analytical calculations. The study is required since the comfort and safety of the practice are essential to this modality, and kayaks are more unstable when compared to bigger boats, besides having little study material in the literature. The analyzed kayak has a capacity for one person and is propelled by sail rowing, having as main objectives the use for a practice of sport fishing and sailing, which are showing to be a new trend in Brazil in the field of sports and leisure. The kayak offers possibilities of conversion in a trimaran by means of addition of stems and floats, facilitating its use with sail. In this work, the influence of lateral stabilizers and weight distribution on their transverse stability without modifications in the central hull design and float geometry are analyzed by identifying the distribution of the body weight of the practitioner in the situations of use, selection of equipment on board and analytical and standards analysis, performed using the Orca3D®, a Rhinoceros® plug-in. After obtaining the results and comparisons with the bibliographical material, the vessel was considered stable under the analyzed conditions, being able to receive wind up to 12 m / s, equivalent to force 6 in the Beaufort Scale.

Keywords: Multihull. Stability. Trimaran. Kayak.

LISTA DE FIGRAS

Figura 1- Embarcação polinésia	4
Figura 2 - Tipo de caiaques	6
Figura 3 - Tipos de casco	7
Figura 4 – Caiaque de corredeira	8
Figura 5 - Caiaque do tipo sit on top.....	9
Figura 6 - Caiaque do tipo sit inside.....	9
Figura 7 - Caiaque de pesca com estabilizadores.....	10
Figura 8 - Mirage Tandem Island.....	11
Figura 9 - <i>Driver</i> de caiaque.....	12
Figura 10 - Vela tipo asa de morcego.....	13
Figura 11 - Posição relativa de GM, BM e GZ	16
Figura 12 - Gráfico de $w*d$ por $W*tg\phi$	18
Figura 13 - Geração do braço de endireitamento	20
Figura 14 - Comportamento da curva GZ	21
Figura 15 - Curvas de estabilidade estática e energia requerida para emborcar um multicasco moderno e um monocasco moderno.....	24
Figura 16 - Tipos de casualidades ocorridas em trimarãs	25
Figura 17 - ISO 12217-2. Parte 2: Barco a vela com casco maior ou igual a 6 m	27
Figura 18 - ISO 12217-3. Parte 3: Barcos com casco menor que 6 m	28
Figura 19 - Teste de resistência ao adernamento provocado pelo vento.....	30
Figura 20 - Posição de hCE e hLP	31
Figura 21 - Posição do praticante sentado.....	33
Figura 22 - Posição do praticante pescando em pé	33
Figura 23 - Posição do praticante pescando sentado.....	33
Figura 24 - Antropometria.....	35
Figura 25 - Centro de gravidade do praticante sentado.....	36
Figura 26 - Vela.....	37
Figura 27 - Carretilha Abu Garcia® REVO® Ike Low Profile	39
Figura 28 - Posição de pesca esportiva	40
Figura 33 - Vista em perspectiva do caiaque preliminar.....	14
Figura 34 - Vista frontal do casco central	15

Figura 29 - Trimarã de competição	43
Figura 30 - Ângulo de incidência do vento	44
Figura 31 - Esforços gerados na embarcação analisada	45
Figura 32 - Cálculo analítico do teste ISO 12217	46
Figura 35 - Alterações da haste e flutuador.....	47
Figura 36 - Daggerboard e leme.....	48
Figura 37 - Vela modelada	48
Figura 38 - Cooler modelado no Rhinoceros	50
Figura 39 - Centro de gravidade do cooler.....	50
Figura 40 - Vista em perspectiva do caiaque analisado	51
Figura 41 - Vista lateral do caiaque analisado	52
Figura 42 - Orca3D: Condições iniciais	53
Figura 43 - Orca3D: Pesos e centros	54
Figura 44 - Orca3D: Análise hidrostática.....	54
Figura 45 - Orca3D: Análise de estabilidade	55
Figura 46 - Posição em CAD 2D do praticante sentado.....	57
Figura 47 - Dimensões do praticante.....	57
Figura 48 - Distância dos CGs dos membros do praticante sentado	58
Figura 49 - Praticante pescando	59
Figura 50 - Altura dos CGs dos membros do praticante pescando	60
Figura 51 - Centro de gravidade do praticante em pé	60
Figura 52 - Representação da força exercida pelo peixe no ato da pesca	61
Figura 53 - Vela Hobie em 2D	62
Figura 54 - Centróide da vela	63
Figura 55 - Centróide da vela em coordenadas globais.....	64
Figura 56 - Flutuador submerso: Vista em perspectiva	64
Figura 57 - Flutuador submerso: Vista frontal.....	65
Figura 58 - Gráfico de braço de endireitamento.....	66
Figura 59 - Gráfico comparativo de velocidade máxima de vento recomendada	70
Figura 60 - Escala Beaufort para classificação do vento.....	71
Figura 61 - Comportamento real do gráfico de braço de endireitamento	72
Figura 62 - Curva de estabilidade do trimarã analisado (praticante sentado)	77

Figura 63 - Curva de estabilidade do casco central sem flutuadores e com o praticante sentado	77
Figura 64 - Curva de estabilidade do trimarã analisado (praticante pescando).....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área nominal mínima para veleiros	28
Tabela 2 - Recomendações ISO 12217 dada a categoria da embarcação	31
Tabela 3 - Porcentagem do peso corporal	34
Tabela 4 - Distância do centro de gravidade do proximal.....	34
Tabela 5 - Dimensões principais do caiaque trimarã	14
Tabela 6 - Coeficientes de forma do caiaque trimarã.....	15
Tabela 7 - Centro de gravidade do cooler em coordenadas globais	50
Tabela 8 - CG dos membros do praticante	56
Tabela 9 - Comprimento dos membros para uma pessoa de 1,75m.....	56
Tabela 10 - Centro de gravidade do praticante sentado	58
Tabela 11 - Centro de gravidade do praticante sentado em coordenada global	58
Tabela 12 - Centro de gravidade do praticante em pé em posição de pesca	60
Tabela 13 - Centro de gravidade do praticante pescando em coordenada global	61
Tabela 14 - Localização da ponta da vara em coordenada global.....	62
Tabela 15 - Centroide da vela.....	63
Tabela 16 - Centroide da vela em coordenadas globais	63
Tabela 17 - Ângulo para submergir um flutuador	65
Tabela 18 - Centros de gravidade no calado de projeto	65
Tabela 19 - Propriedades hidrostáticas no calado de projeto	66
Tabela 20 - Valores de máximo e ângulo de emborcamento	67
Tabela 21 - Propriedades de massa	67
Tabela 22 - Velocidade máxima do vento recomendada pela ISSO 12217	68
Tabela 23 - Velocidade máxima do vento recomendada utilizando John Shuttleworth	68
Tabela 24- Tabela 20 - Velocidade máxima do vento recomendada analisando por placa plana	69

LISTA DE SÍMBOLOS

A'_S	Área projetada da vela
h_{CE}	Altura do centro geométrico de A'_S acima da linha d'água
h_{LP}	Altura da linha d'água acima do centro geométrico da área do perfil lateral da porção submersa do casco e quilha/bolina
B_M	Raio metacêntrico
C_G	Centro de gravidade
F_H	Força do vento
G_M	Altura metacêntrica
G_Z	Braço de endireitamento
I_t	Momento de inércia
X_{CG}	Posição longitudinal do centro de gravidade
Y_{CG}	Posição vertical do centro de gravidade
m_i	Massa da partícula
x_i	Posição longitudinal do centro de gravidade da partícula
y_i	Posição vertical do centro de gravidade da partícula
A_S	Área vélica
m_{LDC}	Deslocamento
∇	Deslocamento do corpo submerso
A	Área de cada cunha γ
E	Empuxo
h	Altura do centroide da vela
m	Metros
ϕ	Ângulo
T	Tensão no cabo
W	Deslocamento

w	Força atuante em um dos bordos da embarcação
x	Eixo longitudinal da seção transversal do casco
y	Eixo vertical da seção transversal do casco
B	Centro de carena
M	Metacentro
g	Aceleração da gravidade
γ	Ângulo entre isocarenas
ρ	Densidade da água

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	3
1.1.1	Objetivo Geral	3
1.1.2	Objetivos Específicos	3
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1	TIPOS DE CAIAQUES E SUAS CARACTERÍSTICAS	5
2.2	TIPOS DE PROPULSÃO	11
2.3	ESTABILIDADE DO CASCO.....	15
2.3.1	Metacentro.....	17
2.3.2	Braço de endireitamento.....	20
2.4	CENTRO DE GRAVIDADE.....	22
2.5	ESTABILIDADE DE TRIMARÃS	23
2.6	ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.....	26
2.6.1	ISO 12217 Parte 3	28
2.7	PESO CORPORAL E SUA DISTRIBUIÇÃO	32
2.8	MOMENTO GERADO PELA VELA	36
2.9	VELOCIDADE MÁXIMA DO VENTO – John Shuttleworth.....	37
2.10	MOMENTO GERADO DURANTE A PESCA	38
2.11	CASCO EM ANÁLISE.....	13
3	METODOLOGIA	41
4	AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE DO CAIAQUE TRIMARÃ.....	42
4.1	CONSIDERAÇÕES.....	42
4.2	FONTES DE MOMENTO	43
4.2.1	Momento gerado pela vela	44
4.2.2	Empuxo dos flutuadores	44
4.3	ANÁLISE DA NORMA	45

4.4	Alterações feitas no projeto	46
4.5	ANÁLISE COMPUTACIONAL	52
4.5.1	Deslocamento, coeficientes de forma, pesos e centros	52
4.5.2	Curva de estabilidade	55
5	RESULTADOS	56
5.1	CENTRO DE GRAVIDADE DO PRATICANTE	56
5.1.1	SENTADO	56
5.1.2	PESCANDO	59
5.2	CENTRÓIDE DA VELA	62
5.3	ÂNGULO NECESSÁRIO PARA SUBMERGIR UM FLUTUADOR	64
5.4	PROPRIEDADES HIDROSTÁTICAS E CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO .	65
5.5	BRAÇO DE ENDIREITAMENTO E MOMENTO RESTAURADOR.....	66
5.6	MÁXIMA VELOCIDADE DE VENTO RECOMENDADA	67
5.6.1	ISSO 12217	67
5.6.2	John Shuttleworth	68
5.6.3	Análise por placa plana	69
6	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	70
7	CONCLUSÃO.....	73

1 INTRODUÇÃO

As embarcações são desenvolvidas para diversas finalidades, o que as faz possuir características específicas. Quando comparamos um trimarã com embarcações monocasco tradicionais de mesmo deslocamento, observa-se que o trimarã possui um menor calado, menor área molhada e uma boca maior, conferindo características muito desejadas para certas aplicações e indesejadas para outras, assim como caiaques.

Como na distribuição de pesos de um caiaque a maior parte da carga se encontra acima de toda a estrutura, o centro de gravidade acaba ficando muito elevado, o que é um grande problema para um caiaque de pesca ou para um veleiro.

Durante a prática da pesca esportiva, o praticante muitas vezes está sob efeito de diversas forças externas, além de se posicionar de várias formas no caiaque, gerando muitas possibilidades de instabilidade na embarcação. Para amenizar os efeitos de instabilidade e diminuir a possibilidade de adernamento (ou banda), a utilização de flutuadores (*amas*) laterais no caiaque se mostra boa opção, uma vez que a utilização de uma quilha com lastro profundo impossibilitaria a navegação em águas rasas.

A embarcação em análise é um caiaque reversível em trimarã de pequenas dimensões, com o casco central (caiaque) e flutuadores laterais removíveis, aplicáveis quando se deseja utilizar uma vela como sistema de propulsão. Por se tratar de um caiaque/trimarã reversível utilizado para pesca esportiva e vela, um dos aspectos mais almejados é uma boa estabilidade transversal, que é conferida pelo grande momento restaurador promovido pelos flutuadores, além de permitir a navegação em águas rasas.

A possibilidade de utilização de embarcações multicasco desse tipo no Brasil é ampla, haja visto que o Brasil possui uma costa de 7.367 km de extensão, além de uma das maiores redes fluviais do mundo e uma enorme porção de águas abrigadas, como represas e lagos, que proporcionam um ambiente favorável para práticas náuticas. “Tendo ainda inúmeras represas e rios e contando com bons ventos, o país se torna um dos mais favoráveis do mundo para o esporte náutico” (ROSSI, 2006, p.1).

Com uma costa tão extensa e a proximidade de grandes centros urbanos do mar, a pesca esportiva é amplamente praticada no Brasil, sendo os rios e manguezais de estuários

muito procurados pelos pescadores esportivos (PARANÁ, 2006), além do que, no país encontra-se a Bacia Amazônica - a maior bacia hidrográfica do mundo, e a Bacia do Rio da Prata – a quarta maior, localizada no Pantanal mato-grossense, onde a pesca esportiva é mundialmente famosa e também é uma atividade turística de importante impacto na economia local (GIRARD, 2008).

Com o grande potencial deste mercado e com estudos escassos sobre estabilidade de caiaques e trimarãs de pequena dimensão, vê-se a oportunidade de analisar um tipo de embarcação que possivelmente será cada vez mais vista navegando em águas brasileiras.

O estudo se faz necessário uma vez que o conforto e a segurança da prática são imprescindíveis para essa modalidade, e caiaques são um tanto quanto instáveis quando comparados a embarcações maiores.

Considerando os aspectos supracitados e levando em conta a pequena quantidade de material bibliográfico disponível sobre estudos de estabilidade de caiaques, o presente trabalho propõe uma análise de estabilidade para esse tipo de embarcação. Para tal será considerada a influência do vento na embarcação, além de levar em conta algumas possíveis posições que o praticante se encontrará e sob outras possíveis influências de forças externas.

Com o auxílio de softwares e a realização de cálculos analíticos utilizando parâmetros pré-estabelecidos, serão analisados os efeitos de tais influências aplicadas no casco com os apêndices, equipamentos e flutuadores instalados. Serão feitas estimativas tanto de posicionamento do ocupante quanto da distribuição de peso do mesmo, fazendo assim, uma estimativa do pesos e momentos atuantes na embarcação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a estabilidade estática de um caiaque trimarã com flutuadores, destinado à pesca esportiva com possibilidade de uso de vela.

1.1.2 Objetivos Específicos

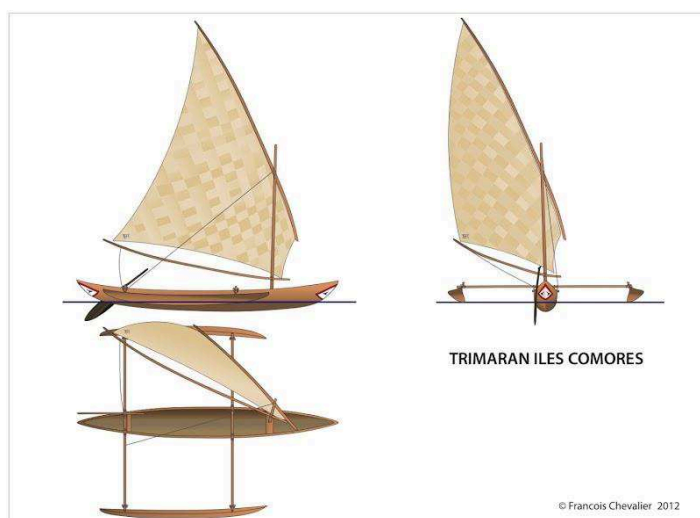
- Fazer modificações de calado e posição dos flutuadores;
- Seleção de vela e caixa térmica;
- Estudar normas de avaliação de estabilidade transversal intacta;
- Definir velocidade máxima de vento que a embarcação pode estar sujeita, segundo cálculos encontrados na bibliografia;
- Analisar a estabilidade estática intacta.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A história da utilização das embarcações se confunde com a própria história da humanidade, uma vez que há teorias de que o homem não tenha saído da África e conquistado o Oriente Médio, Europa e Ásia apenas caminhando a passos lentos, mas também navegando curtas distâncias pela costa (MESQUITA, 2010). Assim, pode-se dizer que a construção naval sempre esteve atrelada ao desenvolvimento das civilizações ao longo dos séculos.

Outro feito impressionante foi a colonização de ilhas do Pacífico que ocorreu entre 4000 e 2000 A.C., pelos polinésios, que graças à estabilidade de suas embarcações multicasco, navegaram distâncias inimagináveis com a tecnologia e conhecimento existentes na época (DORAN, 1972). As embarcações utilizadas pelo polinésios tinham cerca de 20 m de comprimento e possuíam cascos estabilizadores laterais, chamados *ama*, unidos ao casco central por hastes de madeira, chamados *waka* (TAONUI, 2005), como é possível observar na Figura 1. Os estabilizadores possuíam tanto a finalidade de aumentar a flutuação da embarcação, como melhorar sua estabilidade no mar e servir de contrapeso, uma vez que as embarcações possuíam grande vela e baixo calado em relação ao comprimento total, o que as tornam instáveis em condições adversas no mar.

Figura 1- Embarcação polinésia



Fonte: PROAFILE (2014).

Foram justamente esses estabilizadores, que permitiram que os polinésios navegassem distâncias tão grandes em alto mar sem que suas embarcações adernassem demasiadamente, que continuam inspirando projetistas modernos a criar novas embarcações para diversas finalidades utilizando cascos estabilizadores laterais.

O caiaque a ser proposto neste trabalho possui similaridades com as embarcações polinésias: é um trimarã que possui vela e requer uma ótima estabilidade transversal. Esses itens são extremamente importantes para a finalidade do projeto, que é a navegação com vela e a prática da pesca esportiva. Em ambos os casos a embarcação está sujeita a forças externas e internas que podem vir a comprometer sua utilização.

2.1 TIPOS DE CAIAQUES E SUAS CARACTERÍSTICAS

Caiques possuem diversas finalidades e são utilizados por diversos tipos de praticantes, que vão de atletas a fotógrafos, e pode ser utilizado para navegação em águas que vão de corredeiras a oceanos.

Tais necessidades são peculiares a cada tipo de caiaque, dificilmente um mesmo caiaque atenda a várias necessidades ao mesmo tempo. Logo, é importante se ter claro o objetivo de funcionalidade do caiaque para se priorizar alguns aspectos.

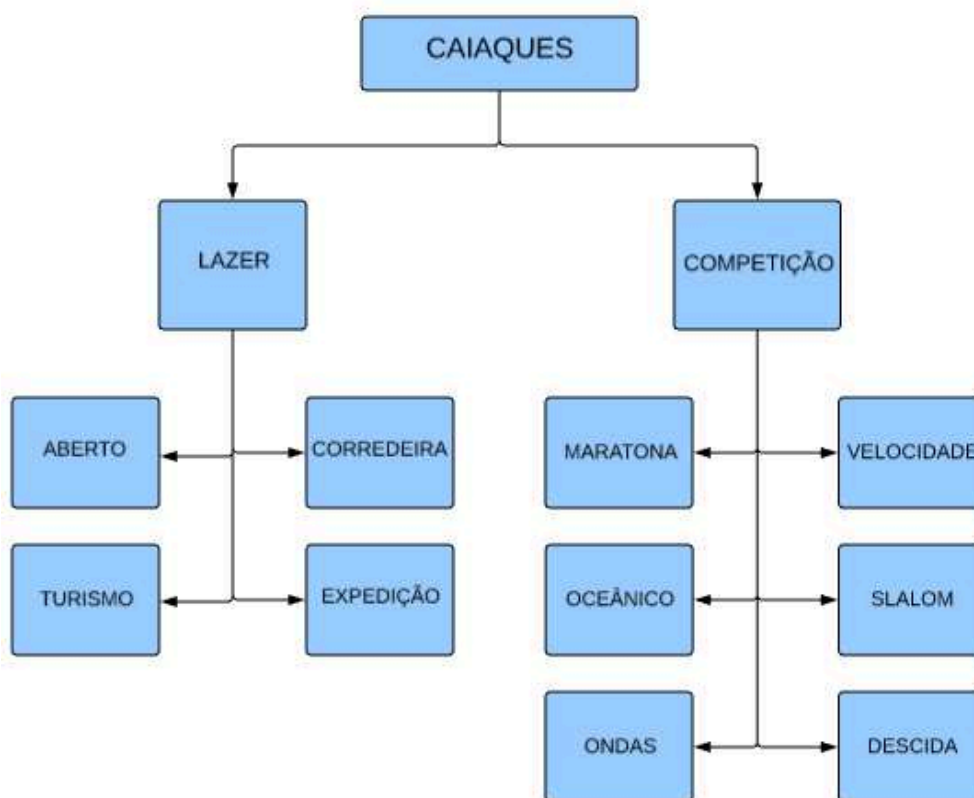
A seguir segue uma lista elaborada pela empresa Caiaker, de aspectos e missões que um caiaque pode ter para que se possa fazer uma escolha adequada à atividade que o caiaque irá desempenhar:

- Facilidade de remar;
- Estabilidade;
- Velocidade em águas calmas;
- Velocidade em ondas;
- Capacidade de passar por ondas e marolas;
- Manobrabilidade;
- Segurança;
- Facilidade de entrar e sair;
- Facilidade de transporte;
- Peso;
- Resistência para o impacto com pedras e fundo;
- Conforto ao sentar;
- Flutuação (inclusive com água dentro);
- Capacidade de levar bagagem
- Facilidade para esgotar água;
- Capacidade para longas travessias em mar com ondas e marolas;

- Facilidade de rolar;
- Adequabilidade para surfar em ondas;
- Adequabilidade para rios com grande volume de água;
- Adequação para manobras de rodeio;
- Capacidade de manter o canoísta bem “vestido no caiaque”;
- Capacidade de aguentar grandes pressões de água e não achatarse;
- Atender as normas das modalidades específicas para o uso em competições esportivas oficiais;
- Beleza estética;
- Custo.

Com essa grande quantidade de objetivos que um caiaque pode ter, há a possibilidade de se criar dois grandes grupos: Caiaques para lazer e canoagem e caiaques para competição. Ainda nesses dois grupos podemos subdividi-los em diversos outros grupos, como observa-se na Figura 2. Como o caiaque em questão tem como objetivo o lazer, deixaremos a análise de caiaques de competição de fora.

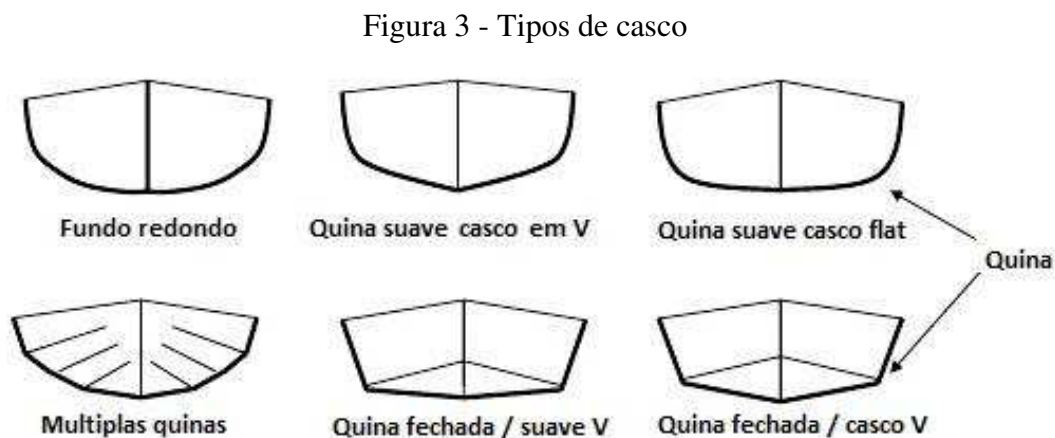
Figura 2 - Tipo de caiaques



Fonte: Autor (2018)

A prática é definida por muitas características, que são diretamente influenciadas pelo comprimento, boca, calado, deck, fundo, geometria, entre outros.

Uma das características que determina seu uso é o formato do fundo, que pode ser arredondado, em V, plano, ou uma combinação deles, como podemos observar na Figura 3.



Segundo Garcia (2003) cascos com um formato mais arredondado possuem uma baixa estabilidade em águas calmas e uma melhor estabilidade quando sob influência de onda, já os em V possuem uma estabilidade mais equilibrada entre as duas situações, além de se comportar melhor em velocidade; e os cascos de fundo plano tem uma ótima estabilidade em águas calmas e uma péssima estabilidade em ondas, sendo recomendado para águas abrigadas. Essas combinações de tipos de fundo são determinantes para prática da atividade esportiva ou de lazer.

Outra característica que influencia na performance do casco é a curvatura em relação à proa/popa do seu fundo, chamado de *rocker*. Quanto maior esse raio de curvatura, mais *rocker* ele é.

Figura 4 – Caiaque de corredeira



Fonte: Brudden (2018)

Quanto mais rocker, melhor manobrabilidade e desempenho em águas agitadas como rios e ondas. Esse tipo de caiaque, também conhecido como caiaque de águas brancas, é muito utilizado em corredeiras, onde há grande necessidade de fazer curvas fechadas e ter um bom comportamento em águas caudalosas.

Porém, quanto mais *rocker*, menor a linha d'água que o casco irá possuir, prejudicando seu desempenho em velocidade e *tracking* (capacidade de manter o curso em linha reta). Sendo assim, caiaques que tem que como objetivo navegar distâncias maiores, como caiaques de expedição ou oceânicos, possuem uma relação de comprimento e boca maior e um *rocker* menor, desempenhando melhor em velocidade e possuindo uma boa estabilidade direcional.

O local onde o praticante irá sentar também varia de acordo com a sua utilização, podendo ele ser aberto do tipo *sit on top* ou fechado do tipo *sit inside*.

Nos caiaques do tipo aberto, ou *sit on top*, como o da Figura 5, o praticante fica com o corpo completamente para fora de sua estrutura, sendo mais comum sua prática em locais de temperatura mais quente, como no Brasil, por não haver problema de o praticante se molhar ou sair do caiaque durante sua utilização, ou utilizado para pesca, facilitando a mobilidade do praticante em cima do mesmo. Normalmente possuem uma relação de comprimento e boca menor que os do tipo *sit inside*.

Figura 5 - Caiaque do tipo sit on top



Fonte: Clasf (2017)

Em locais onde a temperatura é mais baixa, ou no caso pequenas expedições, é muito comum a utilização dos caiaques do tipo turismo *sit inside*, como o da Figura 6. Esse tipo de caiaque exige um pouco mais de experiência do praticante, pois por possuir uma boca mais estreita em relação ao comprimento que o do tipo *sit on top*, torna a sua remada um pouco mais instável além de ser mais difícil de subir nele e esgotar a água embarcada em caso de adernamento.

Figura 6 - Caiaque do tipo sit inside



Fonte: Sahara Safaris (2018)

Um caiaque que também é usado para expedições e que vem cada vez mais sendo utilizado é o do tipo *sit on top* com flutuadores. Os flutuadores laterais geram um ganho de estabilidade que possibilita o praticante a ficar em pé durante a prática de pesca esportiva sem maiores esforços, ou como no caso do caiaque em análise, permite a utilização de vela.

No caso da utilização de estabilizadores para a prática de pesca, eles são menores e geralmente são posicionados a ré do casco, como é possível observar na Figura 7.

Figura 7 - Caiaque de pesca com estabilizadores



Fonte: Wavewalk (2013)

Já na utilização dos flutuadores para o emprego de vela eles deverão ser maiores, pois as solicitações de momento gerados pela vela são muito maiores, logo há a necessidade de instalação de flutuadores mais compridos e de maior volume, como por exemplo o caiaque Mirage Tandem Island da empresa Hobie.

Figura 8 - Mirage Tandem Island



Fonte: Hobie (2018)

Um caiaque com vela e flutuadores nada mais é do que um trimarã, e se comporta como tal. Esse tipo de caiaque vem sendo cada vez mais visto na costa brasileira e já possui um mercado bastante consolidado nos Estados Unidos.

Uma particularidade desse tipo caiaque é a utilização de *daggerboard*, ou bolina, uma espécie de quilha removível utilizada para aumentar o arrasto, diminuindo o batimento lateral e evitando assim, que o caiaque derive excessivamente para o bordo enquanto veleja, uma vez que caiaques possuem um calado muito baixo e normalmente não possuem quilha.

2.2 TIPOS DE PROPULSÃO

A propulsão de uma embarcação é qualquer forma de produção de energia que promova o seu deslocamento, e nos caiaques ela pode vir de três fontes: força humana, motor ou vento.

Quando pensamos em um caiaque, logo vem à mente a utilização de remos, porém apesar de eles serem a maneira mais comum de se propelir um caiaque, ela não é a única. Além dos remos, outra forma de propulsão é o uso de um conjunto de pedal e hélice chamado *driver*,

como é possível observar na Figura 9, o qual possibilita que o praticante possa usar seus braços para outra tarefa, como praticar pesca esportiva enquanto propele o caiaque pedalando.

Figura 9 - *Driver* de caiaque



Fonte: Milha Náutica (2017)

Outra fonte de propulsão é a adaptação de um motor de rabeta no casco. Normalmente se utiliza um motor elétrico para tal, pois é mais silencioso e atrapalha menos o praticante durante a pesca.

A navegação com o uso de vela no caiaque é algo que vem ganhando cada vez mais mercado e atrai tanto praticantes que gostam de velejar quanto praticantes que procuram um caiaque de expedição um pouco mais aventureiro. Há dois tipos de vela que são mais comumente usadas: o tipo asa de morcego (Figura 10) e o tradicional (Figura 8).

A vela do tipo asa de morcego possui uma área vélica pequena, o suficiente para gerar um auxílio na navegação, não recomendada para se navegar grandes distâncias.

Figura 10 - Vela tipo asa de morcego



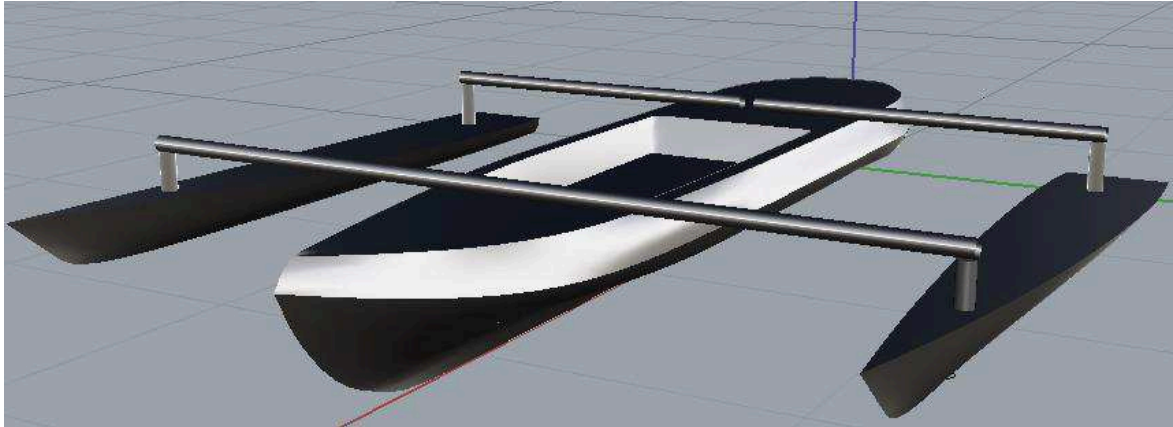
Fonte: Kayak Sports (2018)

O tipo tradicional de vela possui uma área vélica maior que a do tipo asa de morcego, e normalmente requer a utilização de estabilizadores laterais, pois diferentemente de um veleiro, caiaques não possuem quilha lastrada, tornando sua navegação em ventos fortes, muito perigosa, com grande chance de emborcamento. Um exemplo de caiaque com vela tradicional e flutuadores é o Mirage Tandem Island, mostrado na Figura 8.

2.3 CASCO EM ANÁLISE

O projeto do casco central e flutuadores foi desenvolvido e fornecido pelo Engenheiro Eduardo Micael Bastezini, e para isso, o Eng. Eduardo utilizou o Orca3D, um *plug-in* do programa Rhinoceros®, e o barco pode ser observado em perspectiva na Figura 11.

Figura 11 - Vista em perspectiva do caiaque preliminar



Fonte: Autor (2018)

O casco central e os flutuadores da embarcação possuem dimensões descritas pelas Tabela 1 e Tabela 2, apresentadas a seguir:

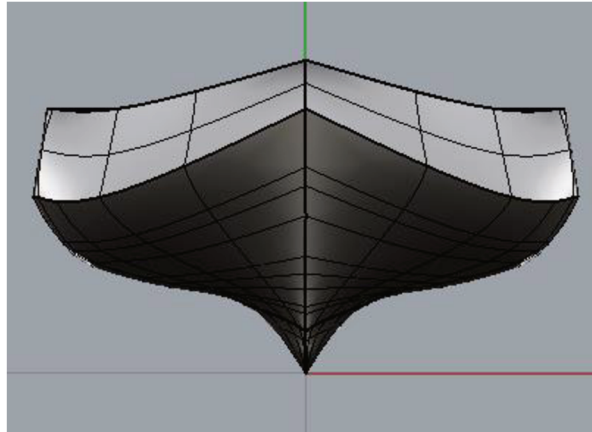
Tabela 1 - Dimensões principais do caiaque trimarã

	Casco central	Flutuador
Comprimento [m]	3,86	2,82
Boca [m]	0,84	0,40
Pontal [m]	0,48	0,21
Calado [m]	0,24	0,05
Deslocamento [kg]	256,61	11,7

Fonte: Autor (2018)

Como é possível observar na Figura 12, o casco central da embarcação possui um V profundo, para que como descrito na seção 2.1, possua um maior equilíbrio entre a estabilidade em águas calmas e sob onda, além de uma boa estabilidade direcional em velocidade e uma maior resistência hidrodinâmica às forças laterais.

Figura 12 - Vista frontal do casco central



Fonte: Autor (2018)

Tais características podem ser explicadas ao observarmos os coeficientes de forma do casco mostrados na Tabela 2, também gerado pelo Rhinoceros®.

Tabela 2 - Coeficientes de forma do caiaque trimarã

	Casco central	Flutuador
C_b	0,359	0,369
C_p	0,783	0,681
C_{wp}	0,840	0,670

Fonte: Autor (2018)

Na popa da embarcação há um espaço destinado ao posicionamento de uma caixa térmica removível, onde também pode ser utilizado para se carregar mantimentos ou equipamentos de pesca.

O comprimento total da haste que liga os flutuadores é de 2,70 m e o encaixe da base do mastro se encontra a 1,11 m da proa.

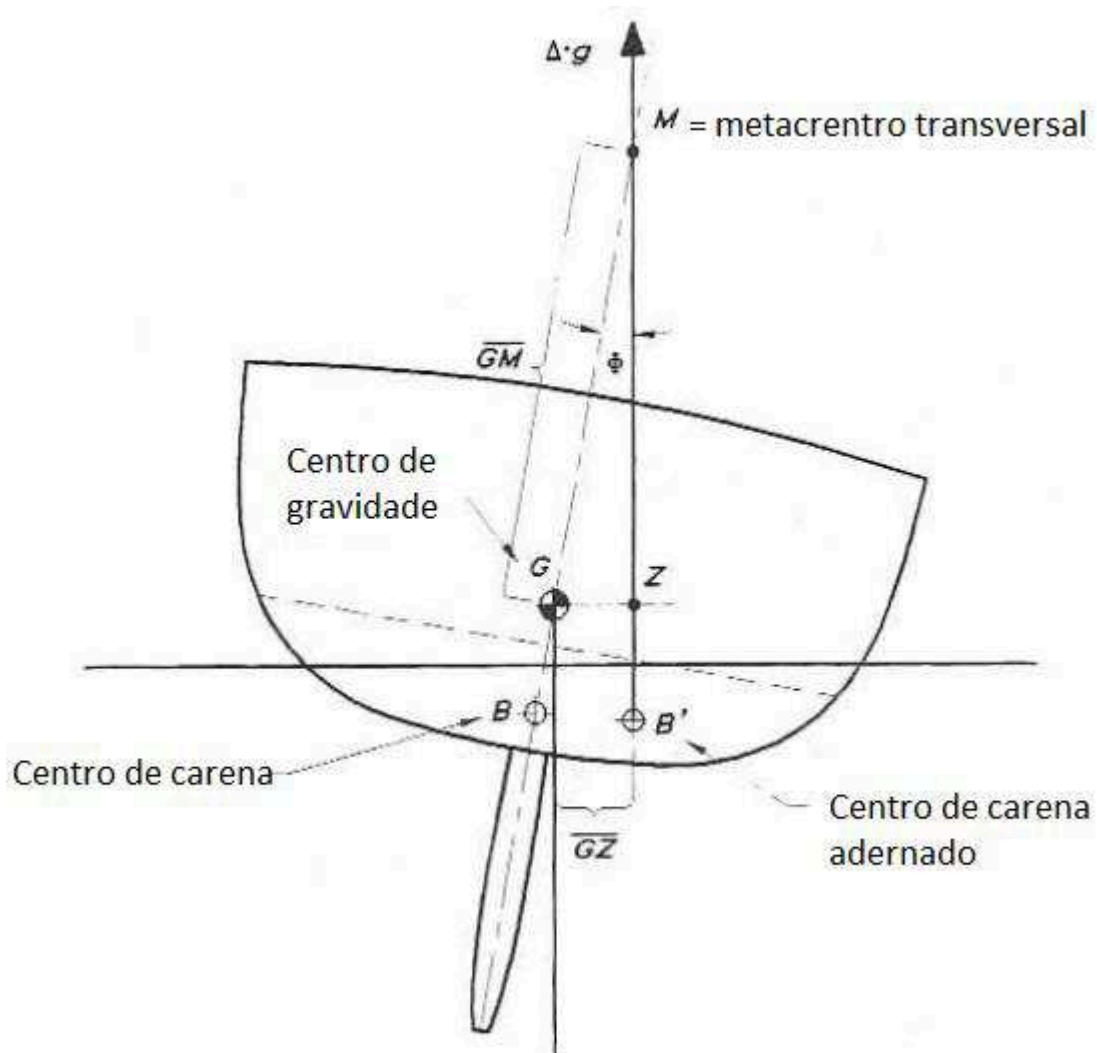
2.4 ESTABILIDADE DO CASCO

A interação de um corpo flutuante com o meio fluido em que se encontra, determina sua condição de flutuabilidade, e a pressão gerada por essa interação por ser avaliada pela soma de todas as forças que atuam nas faces desse objeto (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2004), determinando também sua condição de estabilidade.

Com a alteração da distribuição dos pesos atuantes no corpo, e com seu volume submerso sendo alterado com a variação do calado, a condição de estabilidade também é alterada, tornando esse processo iterativo e fazendo com que todas as fontes de momento sejam analisadas.

Para a avaliação das condições de equilíbrio é preciso identificar alguns pontos importantes para o cálculo de momento, tais como centro de gravidade (C_G), centro de carena (B) e metacentro (M), além de suas distâncias, como o braço de endireitamento (G_Z), raio metacêntrico (B_M), e altura metacêntrica (G_M), representados no monocasco da Figura 13, considerando-se pequenos ângulos de banda.

Figura 13 - Posição relativa de GM, BM e GZ



2.4.1 Metacentro

O metacentro instantâneo representado pela letra M na Figura 13 tem seu valor variável de acordo com o ângulo de adernamento da embarcação, logo podemos correlacioná-lo com o ângulo ϕ e com os valores de GZ e GM. Sendo assim, obtemos:

$$\text{sen } \phi = \frac{GZ}{GM} \quad (1)$$

$$GZ = \text{sen } \phi * GM \quad (2)$$

Ou ainda se considerarmos W igual ao peso da embarcação atuante no centro de gravidade G:

$$W * GZ = W * GM * \text{sen } \phi \quad (3)$$

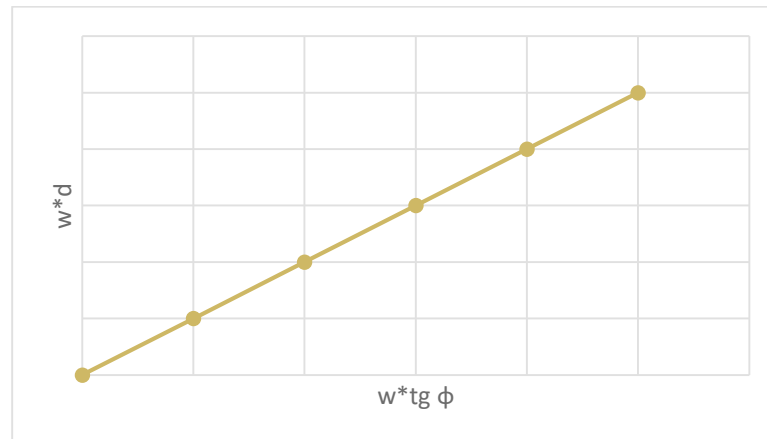
Pode-se ainda correlacionar a ação de uma força peso agindo em um dos bordos da embarcação, que chamaremos de w , posicionada a uma distância perpendicular da linha de GM, que será chamada de d . Essa força w pode ser o peso do praticante, por exemplo. Sendo assim o momento emborcador é dado por:

$$w * d * \cos \phi \quad (4)$$

É possível concluir que

$$GM = \frac{w * d}{W * \text{tg } \phi} \quad (5)$$

Se construída uma curva de $x * d$ versus $W * \text{tg } \phi$ e então plotar o gráfico do ensaio de inclinação, observamos uma solução linear.

Figura 14 - Gráfico de $w*d$ por $W*tg\phi$ 

Fonte: Autor (2018)

Onde:

$$y = \alpha * x \quad (6)$$

$$y = w * d \quad (7)$$

$$x = W * tg\phi \quad (8)$$

$$\alpha = GM \quad (9)$$

Observa-se também que com a inclinação:

1. O centro de carena B se desloca para B'.
2. $\nabla BB' = \gamma g_1 g_2$

Além disso, quando ϕ tende a zero, BB' é perpendicular à linha d'água, sendo assim:

$$tg \phi = \frac{BB'}{BM} \quad (10)$$

Logo,

$$BM = \frac{\gamma g_1 g_2}{\nabla tg \phi} \quad (11)$$

Ocorre que se y for a meia boca da embarcação, a área de cada cunha γ será:

$$A = \frac{1}{2} * y * y * tg\phi \quad (12)$$

Cujo baricentro está a uma distância $\frac{2}{3}y$.

Então:

$$\gamma g_1 g_2 = \int \frac{y}{2} y * tg \phi \left(2 * \frac{2}{3} y \right) dx \quad (13)$$

Logo,

$$\frac{\gamma g_1 g_2}{tg \phi} = \frac{2}{3} \int_0^L y^3 dx \quad (14)$$

Porém sabe-se que $\frac{2}{3} \int_0^L y^3 dx$ é o momento de inércia da área de linha d'água em relação ao eixo longitudinal x do corpo, ou seja:

$$I_t = \frac{2}{3} \int_0^L y^3 dx = \frac{\gamma g_1 g_2}{tg \phi} \quad (15)$$

E quando ϕ tende a zero:

$$BM = \frac{I_t}{\nabla} \quad (16)$$

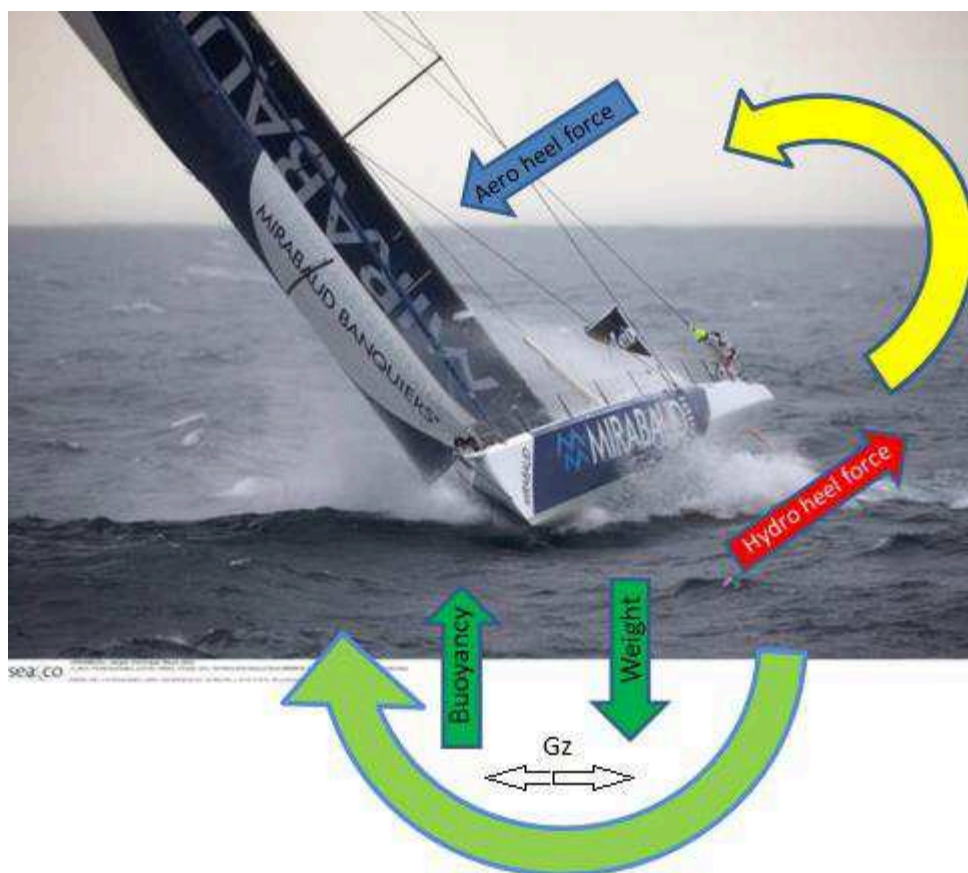
Finalmente pode-se concluir que:

$$GM = KM - KG = KB + BM - KG \quad (17)$$

2.4.2 Braço de endireitamento

Em condições normais de navegação em qualquer ponto diferente de vento de popa, o casco e vela irão desenvolver forças laterais na embarcação sob e sobre a água, cada uma em uma direção, provocando momento (A. H. DAY, 2014) e deslocando os pontos de empuxo e atuante na embarcação, assim gerando o braço de endireitamento.

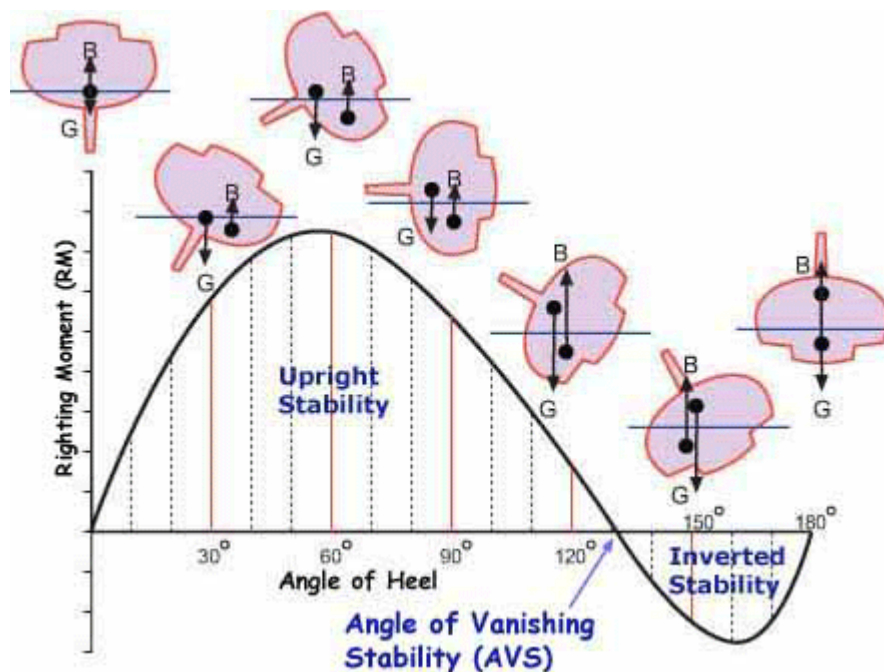
Figura 15 - Geração do braço de endireitamento



Fonte: A. H. Day (2014, p.8)

O braço de endireitamento dá origem ao momento de restauração da embarcação, funcionando como um momento estabilizador até certo ângulo de banda, passando a agir contra a estabilidade da embarcação a partir de determinado ponto, como ilustra a figura a seguir.

Figura 16 - Comportamento da curva GZ



Fonte: Andrew Simpson (2017)

A força de gerada pelo *roll* pode ser decomposta em componentes horizontais e verticais, sendo as componentes laterais a força do vento exercida na vela e a força hidrodinâmica exercida pela quilha como é observado na Figura 15, e as componentes verticais sendo a força peso e o empuxo, sendo essa componente responsável por empurrar o barco para dentro da água. Isso não aumenta a imersão do casco na água, no entanto, como a força hidrodinâmica normal ao casco também é deslocada, isso gera um componente ascendente igual e oposta. (A. H. DAY, 2014).

Como a distância (paralela ao mastro) entre o ponto de ação das forças aerodinâmicas na vela e hidrodinâmica no casco é chamada de braço de adernamento h , logo, a embarcação atinge o equilíbrio quando o momento de emborcamento e momento restaurador são iguais:

$$F_H * h = W * GZ(\phi) \quad (18)$$

- DESLOCAMENTO E EMPUXO

O empuxo de um corpo submerso em um fluido nada mais é do que a resultante das forças do campo de pressão atuante no mesmo. Está diretamente ligado ao volume de fluido

deslocado (deslocamento), sendo o empuxo igual ao peso desse fluido deslocado (BARRASS, 2006).

$$E = \rho \cdot g \cdot \nabla \quad (19)$$

Onde

ρ é a densidade da água [kg/m^3]

g é a aceleração da gravidade [m/s^2]

∇ representa o deslocamento do corpo submerso [m^3]

O empuxo atua no ponto B, destacado na Figura 2.

2.5 CENTRO DE GRAVIDADE

O centro de gravidade, ou centro de massa, também abreviado por CG, nada mais é do que o ponto onde se pode representar a força concentrada do peso de um corpo, de tal modo que o momento resultante das forças atuantes no corpo é nulo, independentemente da posição do corpo no campo gravitacional (BARRASS, 2006).

$$CG_x = \frac{\sum M(y)}{\sum F} \quad (20)$$

$$CG_y = \frac{\sum M(x)}{\sum F} \quad (21)$$

A posição do centro de gravidade é representada pela letra G, como pode ser observado na Figura 13. Com a identificação das coordenadas dos CG, pode-se simplificar o cálculo dos momentos atuantes na embarcação.

2.6 ESTABILIDADE DE TRIMARÃS

A navegabilidade de uma embarcação está extremamente ligada à sua estabilidade, sendo ela a habilidade promover o conforto e segurança da tripulação.

Segundo Shuttleworth (2003), nos últimos 30 anos tem surgido uma gama de diversos tipos de multicascos com diferentes qualidades de navegação e navegabilidade. Nesse meio tempo tem ocorrido uma melhora no entendimento necessário para se fazer um multicasco tanto veloz quanto seguro, e nessa evolução ao longo do tempo os trimarãs passaram por 3 fases:

1. Trimarã de primeira geração: Relativamente pesado. Alta resistência do ar. Ineficiência das geometrias hidrodinâmicas do casco e quilha, muitas vezes com uma quilha fixa ou nenhuma quilha. Pequena área de vela. *Chine* com alta superfície molhada. Controle de *pitching* ruim. Flutuadores com deslocamento médio (cerca de 110% do deslocamento do barco). Geralmente ambos flutuadores na água ao mesmo tempo. Boca estreita ($L / B = 2$). Baixa fadiga a longo prazo.

2. Trimarã de segunda geração: Mais leve. Planos de vela maiores. Menos acomodações. Baixa fluabilidade dos flutuadores (75 a 90%). Boca mais larga ($L / B = 1,3$). Resistência aerodinâmica consideravelmente reduzida. Melhoria no design estrutural.

3. Trimarã de terceira geração: Leve (devido ao uso de materiais compósitos). Grande área vélica. Boca larga ($L / B < 1,5$ a tão baixo quanto 1,0 em barcos menores). Alto deslocamento dos flutuadores (até 200% do deslocamento total). *Pitching* muito bem controlado pelo uso de diferentes geometrias de casco no casco principal e flutuadores. Vela bem controlada em todos os pontos. Baixo arrasto hidrodinâmico. Enorme melhoria nas estruturas devido ao uso de desenho auxiliado por computador, e uma melhor compreensão dos materiais compósitos.

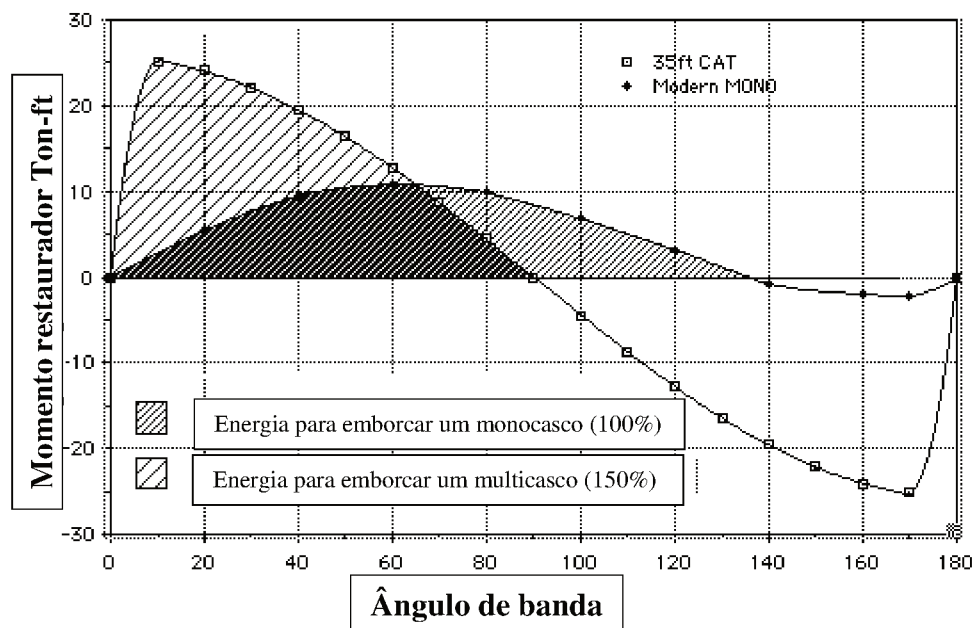
Com exceção do trimarã de segunda geração, multicascos são virtualmente imunes ao adernamento, o que significa que eles assentam na água e seguem a superfície do mar enquanto velejam, promovendo conforto à tripulação. Quando navegando em apenas uma *ama* trimarãs e catamarãs apresentam comportamentos diferentes.

Catamarãs possuem um momento de inércia em roll muito grande, pois o peso do barco encontra-se principalmente nas linhas de centro do casco, e o centro de carena também é

concentrado na extremidade da linha centro do casco, conferindo-o um enorme *damping* em *roll*. Em trimarãs o peso está concentrado próximo ao centro de gravidade (C_G), reduzindo o momento de inércia, e as *amas* demoram mais para gerar flutuação quando o barco aderna. Esse efeito em trimarãs com *amas* de baixa fluviabilidade pode gerar o emborcamento da embarcação.

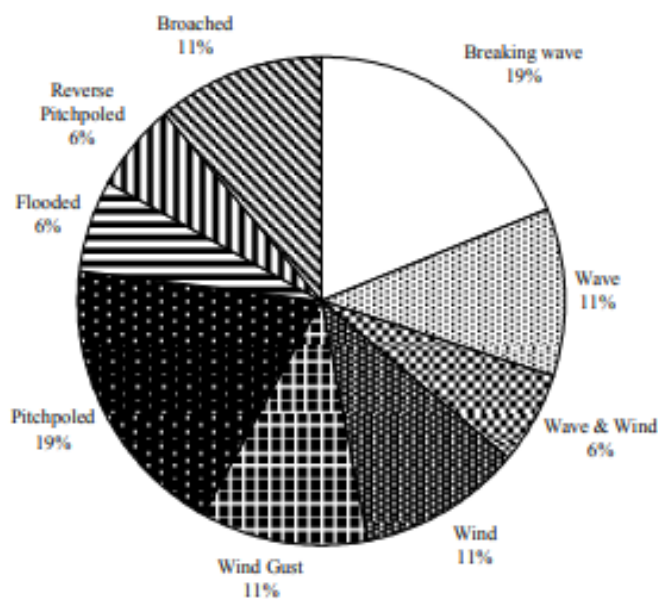
Multicascos possuem uma estabilidade inicial, medida pela curva GZ, muito alta quando comparada com monocascos, porém a curva possui um pico mais baixo e atinge o valor de zero em torno de 90 graus em trimarãs convencionais (DEAKIN, 2003), como se pode observar na Figura 17.

Figura 17 - Curvas de estabilidade estática e energia requerida para emborcar um multicasco moderno e um monocasco moderno



Ocorre que uma vez emborcada, “dada a parte negativa do diagrama, é muito difícil endireitar na água um multicasco virado” (MOTA, 2017, p. 1.82), principalmente quando comparado com um monocasco, como é observado na Figura 17, fato que fez com que a Agência de Segurança Marítima do Reino Unido encomendasse um estudo sobre a estabilidade de multicascos após a ocorrência de alguns acidentes com fatalidades, e nele é possível encontrar uma compilação de acidentes envolvendo trimarãs, como podemos observar na Figura 18.

Figura 18 - Tipos de casualidades ocorridas em trimarãs



Fonte: Barry Deakin (2003, p. 15)

Nesse estudo foram incluídos 67 trimarãs, e pode-se observar que 47% das casualidades foram ocasionadas diretamente pelo vento, sendo esse um fator importantíssimo de se analisar no estudo de estabilidade.

Tradicionalmente a estabilidade de multicascos é determinada calculando-se o momento de restauração no momento que a embarcação se encontra com apenas um casco na água. No caso de trimarãs ele é considerado quando o casco central emerge (DEAKIN, 2003).

Sendo assim, uma forma inicial de se estimar o valor aproximado do momento máximo de restauração é considerando-o igual à:

$$\text{Momento de restauração máximo} = \text{Deslocamento} \times \frac{1}{2} \times B \quad (22)$$

Sendo B a distância entre o centro de gravidade do casco central e do casco lateral.

Porém esse cálculo entrega apenas o ponto de valor máximo da curva de estabilidade, não fornecendo nenhuma informação sobre o comportamento da embarcação com a variação do ângulo de banda, e não considera influência do trim, centro de gravidade e geometria do casco; sendo necessário um estudo mais minucioso com o auxílio de ferramentas computacionais para resultados mais completos e precisos.

Por esse motivo Barry Deakin, engenheiro sênior da Wolfson Unit for Marine Technology & Industrial Aerodynamics na Universidade de Southampton, fez diversos testes e

ensaios com embarcações multicascos em 2003 para determinar a influência de fatores tais como deslocamento, posição vertical do centro de gravidade, boca e volume.

O trimarã testado por Deakin (2003) possui 8.25m de comprimento e flutuadores com baixo volume em relação aos trimarãs tradicionais, algo similar à embarcação do presente trabalho. Apesar do comprimento ser maior da embarcação do estudo, no artigo ele garante que a tendência de resultados serve para todos os comprimentos de embarcações.

Segundo a B. Deakin (2003) o aumento do deslocamento em trimarãs não necessariamente implica em um momento de restauração maior, se comportando de uma forma mais complexa do que um catamarã.

A posição vertical do centro de gravidade (VCG) de multicascos é consideravelmente difícil de ser medida através de testes de inclinação (DEAKIN, 2003), pois o GM normalmente possui um valor extremamente alto, e como o teste de inclinação consiste no cálculo da diferença entre o GM medido e o KM calculado, o resultado de KG possui um percentual de erro muito grande, portanto, muitas vezes o efeito de VCG é desconsiderado, principalmente quando o ângulo é pequeno, possuindo pouco efeito na estabilidade inicial da embarcação. Entretanto as análises mostram que o valor máximo de GZ é bastante afetado em grandes ângulos, com efeito similar a monocascos.

O aumento do volume dos estabilizadores não acarreta em uma modificação da faixa de estabilidade de um trimarã, entretanto, aumenta enormemente o valor do GZ máximo.

2.7 ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION

A ISO - Organização Internacional de Normalização (em tradução literal) é uma organização mundial de órgãos nacionais de normalização (órgãos membros da ISO). O trabalho de preparação de Normas Internacionais é normalmente realizado por meio de comitês técnicos da ISO. Cada órgão membro interessado em um assunto para qual um comitê técnico foi estabelecido tem o direito de ser representado nesse comitê. Organizações internacionais, governamentais e não-governamentais, em articulação com a ISO, também participam do trabalho. Trabalho esse, de extrema importância, pois regulariza a embarcação em um padrão de segurança e qualidade que atenda as expectativas de quem for consumir o bem produzido.

As normas técnicas que regem o projeto de embarcações pequenas no que tange a estabilidade é a ISO 12217 - *Small craft -- Stability and buoyancy assessment and*

categorization (Embarcações pequenas - Estabilidade e avaliação de flutuabilidade e categorização, em tradução literal). Essa resolução da ISO é dividida em três partes:

- Parte 1: Barcos sem vela com casco maior ou igual a 6 m
- Parte 2: Barco a vela com casco maior ou igual a 6 m
- Parte 3: Barcos com casco menor que 6 m

A ISO 12217-1 especifica métodos de avaliação de estabilidade e flutuabilidade de embarcações intactas, além das características de flutuação de embarcações vulneráveis a inundação. A utilização da ISO 12217-1 permite que a embarcação seja categorizada apropriadamente ao seu projeto e carga total máxima

A embarcação em análise não se encaixa na Parte 1 da norma, pois ela não abrange embarcações com vela, diferentemente da embarcação em análise. Já na Parte 2, como é possível observar na Figura 19, se aplica a monocascos maiores ou iguais a 6 m, ou para multicascos habitáveis com menos de 6 m, porém o casco em análise possui pouco menos de 4 m e não é habitável, sendo assim, também não se aplica.

Figura 19 - ISO 12217-2. Parte 2: Barco a vela com casco maior ou igual a 6 m

This part of ISO 12217 is principally applicable to boats propelled primarily by sail (even if fitted with an auxiliary engine) of 6 m up to and including 24 m hull length. However, it can also be applied to boats less than 6 m if they are habitable multihulls or may be applied if they do not attain the desired design category specified in ISO 12217-3 and they are decked and have quick-draining recesses which comply with ISO 11812.

Fonte: ISO 12217-2, 2013

A Parte 3 da norma exclui em um de seus parágrafos canoas, caiaques, e multicascos habitáveis como é possível ver na Figura 20.

Figura 20 - ISO 12217-3. Parte 3: Barcos com casco menor que 6 m

This part of ISO 12217 excludes:

- inflatable and rigid-inflatable boats covered by ISO 6185, except for references made in ISO 6185 to specific clauses of ISO 12217;
- personal watercraft covered by ISO 13590 and other similar powered craft;
- aquatic toys;
- canoes and kayaks;
- gondolas and pedalos;
- sailing surfboards;
- surfboards, including powered surfboards;
- hydrofoils, foil stabilized boats and hovercraft when not operating in the displacement mode; and
- submersibles.

Fonte: ISO 12217-3, 2013

Ocorre que apesar da embarcação em análise levar “caiaque” no nome, o seu comportamento é totalmente diferente de um caiaque e extremamente próximo de um trimarã. Por esse motivo a análise será feita com base na Parte 3 da ISO 12217.

2.7.1 ISO 12217 Parte 3

O primeiro passo a ser verificado é a elegibilidade da embarcação à norma. Sendo assim, o artigo 5 da ISO 12217 Parte 3 é que define se a embarcação se encaixa na categoria “veleiro”, e para tal ela deve possuir um valor mínimo de área vélica em relação ao deslocamento dado pela tabela a seguir:

Tabela 3 - Área nominal mínima para veleiros

$m_{LDC}[kg]$	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1500
$A_S[m^2]$ deve ser \geq	2,4	3,1	3,8	4,4	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	7,9	9,2

Fonte: ISO 12217 (2013)

Sendo m_{LDC} = Deslocamento e A_S = Área vélica.

Como a embarcação possui cerca de 275kg de deslocamento e 6,2 m² de área vélica, se enquadra na classificação de embarcação a vela pela ISSO 12217.

Para uma embarcação definida como veleiro, no artigo 7 são detalhados os testes estáticos de estabilidade a serem aplicados. A parte de interesse para a análise é a 7.6, que avalia

a resistência ao adernamento ocasionado pelo vento, que tem como objetivo segundo a ISO 12217 (2013) de “demonstrar que quando o veleiro está com banda devido a uma velocidade constante de vento, não embarca água no mesmo”.

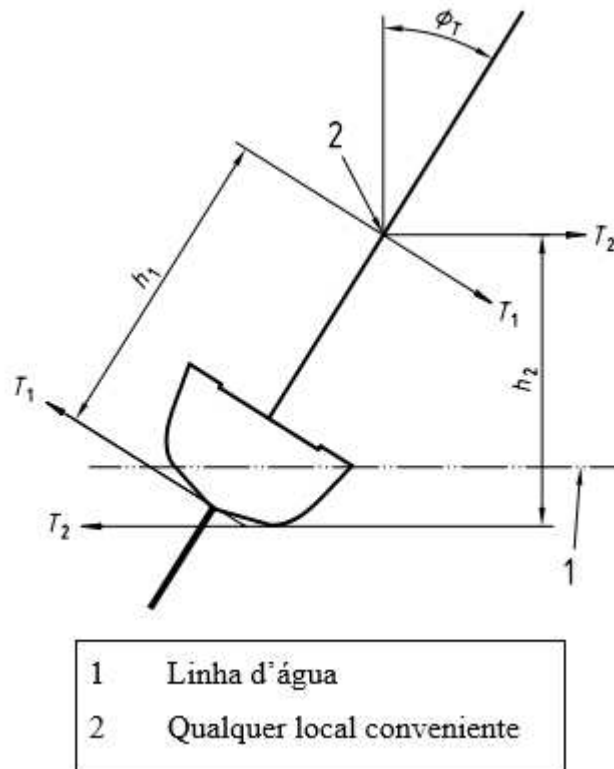
A condições iniciais para a realização do teste são as seguintes:

- Embarcação na condição leve de carregamento.
- Uma pessoa ou uma massa de 75kg na linha central do *cockpit* representando um membro da tripulação ao alcance do leme ou similar.
- Velas guardadas e prontas para içamento.
- Bolina (s) ou quilha (s) levantada a menos que elas possam ser fixadas na posição mais baixa.

Dadas tais condições, o teste é realizado aplicando-se um par de forças adernantes, a exemplo da Figura 21, tomando cuidado para que as linhas se mantenham paralelas, até que a primeira das situações a seguir ocorra primeiro:

- Início do embarque de água no barco; ou
- A carga T, em quilogramas, e o correspondente ângulo de banda resultem na velocidade de vento requerido; ou
- O barco incline 45°; ou
- O deck de um casco de um multicasco submerja.

Figura 21 - Teste de resistência ao adernamento provocado pelo vento



Fonte: ISO 12217 (2013)

Após encontrar o valor de T , o valor da velocidade de vento constante necessária para gerar o ângulo de banda verificado no teste é calculado pela fórmula:

$$\text{Velocidade do vento calculada [m/s]} = \sqrt{\frac{13hT + 390B}{A'_S(h_{CE} + h_{LP})(\cos\phi_T)^{1,3}}} \quad (23)$$

Sendo:

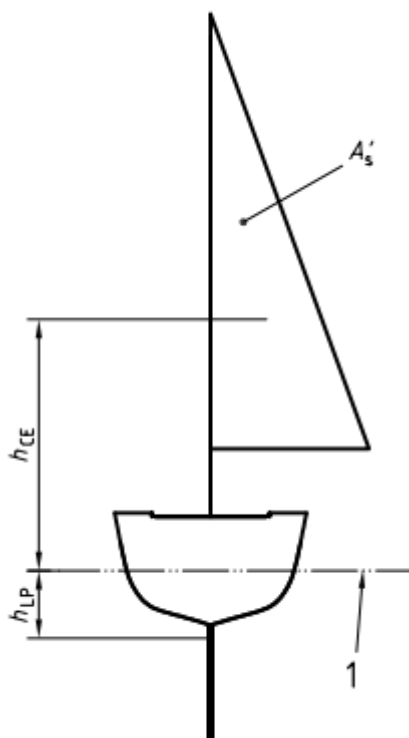
A'_S a área projetada da vela, em metros quadrados;

B a boca da embarcação;

h_{CE} a altura do centro geométrico de A'_S acima da linha d'água, em metros;

h_{LP} a altura da linha d'água acima do centro geométrico da área do perfil lateral da porção submersa do casco e quilha/bolina em metros.

Note que h_{CE} e h_{LP} podem ser melhor visualizadas na Figura 22.

Figura 22 - Posição de h_{CE} e h_{LP} 

Fonte: ISO 12217 (2013)

O barco receberá designação de Categoria D se o vento calculado for 6 m/s ou mais, e Categoria C se for 11 m/s ou mais.

As recomendações da ISO 12217 de utilização da embarcação dada sua categoria foram sumarizadas na tabela a seguir:

Tabela 4 - Recomendações ISO 12217 dada a categoria da embarcação

Categoria	C	D
Altura de ondas [m]	2,0	0,5
Escala de Beaufort	6 ou menos	4 ou menos
Rajada de vento [m/s]	17	13
Navegação	Águas interiores expostas, estuários e águas costeiras em condições moderadas.	águas interiores abrigadas e águas costeiras com bom tempo.

Fonte: ISO 12217 (2013)

2.8 PESO CORPORAL E SUA DISTRIBUIÇÃO

A análise realizada através de revisão de estudos antropométricos da distribuição de peso e comprimentos dos membros do corpo humano é crucial para se avaliar como as diferentes posições do usuário afetará a distribuição de pesos e centros no caiaque.

Segundo Enoka (2000), num adulto em posição anatômica, ereta e estática, o centro de gravidade (CG) encontra-se ligeiramente anterior à segunda vértebra sacral, próximo aos quadris, e aproximadamente a 55% da sua estatura. Dessa forma, será utilizado esse valor para quando o usuário do caiaque estiver em pé.

Os centros de gravidade nas demais posições são calculados utilizando o princípio de um sistema de partículas, pois segundo Halliday (2009), “o centro de massa de um sistema de partículas é o ponto que se move como se toda a massa do sistema estivesse concentrada nesse ponto” e como descrito no capítulo 9 de seu livro, é obtida da seguinte forma:

$$X_{CG} = \frac{1}{m_{total}} \sum_{i=1}^n x_i * m_i \quad (24)$$

$$Y_{CG} = \frac{1}{m_{total}} \sum_{i=1}^n y_i * m_i \quad (25)$$

Cada centro de gravidade dos membros representa uma partícula, e o centro de massa no sistema, que segundo Halliday (2009) coincide com o centro de gravidade quando não há alteração no campo gravitacional, representa o comportamento concentrado do sistema como um todo.

A posição do usuário vem de desenhos feitos pelo autor a partir da observação da posição do corpo humano quando esse se encontra em situações de uso do caiaque, como pode ser observado nas Figura 23, Figura 24 e Figura 25.

Figura 23 - Posição do praticante sentado



Fonte: Autor (2018)

Figura 24 - Posição do praticante pescando em pé



Fonte: Phatfish kayak (2018)

Figura 25 - Posição do praticante pescando sentado



Fonte: Fish TV (2018)

A partir da Figura 23 é possível obter as posições do praticante nas situações analisadas, para então, calcular o seu centro de gravidade.

Para a análise de distribuição de peso do corpo humano foram analisados dois artigos sobre antropometria (Leva, 1996 e Plagenhoef, 1983). O artigo de Plagenhoef é um tanto quanto confuso em relação as porcentagens de peso dos membros do corpo humano em relação ao peso total, com sua somatória resultando em 108% do peso da pessoa em análise e não justifica de uma forma clara, além de sua análise ter sido feita em cadáveres sem uma pré-seleção de biótipo. Por outro lado de Leva (1996) é muito mais claro em sua definição da distribuição de peso e sua análise foi realizada estudando um conjunto de 61 pesquisas de antropometria de jovens com idade de 21 a 36 anos, o que se encaixa com o público alvo dos usuários do caiaque em questão.

Através da tabela de distribuição de peso do corpo humano feita por de Leva (1996), como observamos na Tabela1, serão quantificados os pesos dos membros do corpo humano utilizados no cálculo do centro de gravidade do praticante.

Tabela 5 - Porcentagem do peso corporal

Membro	Porcentagem do peso [%]
Cabeça e pescoço	6.81
Tronco	43.02
Sup. Braço	2.63
Antebraço	1.5
Mão	0.585
Coxa	17.47
Canela	4.57
Pé	1.33

Fonte: de Leva (1996, p. 1224).

A posição do centro de gravidade será identificada também a partir dos estudos de de Leva (1996), seguindo a Tabela 6, referente a distância do centro de gravidade do seu respectivo proximal.

Tabela 6 - Distância do centro de gravidade do proximal

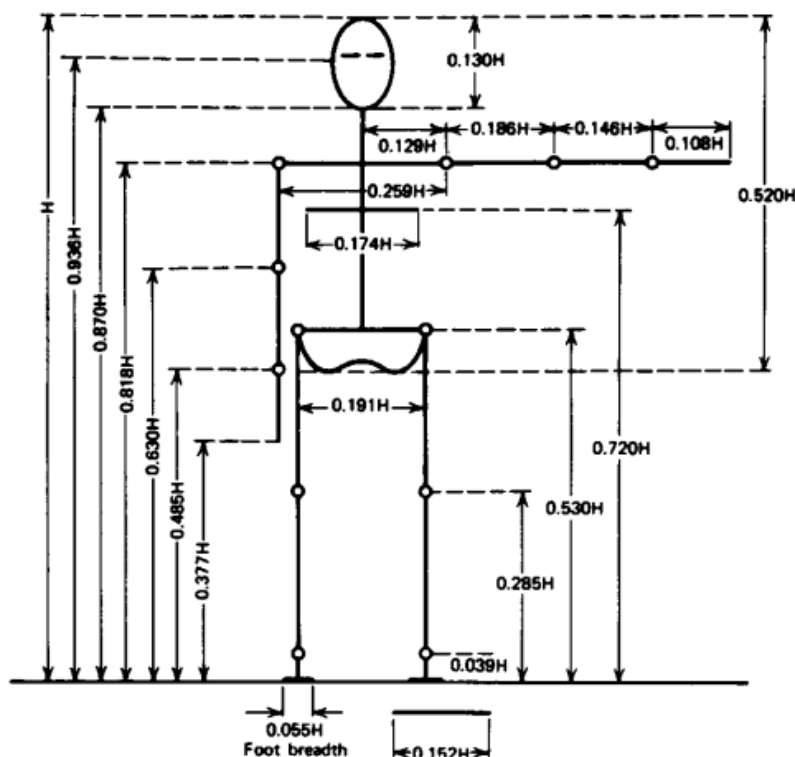
Membro	Porcentagem da distância do proximal [%]	Proximal
Cabeça e pescoço	49.22	Topo da cabeça
Tronco	40.46	Meio dos ombros
Sup. Braço	57.63	Ombros
Antebraço	45.67	Cotovelo

Mão	76.87	Pulso
Coxa	38.54	Quadril
Canela	43.74	Joelho
Pé	42.15	Calcanhar

Fonte: de Leva (1996, p. 1226)

Para a relação de comprimentos dos membros em relação à altura será utilizado estudo de Contini e Drillis (1986), como observamos na Figura 26, para a determinação das distâncias dos centros de gravidade.

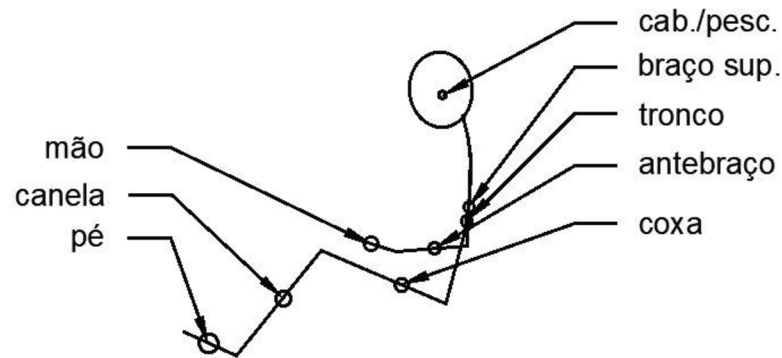
Figura 26 - Antropometria



Fonte: Contini e Drillis (1986, p. 55).

Com o auxílio do AutoCAD® e dos dados publicados por de Leva (1996), é possível localizar o centro de gravidade de cada parte do corpo humano, como podemos observar na Figura 27, e assim identificar o centro de gravidade do praticante quando esse se encontra sentado e em pé.

Figura 27 - Centro de gravidade do praticante sentado



Fonte: Autor (2018)

2.9 MOMENTO GERADO PELA VELA

Segundo Day (2015), a identificação do ponto de atuação da força do vento exercida na vela pode ser calculada de várias formas, sendo a mais comum a suposição de sua posição estar no centro geométrico da vela. A altura resultante é ligeiramente mais baixa que a real, mas sua posição longitudinal é bastante precisa.

A força utilizada para o cálculo de momento é a força resultante do vento perpendicular à embarcação, como é possível identificar na Figura 15. Sendo a análise feita na pior condição possível, a vela será considerada uma placa plana, considerando que o escoamento seja permanente, incompressível e uniforme. A equação (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2004) que rege esse fenômeno é a seguinte:

$$F_H = \rho_{ar} * \frac{V^2}{2} * A'_S \quad (26)$$

Sendo:

F_H = Força do vento [N]

ρ_{ar} = Densidade do ar [kg/m³]

V = Velocidade do vento [m/s]

A'_S = Área projetada da vela [m²]

A vela escolhida foi o Kit de Vela HobieMirage, utilizado no caiaque Mirage Adventure Island, da HobieCat. A escolha desse caiaque se deve pela sua semelhança com o caiaque em análise, pela praticidade de fornecimento em uma possível produção em série da embarcação.

Segundo o fabricante, o caiaque Mirage Adventure Island possui 5,05 m de comprimento e 1,12 m de boca. Já a vela possui 6,04 m² de área e o mastro 5,03 m de comprimento. A geometria da vela foi obtida através de uma foto disponível no site da HobieCat, observada na Figura 28.

Figura 28 - Vela



Fonte: HobieCat (2016)

A partir da obtenção da posição do centroide da vela através da função MASSPROP do AutoCAD, serão verificados os esforços gerados pelo vento na vela.

2.10 VELOCIDADE MÁXIMA DO VENTO – JOHN SHUTTLEWORTH

Segundo Shuttleworth (2003), para o cálculo de estabilidade estática em águas calmas, a máxima velocidade de vento que um trimarã pode estar sujeito pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$Velocidade\ do\ vento\ [milhas\ por\ hora] = 9,48 * \sqrt{\frac{(0,5 * B_1 * d)}{(A_{sp} * h)}} \quad (27)$$

Sendo que:

B_1 = Distância entre as linhas de centro dos flutuadores [pés]

d = Deslocamento [libras]

h = Altura do centro de atuação da força do vento [pés]

A_{sp} = Área vélica [pé quadrado]

Essa fórmula permite que o projetista tenha uma quantificação de estabilidade como um indicativo da força na vela gerada pelo vento, ou seja, a capacidade do barco de resistir ao emborcamento pela ação do vento.

2.11 MOMENTO GERADO DURANTE A PESCA

A prática da pesca esportiva é um momento crítico de utilização do barco de pequeno porte, uma vez que a força impressa pelo peixe multiplicada pelo comprimento da vara gera momento suficiente para causar um grande impacto na estabilidade da embarcação.

A situação se agrava ainda mais caso o praticante esteja em pé no caiaque, a exemplo da Figura 24, pois no caso do caiaque o peso do praticante representa uma enorme porcentagem do peso total, e o centro de gravidade conseqüentemente se eleva bastante, criando instabilidade na embarcação.

A força gerada pelo peixe durante a prática pode ser considerada no pior dos casos igual ao *drag* da carretilha, que é a força necessária para desarmá-la. Uma carretilha líder do mercado como a REVO® Ike Low Profile, da marca Abu Garcia®, possui um *drag* de 10,8 kg.

Figura 29 - Carretilha Abu Garcia® REVO® Ike Low Profile



Fonte: Abu Garcia (2018)

Outras variáveis influenciam no momento emborcador gerado pela força exercida na prática da pesca, como:

- Comprimento da vara
- Inclinação da vara
- Altura da empunhadura

Após entrevistas com praticantes da modalidade constatou-se que o comprimento de vara médio para a pesca nos locais de navegação que a embarcação analisada irá navegar é de aproximadamente 1,90m.

A posição de pesca pode ser avaliada através de imagens, a exemplo da Figura 30, e constata-se que a vara é apoiada ligeiramente acima da cintura, muito próximo ao CG do corpo humano (55% da estatura) descrito por Enoka (2000).

Figura 30 - Posição de pesca esportiva



Fonte: Flip Key (2017)

3 METODOLOGIA

Por conta do pouco material encontrado na literatura de livre acesso referente a trimarãs de pequeno porte com o objetivo de pesca, o foco do presente trabalho está na análise de estabilidade através da verificação da somatória das diversas fontes de momento presentes, além de adaptação de conceitos aplicados em embarcações de maior porte e consulta bibliográfica.

Para tal, foi necessário identificar a origem dessas forças e quantificá-las. A identificação será feita através da análise das finalidades de cada compartimento do projeto, além da identificação de forças externas através do empirismo na utilização de caiaques de pesca, investigado através de entrevistas informais com praticantes do esporte e observações assistemáticas da prática.

A quantificação das forças provenientes do peso do praticante será realizada através da revisão de estudos já realizados (ENOKA, 2000; PLAGENHOEF, 1983; CONTINI E DRILLIS, 1986) com valores de peso e altura recomendados pela ISO, além de cálculos analíticos, dependendo da origem da força.

Após a identificação e quantificação das forças que originam o momento emborcador no caiaque, serão realizados cálculos através do *plug-in* do *software* Rhinoceros®, chamado Orca3D®, para a identificação dos momentos máximos que a embarcação poderá estar sujeita sem que extrapole os critérios estipulados.

4 AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE DO CAIAQUE TRIMARÃ

4.1 CONSIDERAÇÕES

Como não é possível fazer os testes práticos ou em condições perfeitas de uso, serão feitas algumas considerações tanto de condições iniciais quanto de comportamento e falha.

A primeira consideração é a hipótese de que a embarcação se encontra estática e em águas calmas, eliminando o efeito de onda e de vento aparente. O objetivo é analisar o comportamento do barco apenas às seguintes condições:

- Vela totalmente içada + vento de través + praticante sentado + peso da caixa;
- Vela recolhida + praticante em pé + força exercida pelo peixe + peso da caixa.

Para tal, a análise deve ser feita como se o casco estivesse estático e a resultante da força do vento seja pontual. Sendo assim, outra consideração é de que a quilha do casco, *daggerboard* e leme gerem arrasto suficiente para que a embarcação permaneça estática durante a rajada de vento, desconsiderando o batimento lateral. O deslocamento do *daggerboard* e leme serão desconsiderados na análise.

A análise da resistência ao adernamento da embarcação será feita até que um flutuador submerja ou até que a velocidade do vento exceda a velocidade máxima recomendada para sua categoria pela ISO 12217, descrito no Capítulo 2.7.

Por ser um trimarã de pequeno porte utilizado para recreação e não competição, o flutuador não possui reserva de flutuabilidade o suficiente para que a embarcação navegue com o casco central suspenso como uma embarcação de performance, como o exemplo da Figura 31. O deslocamento total da embarcação é de aproximadamente 275 kg e o flutuador possui um volume total próximo a 72 kg, insuficiente para sustentá-la por si só.

Uma de suas características é de que seu casco central possa ser utilizado como caiaque, fazendo com que tenha um volume muito maior que um casco central de um trimarã comum. Sendo assim, o deslocamento dos flutuadores deveria ser no mínimo igual ao

deslocamento total da embarcação, contrapondo a ideia de uma embarcação de pequena dimensão e baixo peso.

Figura 31 - Trimarã de competição



Fonte: Gilles Martin-Raget (2009)

O peso do usuário seguirá a recomendação da ISO 12217 e será de 75 kg. Já sua altura será considerada igual a 1,75 m.

Como o número de informações sobre o projeto é limitada, foi considerada na análise que o peso dos equipamentos levados a bordo é igual ao valor do deslocamento total menos a soma dos pesos conhecidos.

4.2 FONTES DE MOMENTO

Pela análise do projeto e observações da prática esportiva e de lazer na utilização de caiaques, é possível identificar os seguintes componentes na embarcação:

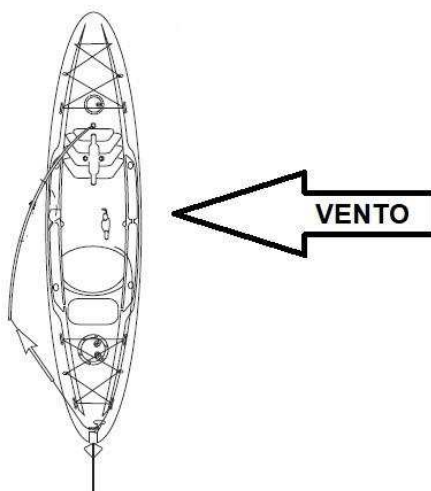
- Vela;
- Hastes de fixação dos flutuadores;
- Ocupante;
- Caixa de gelo;
- Flutuador;
- Casco central;
- Vara de pesca.

A partir destes itens foram constatadas as seguintes fontes de momento na embarcação:

4.2.1 Momento gerado pela vela

O momento gerado pela vela será analisado na pior condição possível, no caso de um velejador sem experiência içar totalmente a vela, enquanto esta se encontra em posição perpendicular ao vento e uma rajada incide de través, como observado na Figura 4.

Figura 32 - Ângulo de incidência do vento



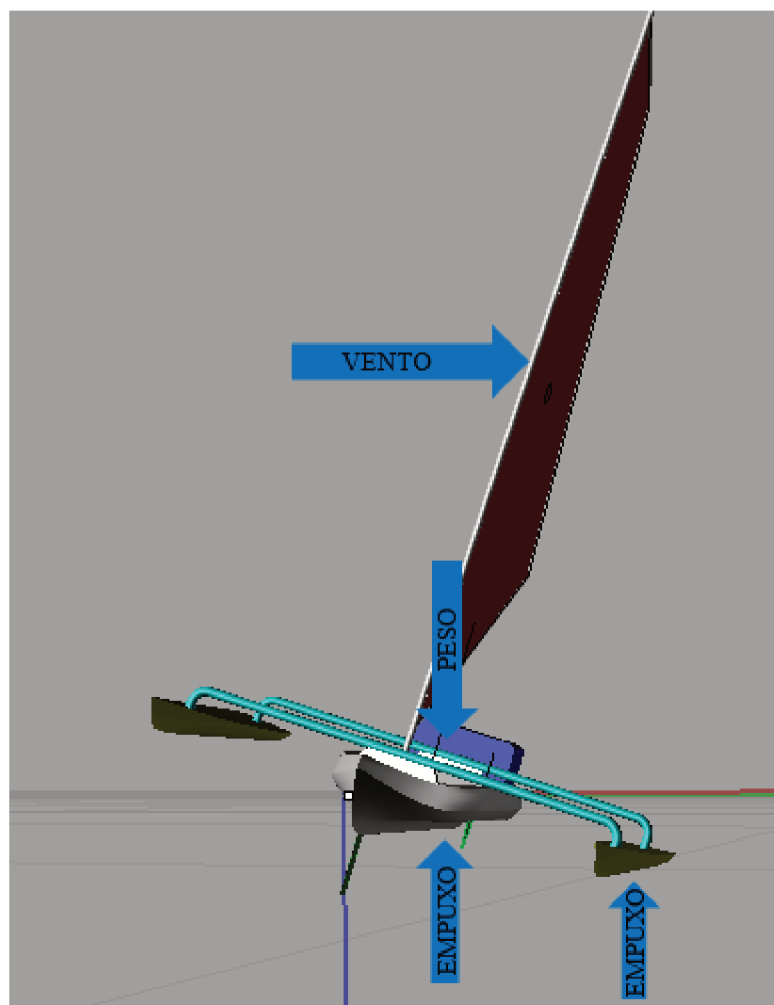
Fonte: Autor (2017)

4.2.2 Empuxo dos flutuadores

Será analisada a força de flutuação resultante dos diversos calados dos flutuadores proporcionados pelas possíveis inclinações da embarcação. Através do Orca3D® serão obtidos os volumes deslocados para o cálculo de momento.

Com o empuxo dos flutuadores serão avaliados os esforços geradores de momento na embarcação quando a mesma se encontra na situação de análise.

Figura 33 - Esforços gerados na embarcação analisada



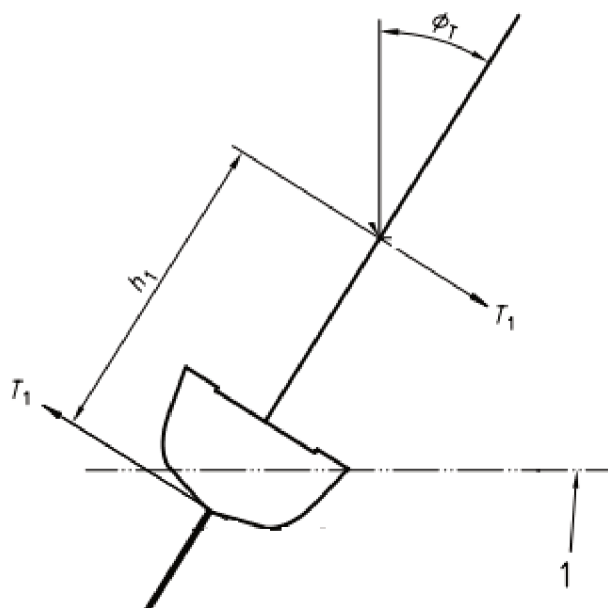
Fonte: Autor (2018)

4.3 ANÁLISE DA NORMA

Como não é possível fazer o teste prático de adequação de categoria exigido pela ISO 12217 na fase de projeto, o cálculo será feito analítico e numericamente.

Para tal, o momento gerado pelas forças T1, exibidas na Figura 34, será igualado ao valor do momento restaurador obtido na primeira violação das condições determinadas pela norma, e que no caso será o ponto em que o flutuador submerge.

Figura 34 - Cálculo analítico do teste ISO 12217



Fonte: Autor (2018)

A posição do centro de gravidade da embarcação é obtida através do Orca3D, assim como o valor do momento restaurador.

As forças T_1 serão consideradas equidistantes do centro de gravidade, e através da igualdade dos momentos será obtido o seu valor.

4.4 ALTERAÇÕES FEITAS NO PROJETO

Algumas alterações foram feitas no projeto inicial para que atendessem tanto aos requisitos da análise computacional quanto à bibliografia, além de possibilitar uma melhor visualização do barco. Entretanto, um requisito do projeto é que a geometria e dimensões dos flutuadores e casco central fossem mantidas.

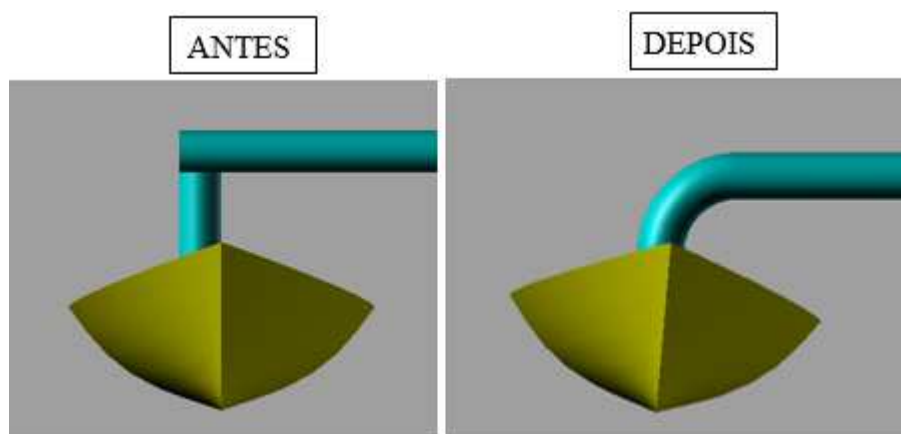
As modificações foram as seguintes:

- Alteração da haste
 - Como o projeto apresenta característica de um trimarã de segunda geração assim como explicado no Capítulo 2.5, a relação L/B da embarcação é igual a 1,24, próximo aos 1,3 descritos por Shuttleworth (2003). Sendo assim a boca da embarcação é igual a 3,08 m;

- Centralização do encaixe da haste no flutuador;
- Criação de uma haste de uma peça só.
- Inclinação do flutuador

Como Robert B. Harris cita em seu livro “*An Introduction to the Design of Multihull Sailing Craft*” (1968), há trimarãs projetados para que seus flutuadores tenham pouco contato com a água quando navegando sem banda para que haja um menor arrasto, imergindo e tendo um efeito sobre a estabilidade apenas quando adernado. Por esse ser o presente caso, julgou-se necessário a aplicação de uma rotação de 5 graus na linha de centro dos flutuadores para que possam ter um melhor desempenho quando navegando com banda.

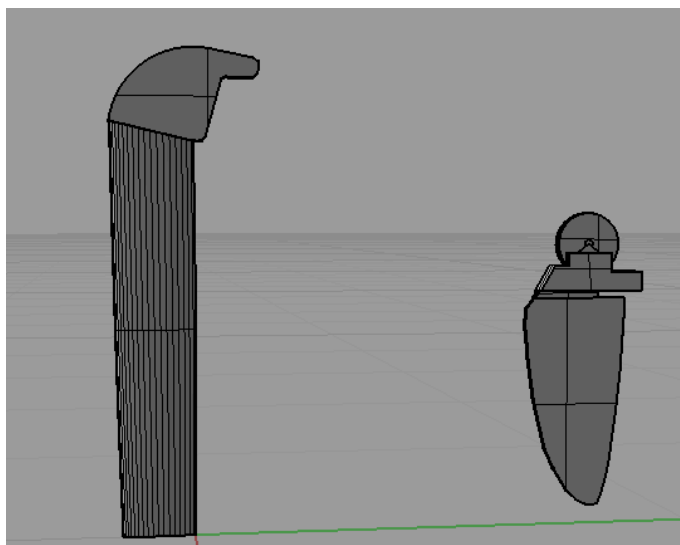
Figura 35 - Alterações da haste e flutuador



Fonte: Autor (2018)

- Criação de um *daggerboard* e leme;
 - Apenas a fim de visualização.
 - Geometrias e dimensões inspiradas em acessórios da marca Hobie.

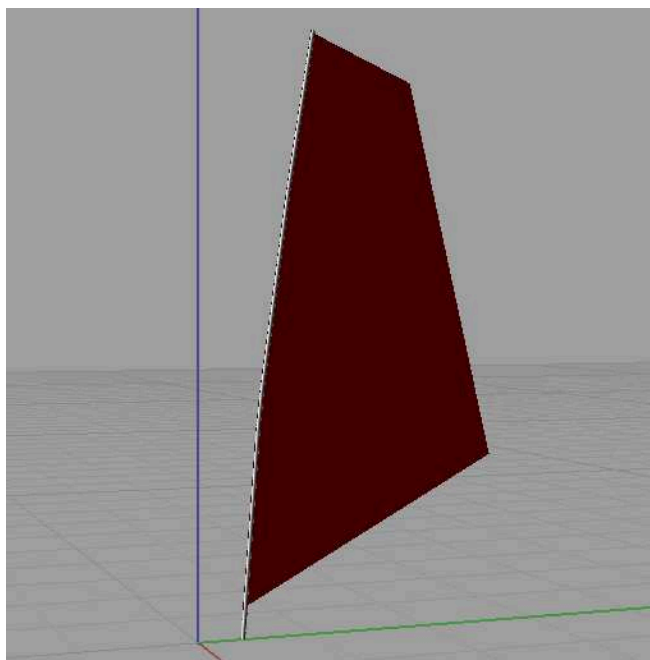
Figura 36 - Daggerboard e leme



Fonte: Autor (2018)

- Criação da vela
 - Feito a partir do desenho 2D Figura 28;
 - Inspirado na vela usada no caiaque Mirage Adventure Island.

Figura 37 - Vela modelada



Fonte: Autor (2018)

- Caixa térmica

A caixa térmica tem suas medidas baseadas em um *cooler* da marca ICEKING, modelo Kuer-A-45, utilizado em caiaques.

Cooler modelo Kuer-A-45



Fonte: Kuer (2018)

Suas medidas externas são: 67.8 x 42.0 x 41.4 cm

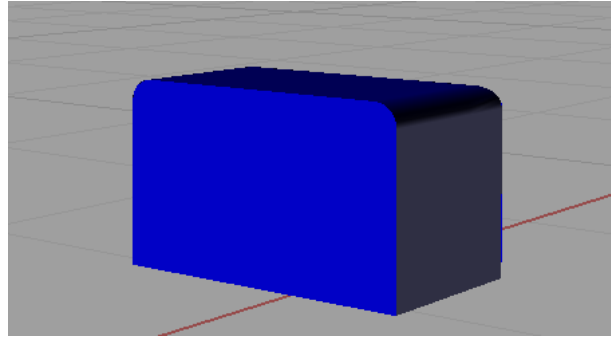
E internas: 51.3 x 26.9 x 29.4 cm

Capacidade: 42,5 l

Peso: 10,5 kg

Será considerado que a caixa carregue 34,5 kg de peso, que em hipótese será de gelo, totalizando 45 kg. Dessa forma, considerando a espessura da caixa como 4 cm, a altura do nível do gelo ficará 30 cm acima da sua base, e seu centro de gravidade 17 cm acima da sua base. Sua modelagem foi feita no Rhinoceros® e está representado na Figura 38 - Cooler modelado no Rhinoceros Figura 38.

Figura 38 - Cooler modelado no Rhinoceros



Fonte: Autor (2018)

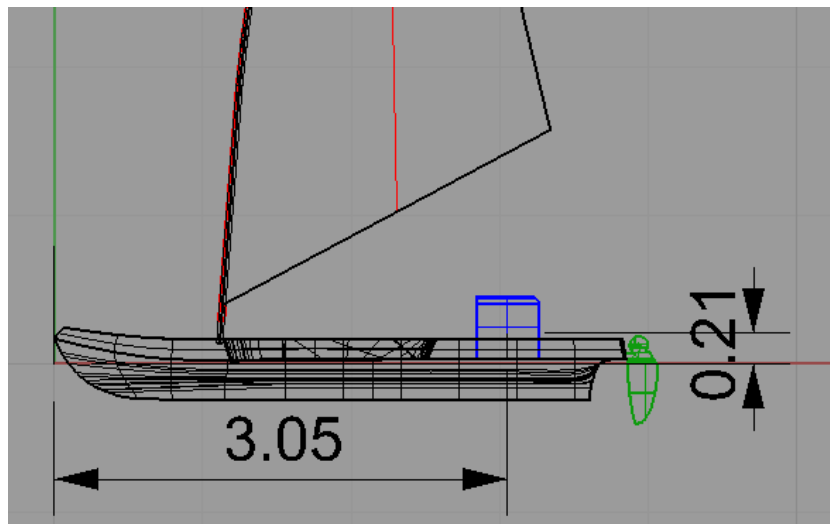
Sendo assim, considerando ponto zero no mesmo local do ponto zero da embarcação, o seu centro de gravidade localizado em:

Tabela 7 - Centro de gravidade do cooler em coordenadas globais

Coordenada em X [m]	3,05
Coordenada em Y [m]	0,21
Coordenada em Z [m]	0,00

Fonte: Autor (2018)

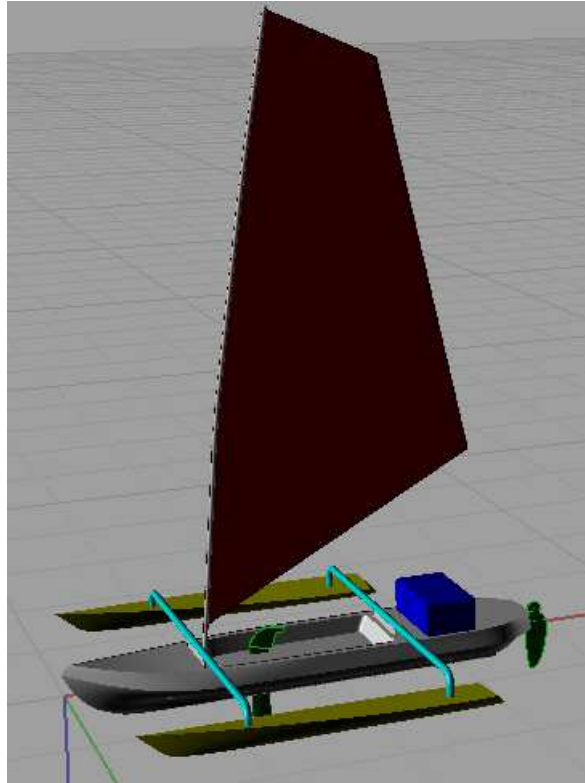
Figura 39 - Centro de gravidade do cooler



Fonte: Autor (2018)

O modelo final do caiaque trimarã com todos os apêndices pode ser observado em perspectiva em Figura 40 - Vista em perspectiva do caiaque analisado e em vista lateral na Figura 41.

Figura 40 - Vista em perspectiva do caiaque analisado



Fonte: Autor (2018)

Figura 41 - Vista lateral do caiaque analisado



Fonte: Autor (2018)

4.5 ANÁLISE COMPUTACIONAL

Conforme já mencionado, a análise será feita através de um *plugin* do Rhinoceros®, o Orca3D®. A partir dele é possível obter os valores de suas dimensões, coeficientes de forma, além do comportamento da embarcação quando sujeita a banda.

4.5.1 Deslocamento, coeficientes de forma, pesos e centros

O primeiro passo para a obtenção do deslocamento é o posicionamento correto da embarcação no plano, com sua proa na origem e com o calado desejado.

Então, as condições iniciais da embarcação são definidas em “*Define design conditions*” e os valores hidrostáticos da embarcação são obtidos pelo plano de flutuação.

Figura 42 - Orca3D: Condições iniciais

Orca3D Design Hydrostatics

Description: Design Hydrostatics Analysis

Weight/Center Float Plane

Displacement: 0 kgf Model Sinkage: 0.000 m

LCG: 0 m Model Trim: 0.000 deg

TCG: 0 m Model Heel: 0.000 deg

VCG: 0 m

Link to Orca3D Weight/Cost Items

Override Initial Plane Height for Free Float Iteration: 0.0243927037 m

Mirror About Centerplane

Real-Time Hydrostatics

OK Cancel Select Objects... Points Of Interest...

Fonte: Autor (2018)

Após clicar em “*Select Objects*”, a embarcação toda foi selecionada, e após inserção dos dados, o valor de deslocamento da embarcação foi obtido clicando em “*Compute design hydrostatics*”, dentro da pasta “*Stability*”.

Com o valor do deslocamento em mãos, a divisão dos pesos foi feita, sendo eles provenientes do peso do praticante, caixa de gelo e casco nu com apêndices e equipamentos. Após a divisão dos pesos concluída e as coordenadas dos seus centros de gravidades identificadas, foi adicionado à modelagem os pontos que representam tais pesos e centros tanto para a condição em que o praticante está sentado, quanto para a que ele está pescando.

Essa adição de pontos de peso foi feita primeiramente criando esses pontos em “*Create Weight/Cost Point*”, dentro da pasta “*Stability*”, e em seguida os atribuindo valores de peso.

Figura 43 - Orca3D: Pesos e centros

Orca3D Weight and Cost Items

Name	Weight (kgf)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Material Cost (EUR)	Labor Cost (EUR)
Equipamentos	112.800	2.104	0.000	-0.059	0.00	0.00
Sup. haste	0.405	2.599	0.000	0.190	0.00	0.00
Sup. haste	0.405	1.030	0.000	0.190	0.00	0.00
Haste	4.523	2.599	0.003	0.247	0.00	0.00
Haste	4.376	1.030	0.001	0.251	0.00	0.00
Flutuador	5.560	1.801	1.350	0.055	0.00	0.00
Flutuador	5.560	1.801	-1.346	0.055	0.00	0.00
Casco central	19.034	2.063	0.000	0.007	0.00	0.00
CG praticante	75.000	2.240	0.000	0.390	0.00	0.00
Cooler	45.000	3.050	0.000	0.210	0.00	0.00
Totals	272.664	2.272	0.000	0.129	0.00	0.00

Buttons: Add Weight/Cost Point ..., Edit Weight/Cost Properties ..., Clear Weight/Cost Properties, Close

Fonte: Autor (2018)

Com a implementação dos valores de peso na condição de uso, fez-se novamente o caminho para obtenção do deslocamento, porém dessa vez ao invés de selecionar “*Float Plane*” para a análise hidrostática, foi selecionada a opção “*Weight/Center*”, e selecionado para atribuir os valores de pesos e centros inseridos anteriormente.

Figura 44 - Orca3D: Análise hidrostática

Orca3D Design Hydrostatics

Description: Design Hydrostatics Analysis

Weight/Center Float Plane

Displacement: 275.000 kgf Model Sinkage: 0 m

LCG: 2.296 m Model Trim: 0 deg

TCG: 0.000 m Model Heel: 0 deg

VCG: 0.107 m

Link to Orca3D Weight/Cost Items

Override Initial Plane Height for Free Float Iteration: 0.0243927037 m

Mirror About Centerplane

Real-Time Hydrostatics

Buttons: OK, Cancel, Select Objects..., Points Of Interest...

Fonte: Autor (2018)

E uma vez computado o cálculo hidrostático do modelo, ao observar os valores obtidos de coeficientes de forma, LCG, VCG, TCG, LCB, VCB e LCB, nota-se que são condizentes às situações de análise.

4.5.2 Curva de estabilidade

As curvas de estabilidade estática foram obtidas também utilizando os valores de pesos e centros previamente definidos.

Ao clicar em “*Compute Hydrostatics & Stability*”, foram marcadas as opções “*Weight(s)*”, “*LCG(s)*”, “*TCG(s)*” e “*VGC(s)*”. Após a marcação, foi selecionado (em destaque na Figura 45) para que o cálculo levasse em consideração os pesos e centros previamente definidos e que seja computado o braço de endireitamento a cada 2 graus de banda entre 0 e 180 graus.

Figura 45 - Orca3D: Análise de estabilidade

Orca3D Hydrostatics & Stability Analysis

Description: Hydrostatics & Stability Analysis

Weight(s) 275.000 kgf or Model Sinkage(s) 0 m

LCG(s) 2.296 m or Model Trim(s) 0 deg

TCG(s) 0.000 m or Model Heel(s) 0 deg

VCG(s) 0.107 m

[How to enter multiple conditions ...](#)

Override Initial Plane Height for Free Float Iteration 0.0243927037210879 m

Mirror About Centerplane

Add Plane(s) Representing Water Surface

Transform Model to Resultant Condition

Compute Righting Arm at these Heel Angles 0,2.....,180 e.g. 0,5.....,30,40.....,90

Full Output for Heeled Conditions

Also Write Output To CSV File C:\Users\User Name\Documents\Hydrostatics.csv

Use Custom Conditions

Buttons: Calculate, Cancel, Add Objects..., Points of Interest..., Orca3D Units...

Fonte: Autor (2018)

5 RESULTADOS

5.1 CENTRO DE GRAVIDADE DO PRATICANTE

Levando em conta que a ISSO 12217 considera a estatura e peso médio de um tripulante como 1,75m e 75kg, os cálculos de centro de gravidade foram feitos se utilizando desses valores. Utilizando os valores de Contini e Drillis (1986) para o comprimento dos membros e a tabela de de Leva (1996) para a porcentagem do peso corporal dos membros, foi possível chegar nos resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - CG dos membros do praticante

Membro	Comprimento [m]	Distância do CG até o proximal [m]	Proximal
Cabeça e pescoço	0.32	0.16	Topo da cabeça
Tronco inteiro	0.60	0.24	Meio dos ombros
Sup. Braço	0.33	0.19	Ombros
Antebraço	0.26	0.12	Cotovelo
Mão	0.19	0.15	Pulso
Coxa	0.43	0.17	Quadril
Canela	0.50	0.22	Joelho
Pé	0.27	0.11	Calcanhar

Fonte: Autor (2018)

5.1.1 SENTADO

A partir da Figura 23 e da Figura 26 foi possível obter a Tabela 9, que fornece o comprimento dos membros para uma pessoa de 1,75m de altura, e fazer o desenho em CAD 2D do praticante sentado no caiaque, como é observado na Figura 46 e Figura 47.

Tabela 9 - Comprimento dos membros para uma pessoa de 1,75m

Membro	Comprimento [m]
Cabeça e pescoço	0.32
Tronco inteiro	0.60

Sup. Braço	0.33
Antebraço	0.26
Mão	0.19
Coxa	0.43
Canela	0.50
Pé	0.27

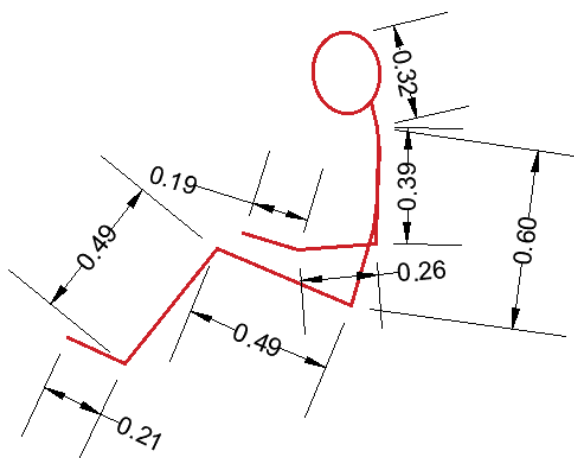
Fonte: Autor (2018)

Figura 46 - Posição em CAD 2D do praticante sentado



Fonte: Autor (2018)

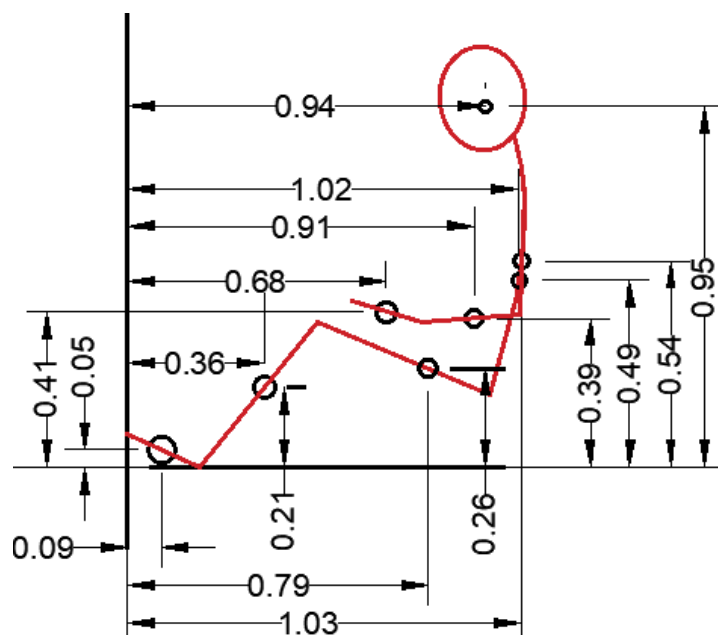
Figura 47 - Dimensões do praticante



Fonte: Autor (2018)

A partir o desenho obtido em CAD representado na Figura 47 e da Tabela 6, que fornece a distância do centro de gravidade do membro em relação ao seu proximal, foi feito um novo desenho com os pontos de CG dos membros indicados por círculos e cotados.

Figura 48 - Distância dos CGs dos membros do praticante sentado



Fonte: Autor (2018)

Utilizando os cálculos descritos no Capítulo 2.4, conclui-se que:

Tabela 10 - Centro de gravidade do praticante sentado

Coordenada em X [m]	0,80
Coordenada em Y [m]	0,36
Coordenada em Z [m]	0,00

Fonte: Autor (2018)

Ao considerarmos a origem como sendo a origem do plano cartesiano do sistema, a nova coordenada será:

Tabela 11 - Centro de gravidade do praticante sentado em coordenada global

Coordenada em X [m]	2,24
Coordenada em Y [m]	0,39
Coordenada em Z [m]	0,00

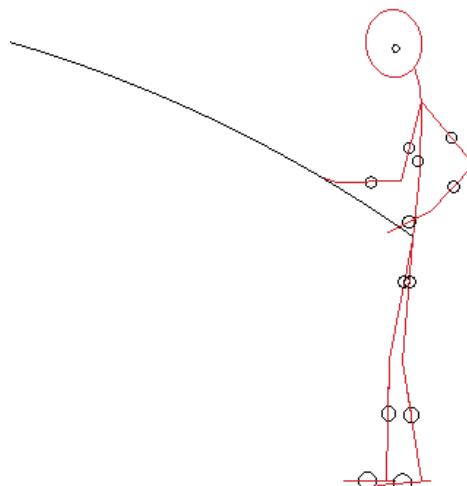
Fonte: Autor (2018)

5.1.2 PESCANDO

A outra missão do caiaque é que ele sirva para a prática de pesca esportiva, e para tal, muitas vezes o praticante se encontra em pé.

Através de entrevista com praticantes de pesca esportiva, chegou-se a um posicionamento comum para tal, além de um tamanho de vara usual para a prática no local onde a embarcação irá navegar. Desenhado em AutoCAD®, a representação se encontra na Figura 49.

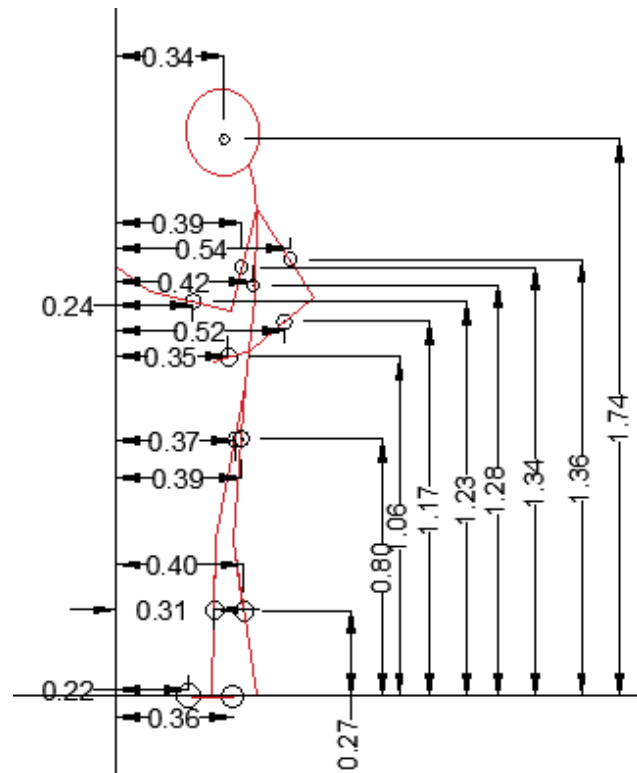
Figura 49 - Praticante pescando



Fonte: Autor (2018)

A partir dessa representação considerando que o praticante tem 1,75 m de altura, 75 kg, as distâncias dos centros de gravidade do proximal de cada membro são as mesmas obtidas anteriormente utilizando valores de Contini e Drillis (1986), sendo assim, foi possível obter as coordenadas do centro de gravidade dos membros do praticante quando esse está pescando em pé.

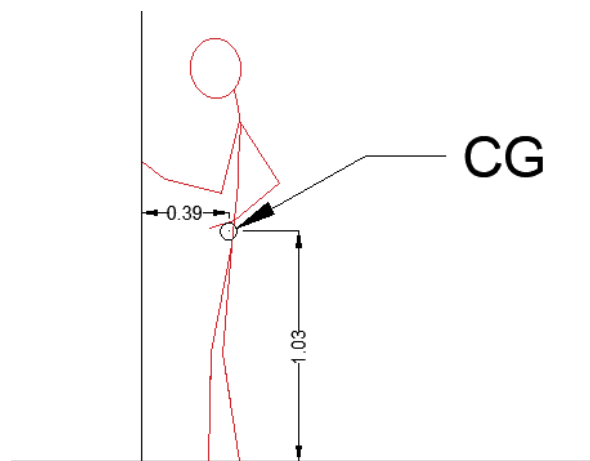
Figura 50 - Altura dos CGs dos membros do praticante pescando



Fonte: Autor (2018)

E utilizando os cálculos descritos no Capítulo 2.4, conclui-se que:

Figura 51 - Centro de gravidade do praticante em pé



Fonte: Autor (2018)

Tabela 12 - Centro de gravidade do praticante em pé em posição de pesca

Coordenada em X [m]	0,39
---------------------	------

Coordenada em Y [m]	1,03
Coordenada em Z [m]	0,00

Fonte: Autor (2018)

Logo, a coordenada do centro de gravidade do praticante considerando a origem como sendo a origem do sistema será:

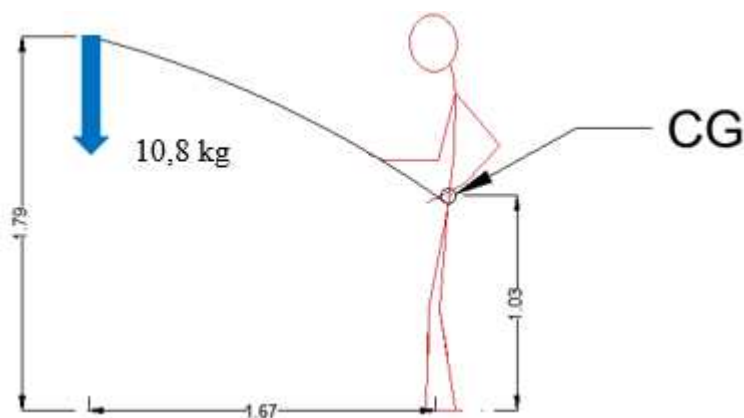
Tabela 13 - Centro de gravidade do praticante pescando em coordenada global

Coordenada em X [m]	1,96
Coordenada em Y [m]	1,00
Coordenada em Z [m]	0,00

Fonte: Autor (2018)

Se considerarmos que o *drag* da carretilha é de 10,8 kg e que o comprimento da vara utilizado para a prática no local de navegação é igual a 1,90 m (valor obtido através de entrevista com praticantes), obtém-se a seguinte configuração de esforços:

Figura 52 - Representação da força exercida pelo peixe no ato da pesca



Fonte: Autor (2018)

E a localização da ponta da vara considerando coordenadas globais é:

Tabela 14 - Localização da ponta da vara em coordenada global

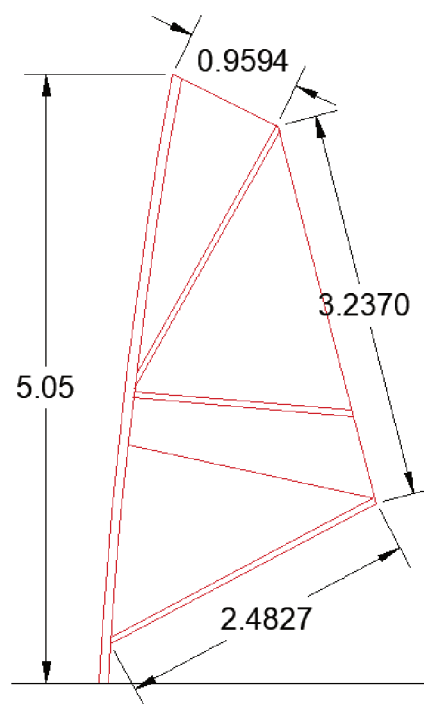
Coordenada em X [m]	1,96
Coordenada em Y [m]	1,79
Coordenada em Z [m]	1,67

Fonte: Autor (2018)

5.2 CENTRÓIDE DA VELA

O centroide da vela seleccionada pôde ser obtido com o auxílio do AutoCAD®, no qual a vela foi desenhada em escala com as informações fornecidas pelo fabricante e descritas no Capítulo 2.8. O desenho da vela pode ser observado a seguir:

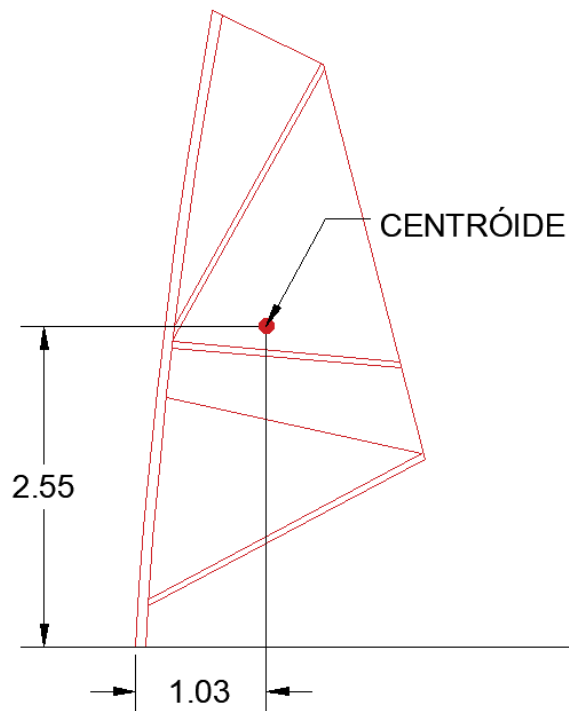
Figura 53 - Vela Hobie em 2D



Fonte: Autor (2018)

O centroide foi obtido com a função MASSPROP, cujo resultado é observado na Figura 54 e Tabela 15.

Figura 54 - Centroide da vela



Fonte: Autor (2018)

Tabela 15 - Centroide da vela

Posição em X [m]	1,03
Posição em Y [m]	2,55
Posição em Z [m]	0,00

Fonte: Autor (2018)

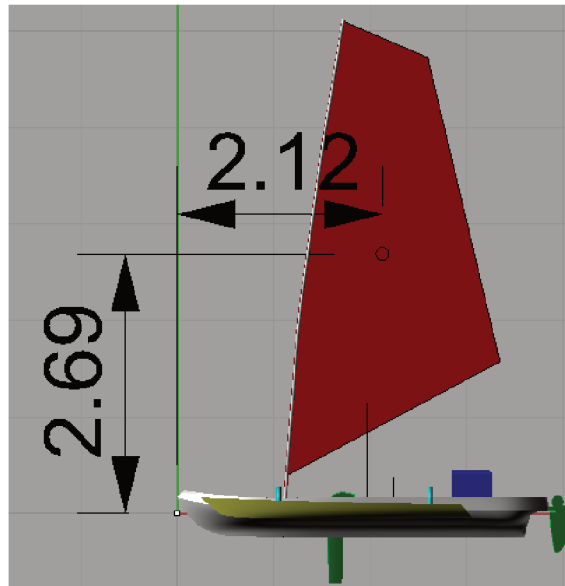
Ao considerarmos o ponto zero como sendo o mesmo ponto zero do sistema, o centroide da vela está localizado nas seguintes coordenadas:

Tabela 16 - Centroide da vela em coordenadas globais

Coordenada em X [m]	2,12
Coordenada em Y [m]	2,69
Coordenada em Z [m]	0,0

Fonte: Autor (2018)

Figura 55 - Centroide da vela em coordenadas globais

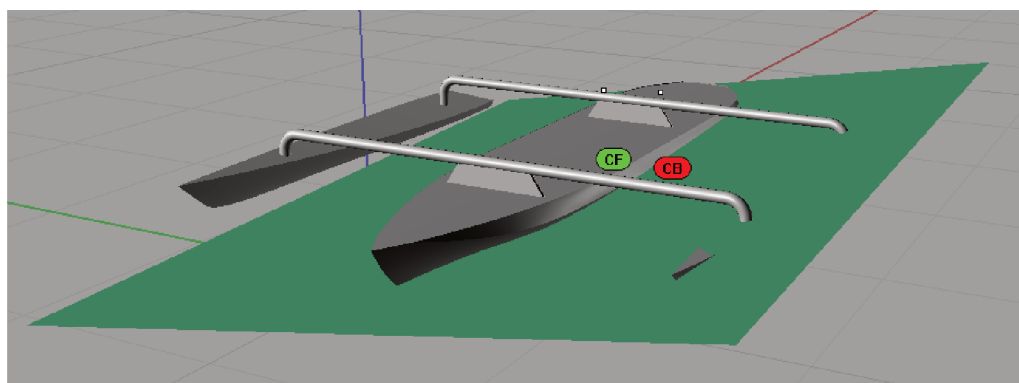


Fonte: Autor (2018)

5.3 ÂNGULO NECESSÁRIO PARA SUBMERGIR UM FLUTUADOR

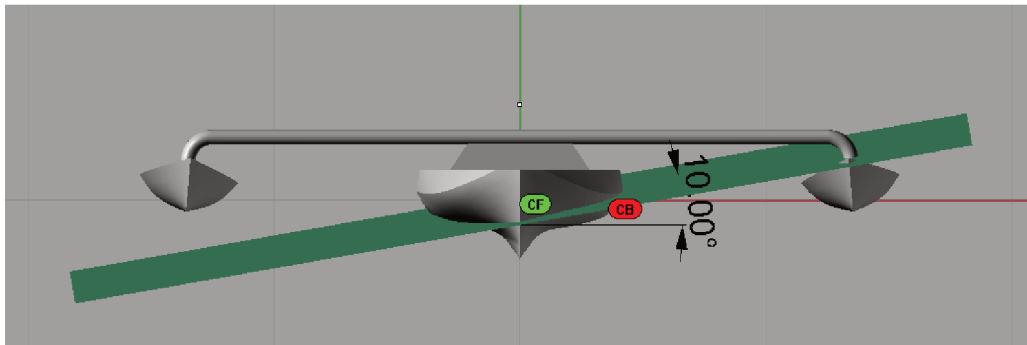
Pode-se observar nas Figura 56 e Figura 57 que o ângulo necessário para submergir um flutuador é de 10 graus, e os esforços gerados pelo seu empuxo estão na Tabela 17.

Figura 56 - Flutuador submergido: Vista em perspectiva



Fonte: Autor (2018)

Figura 57 - Flutuador submerso: Vista frontal



Fonte: Autor (2018)

Tabela 17 - Ângulo para submergir um flutuador

Banda [graus]	Braço de endireitamento [m]	Momento de restauração [kg*m]
10	0,392	107,0

Fonte: Autor (2018)

5.4 PROPRIEDADES HIDROSTÁTICAS E CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO

Tanto as propriedades hidrostáticas e os resultados das condições de carregamento para as condições do praticante sentado e pescando foram calculadas através do Orca3D® com o calado de projeto, e os resultados são os seguintes:

Tabela 18 - Centros de gravidade no calado de projeto

	LCG	TCG	VCG
Sentado	2,229	0,000	0,164
Pescando	2,144	0,064	0,389

Fonte: Autor (2018)

Tabela 19 - Propriedades hidrostáticas no calado de projeto

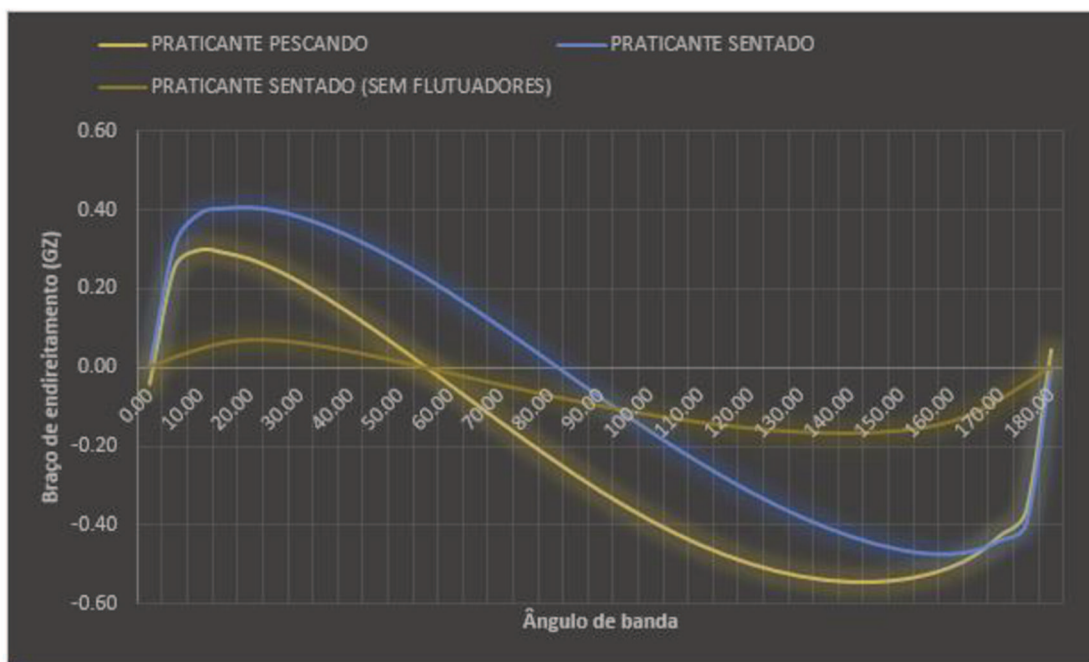
	LCB [m]	TCB [m]	VCB [m]	Banda [graus]
Sentado	2,232	0,000	-0,059	0,000
Pescando	2,146	0,069	-0,057	0,688

Fonte: Autor (2018)

5.5 BRAÇO DE ENDIREITAMENTO E MOMENTO RESTAURADOR

Como previamente dito, o gráfico de braço de endireitamento dado o ângulo de banda é gerado através do *software* Orca3D®, e seus dados compilados para as situações em que o praticante se encontra tanto sentado quanto pescando podem ser observados na Figura 58.

Figura 58 - Gráfico de braço de endireitamento



Fonte: Autor (2018)

Os gráficos individuais estão no Anexo A e os valores de máximo e ângulo de emborcamento estão na tabela a seguir:

Tabela 20 - Valores de máximo e ângulo de emborcamento

	Pescando	Sentado	Sentado sem flutuadores
Máximo momento restaurador [kg*m]	79,5	112,2	18,8
Ângulo de banda do máx. momento restaurador [graus]	10	18	22
Máximo braço de endireitamento [kg*m]	0,288	0,408	0,068
Ângulo de banda do máx. braço de endireitamento [graus]	10	19	21
Ângulo de emborcamento [graus]	55	81	52

Fonte: Autor (2018)

5.6 MÁXIMA VELOCIDADE DE VENTO RECOMENDADA

5.6.1 ISSO 12217

Seguindo o procedimento descrito no Capítulo 2.6.1, e sabendo que o flutuador submerge ao atingir 10 graus de banda, o trimarã apresenta as seguintes propriedades volumétricas hidrostáticas:

Tabela 21 - Propriedades de massa

Ângulo [graus]	LCG [m]	VCG [m]
10	2,28	0,034

Fonte: Autor (2018)

Como descrito no Capítulo 4.3, 10 graus de banda gera um momento de restauração de 107 kg*m, e ao igualarmos ao momento gerado pela força T_1 , o valor encontrado para foi de 254,76 kg.

Portanto, as variáveis da equação são:

$$\phi = 10 \text{ graus}$$

$$A'_S = 6,2 \text{ m}^2$$

$$B = 3,09 \text{ m}$$

$$h_{CE} = 2,69 \text{ m}$$

$$h_{LP} = 0,12 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,42 \text{ m}$$

$$T_1 = 254,76 \text{ kg}$$

Resultando no seguinte valor de velocidade de vento:

Tabela 22 - Velocidade máxima do vento recomendada pela ISSO 12217

	Quilômetros por hora	Metros por segundo	Nós
	[km/h]	[m/s]	
Velocidade do vento	44,35	12,32	23,95

Fonte: Autor (2018)

Portanto, a embarcação receberá designação de Categoria C, com recomendação de navegação até Beaufort 6 com rajadas de vento de até 17 m/s.

5.6.2 John Shuttleworth

Utilizando a fórmula descrita no Capítulo 2.9 com os seguintes valores:

$$B_1 = 8,85 \text{ ft}$$

$$d = 606,27 \text{ lbs}$$

$$h = 8,82 \text{ fts}$$

$$A_{sp} = 66,73 \text{ ft}^2$$

Chega-se no seguinte resultado:

Tabela 23 - Velocidade máxima do vento recomendada utilizando John Shuttleworth

	Quilômetros por hora	Metros por segundo	Nós
Velocidade do vento	32,54	9,04	17,57

Fonte: Autor (2018)

5.6.3 Análise por placa plana

Para a obtenção da força do vento necessária para adernar a embarcação, o momento restaurador obtido é igualado à multiplicação da força do vento na vela pela distância perpendicular do seu centroide até o centro de gravidade.

$$\text{Momento restaurador} = F_H * h_{cb} \quad (28)$$

$$F_H = \frac{\text{Momento restaurador}}{h_{cb}} \quad (29)$$

Ao encontrar o valor da força do vento, manipulamos a equação 26 para isolar a velocidade do vento em função da força gerada, e chegamos a seguinte equação:

$$V = \sqrt{\frac{2 * F_H}{\rho_{ar} * A'_s}} \quad (30)$$

Sendo assim, sabendo que o máximo momento restaurador é igual a 112,2 kg*m, e que a força resultante da igualdade dos momentos é igual a 41,4 kg, a velocidade do vento necessária para que a embarcação atinja seu máximo momento de restauração na situação de análise é a seguinte:

Tabela 24- Tabela 20 - Velocidade máxima do vento recomendada analisando por placa plana

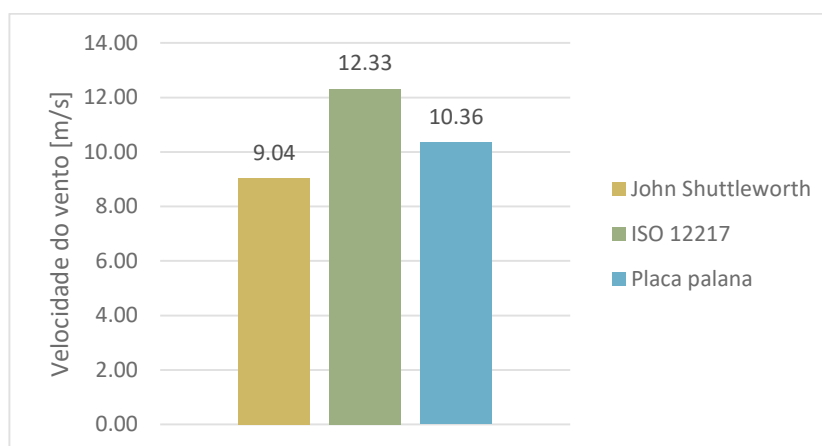
	Quilômetros por hora	Metros por segundo	Nós
Velocidade do vento	37,62	10,45	20,31

Fonte: Autor (2018)

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Ao compararmos as velocidades de vento recomendadas para a navegação do trimarã através dos três métodos, observamos que a maior diferença entre eles é de 3,29 m/s, que representa 27% entre o método utilizado pela ISSO 12217 e o método utilizado por Shuttleworth (2003).

Figura 59 - Gráfico comparativo de velocidade máxima de vento recomendada



Fonte: Autor (2018)

Porém, ao observarmos a Escala Beaufort apresentada na Figura 60 notamos que os resultados se encontram entre 5 e 6, que representam ventos entre moderado e forte e um estado de mar relativamente ríspido, o que configura que a embarcação possui uma estabilidade razoável para navegar nessa condição.

Figura 60 - Escala Beaufort para classificação do vento

Força	Descrição	Velocidade média em Nós	Velocidade média em km/h	Velocidade média em m/s	Estado do Mar
0	Calmaria	< 1	< 1	≤ 0,2	Mar espelhado
1	Bafagem	1 a 3	2 a 6	0,3 a 1,5	Algumas rugosidades
2	Aragem (leve brisa)	4 a 6	7 a 12	1,6 a 3,3	Pequenas ondulações
3	Fraco	7 a 10	13 a 18	3,4 a 5,4	Ondulações e alguns carneiros
4	Moderado	11 a 16	19 a 29	5,5 a 7,9	Pequenas vagas, carneiros frequentes
5	Fresco	17 a 21	30 a 38	8,0 a 10,7	Vagas moderadas, carneiros, borrifos
6	Muito fresco	22 a 27	39 a 49	10,8 a 13,8	Grandes vagas, cristas espumosas brancas, borrifos
7	Forte	28 a 33	50 a 61	13,9 a 17,1	Vagalhões pequenos com espuma em faixas
8	Muito forte	34 a 40	62 a 74	17,2 a 20,7	Vagalhões moderados com espuma em faixas definidas
9	Duro	41 a 47	75 a 88	20,8 a 24,4	Vagalhões grandes a enorme e excepcionais, visibilidade reduzida a seriamente afetada.
10	Muito duro	48 a 55	89 a 102	24,5 a 28,4	
11	Tempestuoso	56 a 63	103 a 117	28,5 a 32,6	
12	Furacão	≥ 64	≥ 118	≥ 32,7	

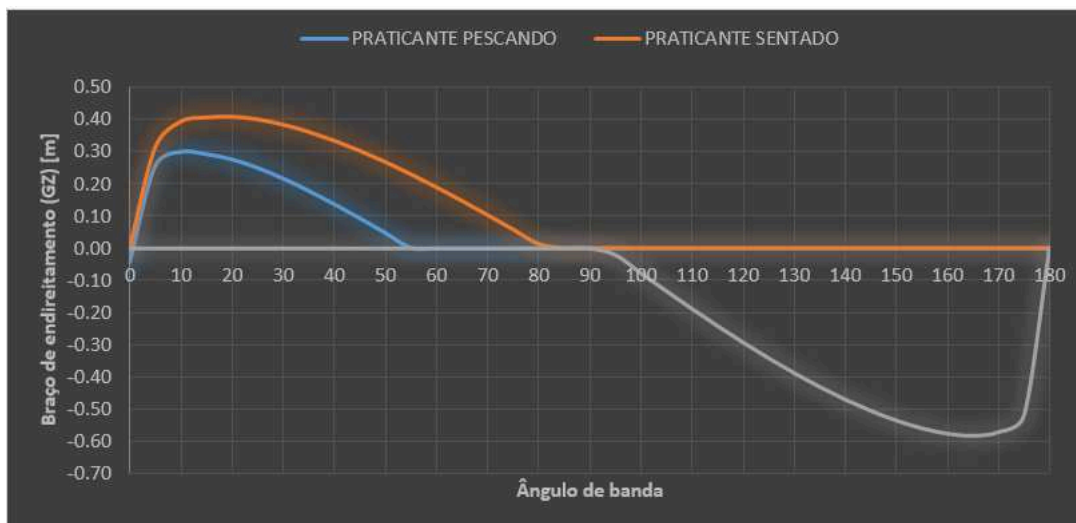
Fonte: Observatório vulcanológico e geotérmico dos Açores (2018)

Vale a pena ressaltar que essa conclusão se refere ao comportamento estático da embarcação, e não ao dinâmico.

Quando comparado o gráfico de braço de endireitamento do trimarã com o casco central, ambos representados na Figura 56, com o gráfico comparativo de Shuttleworth (2003) de um trimarã com um monocasco, representado na Figura 17, nota-se que o comportamento é muito parecido, com ambos trimarãs possuindo um braço de endireitamento máximo maior que o do monocasco, porém ocorrendo a uma angulação de banda inferior. A diferença ocorre quando comparamos o ângulo de emborcamento dos monocasco, onde nota-se que o caiaque aderna muito mais cedo que o monocasco de Shuttleworth, porém esse é um comportamento esperado de um caiaque.

Os gráficos de braço de endireitamento de ambas as situações de análise (sentado com a vela içada e pescando com vela recolhida) só são representativos até que a embarcação aderne por completo, pois uma vez emborcada o praticante sairá de cima para desvirá-la. Dessa forma, ambas possuem o mesmo comportamento após emborcada, que exclui a influência do peso do praticante, sendo o gráfico a seguir o mais fiel à realidade.

Figura 61 - Comportamento real do gráfico de braço de endireitamento



Fonte: Autor (2018)

Além do fato já citado, o comportamento da embarcação quando o praticante está pescando também não é totalmente fiel à realidade, pois uma vez que a embarcação incline, o praticante tende a se reposicionar para que seu CG se mantenha sobre sua base em uma tentativa de manter o equilíbrio. Logo, os resultados obtidos são válidos para pequenos ângulos.

Porém, na condição inicial de pesca, considerando que o praticante fogue um peixe e que ele exerça uma força igual ao *drag* da carretilha, a embarcação inclina menos de 1 grau, o que significa que ela possui uma boa estabilidade nessa condição, promovendo conforto e segurança ao praticante nessa condição de uso.

7 CONCLUSÃO

Pode-se concluir através dos resultados obtidos e dos comparativos com o material bibliográfico que na circunstância de análise a embarcação é estável tanto na condição estática em que o praticante se encontra sentado e com a vela içada sob ação do vento, quanto quando o praticante está em pé com a vela recolhida e fisga um peixe.

As modificações de calado e ângulo dos flutuadores foram suficientes para que a embarcação tivesse seu momento máximo restaurador a um baixo ângulo de banda, além de velejar com a linha central do flutuador quase que perpendicular à linha d'água.

A escolha da vela e caixa térmica se mostrou suficiente, ao menos para a estabilidade estática, uma vez que através dos resultados dos estudos das normas e dos métodos de avaliação de estabilidade foi identificado que a embarcação é estável para as condições de análise em ambas as situações sem uma discrepância muito grande nos resultados encontrados.

Apesar de a embarcação ser um trimarã incomum, os três métodos encontrados para a análise e as considerações feitas foram suficientes para que a avaliação de estabilidade fosse feita com a ajuda de softwares, fornecendo a máxima velocidade de vento recomendada para navegação.

Dessa forma, valida-se a escolha de vela e caixa térmica, modificações feitas no calado e posição dos flutuadores feitas no projeto inicial, além dos métodos utilizados para a análise.

REFERÊNCIAS

- ARRIS, Robert B.. **An Introduction to the Design of Multihull Sailing Craft**. New Jersey: The Society Of Naval Architects And Marine Engineers, 1968. 30
- BARRASS, Bryan; DERRETT, D.r.. **Ship Stability: For master and mates**. 6. ed. Oxford: Elsevier, 2006.
- BRASIL, **Milha Nautica. Power drive system**. 2018. Disponível em: <<https://milhanauticabrasil.com.br/#mnautica-power-drive>>. Acesso em: 11 mar. 2018.
- BROWN, Russell. **THE PROAFILE PRIMER**. 2014. Disponível em: <<https://proafile.com/multihull-boats/article/the-proa-file-primer>>. Acesso em: 05 fev. 2018.
- BRUDDEN. **Caiaques**. 2018. Disponível em: <<http://www.bruddennautica.com.br/>>. Acesso em: 2 mar. 2018.
- BURGOS, Derick. **Kayak Fishing Charters in Tampa, Florida with Phatfish & Your Guide Derick Burgos**. 2018. Disponível em: <<http://phatfishkayakcharters.com/>>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- DAY, A. H.. **Fundamental Concepts of Sailing Yachts: Sailing Yacht Design**. Department Of Naval Architecture And Marine Engineering, Glasgow, p.8-8, dez. 2014.
- DE LEVA, Paolo. **Adjustments to Zatsiorsky - Seluyanov's Segment Inertia Parameters**. p. 1223-1230. Journal of Biomechanics 29, Kinesiology Department, Indiana University, Bloomington, 1996.
- DEAKIN, Barry. Model Tests To Study Capsize and Stability of Sailing Multihulls. **The International Journal Of Small Craft Technology**, Southampton, v. 1, n. 1, p.145-150, jan. 2003.
- DORAN, Edwindwin. Wa, vinta, and trimaran. **Journal of the Polynesian Society**, Texas, v. 81, n. 2, 01 jan. 2015.
- ENOKA, Roger. M. **Bases neuromecânicas da cinesiologia**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2000.
- FISHTV. **Pesque kayak palmas vem aí**. 2015. Disponível em: <www.fishtv.com>. Acesso em: 25 mar. 2018.
- FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J.. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. West Lafayette: Ltc, 2004.

GARCIA, Abu. **ABU GARCIA® REVO® IKE LOW PROFILE**. 2018. Disponível em: <<http://www.abugarcia.com/abugarcia-reels/>>. Acesso em: 5 maio 2018.

GARCIA, Danilo. **Conceitos Básicos: Tipos de caiaque**. 2003. Disponível em: <<https://caiaqueoceanicobrasil.wordpress.com/2013/05/07/conceitos-basicos-tipos-de-caiaque/>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

GARCIA, Danilo. **Conceitos Básicos: Tipos de caiaque**. 2013. Disponível em: <<https://caiaqueoceanicobrasil.wordpress.com/2013/05/07/conceitos-basicos-tipos-de-caiaque/>>. Acesso em: 1 mar. 2018.

GIRARD, Pierre; VARGAS, Icléia. Turismo, desenvolvimento e saberes no Pantanal: diálogos e parcerias possíveis. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, p.61-76, dez. 2008.

GRAFTON, Thomas James. **The Roll Motion of Trimaran Ships**. 273 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Department of Mechanical Engineering, University College London, Londres, 2007.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Centro de massa. In: HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 1: Mecânica**. 10. ed. Cleveland: Wiley, 2009. Cap. 9. p. 218-221.

HOBIE. **Mirage Tandem Island**. 2018. Disponível em: <<https://www.hobie.com/br/en/kayaks/mirage-tandem-island/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **12217 - PARTE 3: Small craft — Stability and buoyancy assessment and categorization**. 3 ed. Geneva: ISO, 2015.

LARSSON, Lars; ELIASSON, Rolf. **Principles of Yacht Design**. 2. ed. Londres: Adlard Coles Nautical, 2000.

MARTIN-RAGET, Gilles. **BMW Oracle Racing**. 2009. Disponível em: <<http://www.adriaan.com/tag/americas-cup/page/4/>>. Acesso em: 20 maio 2018.

MESQUITA, João Lara. **Polinésios e grandes navegações, e a galinha**. 2014. Disponível em: <<https://marsemfim.com.br/os-polinesios-e-grandes-navegacoes/>>. Acesso em: 05 maio 2018.

MOTA, Óscar N. F.. **Engenharia e Arquitetura Naval**. Lisboa: Lisnave, 2017.

PARANÁ. **Paraná - Mar e Costa**. Subsídios ao ordenamento das Áreas Estuarinas e Costeiras do Paraná. Curitiba. 2006. ISBN 85- 62333-02-6. Disponível em: <<https://issuu.com/litoralpr/docs/name09f344>>. Acesso em: 29 out. 2017.

ROSSI, Sergio Ricardo G. **Projeto de Veleiro de Pequeno Porte em Plástico Rotomoldado**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SAFARIS, Sahara. **Kayaks**. 2018. Disponível em: <<https://sahasafaris.org/kayaks>>. Acesso em: 5 mar. 2018.

SCHACHT, Michael. **The Proa File Primer**. 2014. Disponível em: <<http://proafile.com/multihull-boats/article/the-proa-file-primer>>. Acesso em: 06 out. 2017.

SHUTTLEWORTH, John. **Multihull Design Considerations for Seaworthiness**. 2003. Disponível em: <<http://www.shuttleworthdesign.com/NESTalk.html>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

SIMPSON, Andrew. **Understanding the All-Revealing Gz Curves**. 2017. Disponível em: <<https://www.sailboat-cruising.com/gz-curves.html>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

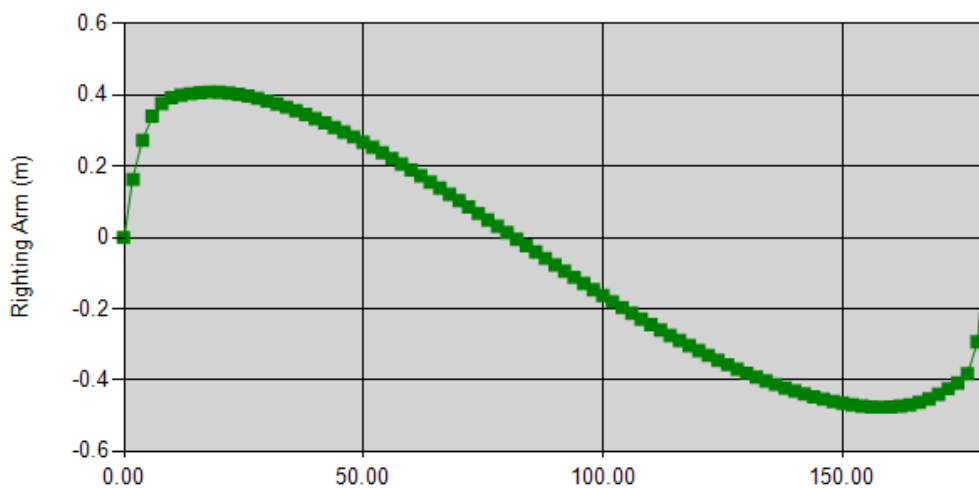
SPORTS, Kayak. **Caiaque Barracuda Vela**. 2018. Disponível em: <<http://kayaksports.com.br/site/caiaque-barracuda-vela/>>. Acesso em: 16 mar. 2018.

STEVENS, Ted. **Polin**. 2012. Disponível em: <<http://wavewalk.com/blog/tag/poling/page/5/>>. Acesso em: 8 mar. 2018.

TAONUI, Rāwiri. **Canoe navigation - Waka – canoes**: Te Ara - the Encyclopedia of New Zealand. Disponível em: <<http://www.TeAra.govt.nz/en/canoe-navigation/page-1>>. Acesso em: 04 out. 2017.

ANEXO A – Curvas de estabilidade

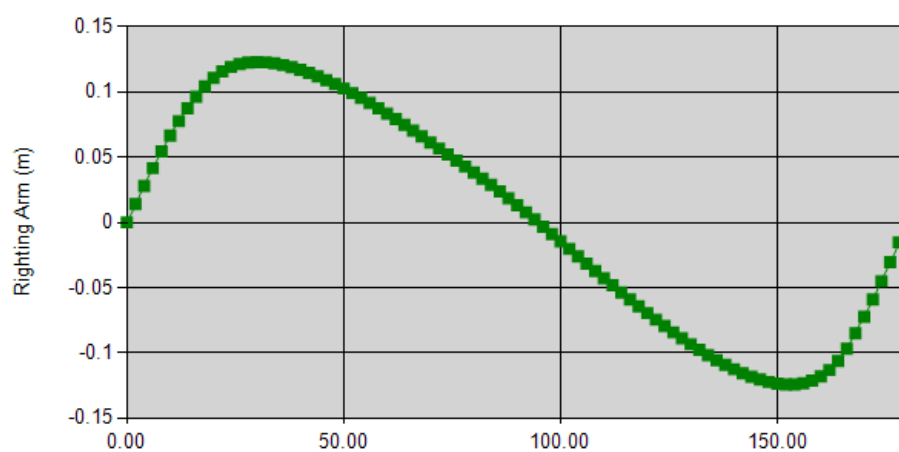
Figura 62 - Curva de estabilidade do trimarã analisado (praticante sentado)



Fonte: Autor (2018)

- Máximo momento restaurador = 112,2 Kg*m em 18 graus
- Máximo braço de endireitamento = 0,408 m em 19 graus
- Ângulo de emborcamento: 81 graus

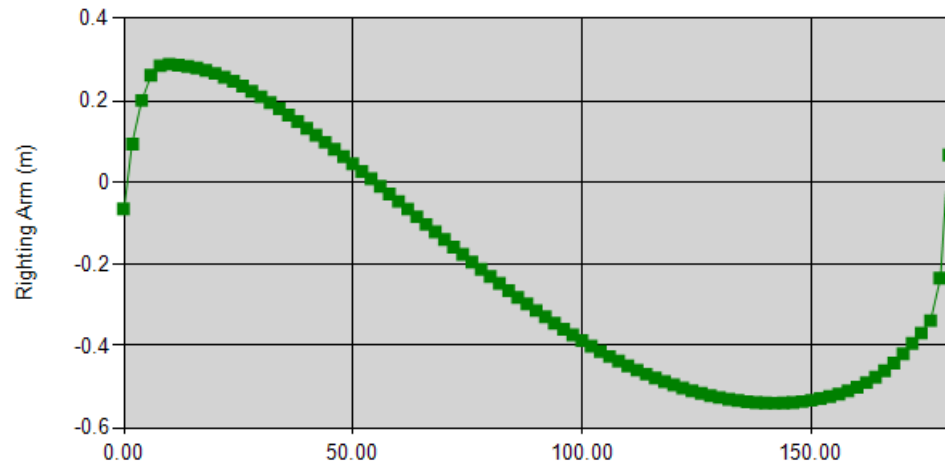
Figura 63 - Curva de estabilidade do casco central sem flutuadores e com o praticante sentado



Fonte: Autor (2018)

- Máximo momento restaurador = 18,8 Kg*m em 22 graus
- Máximo braço de endireitamento = 0,068 m em 21 graus
- Ângulo de emborcamento: 52 graus

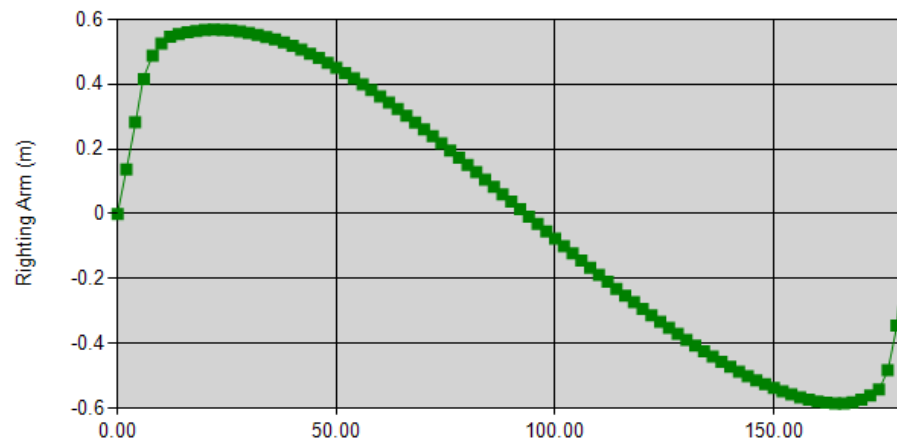
Figura 64 - Curva de estabilidade do trimarã analisado (praticante pescando)



Fonte: Autor (2018)

- Máximo momento restaurador = 79,5 Kg*m em 10 graus
- Máximo braço de endireitamento = 0,288 m em 10 graus
- Ângulo de emborcamento: 55 graus

Curva de estabilidade do trimarã analisado (sem o praticante em cima)



Fonte: Autor (2018)