

## PROJETO E PROTÓTIPO DE UMA EMBARCAÇÃO

GRELMANN, Douglas Claudionei<sup>1\*</sup>; VOLKEN; Eduardo Luís<sup>2</sup>; WEBER; Geovane<sup>3</sup>

<sup>1, 2</sup> FAHOR, Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

<sup>3</sup> FAHOR, Professor de Física e Dinâmica, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

\*E-mail: [dg001924@fahor.com.br](mailto:dg001924@fahor.com.br).

### RESUMO

A construção de uma embarcação exige conhecimentos básicos e específicos na área de Mecânica dos Fluidos, exigindo várias etapas desde um projeto até a execução do mesmo. Como o objetivo era de suportar peso e não ser para navegação, foi determinado um modelo estável e que suportasse o peso determinado.

**Palavras chave:** Estabilidade, Empuxo, Centro de carga, Pressão.

### PROJECT AND PROTOTYPE OF A VESSEL

#### ABSTRACT

A vessel construction requires basic and specific knowledge in the area of Fluid Mechanics. It demands several steps from project to execution. As the main goal was to support weight and not being for navigation, a stable model was determined to support the stable weight .

**Keywords:** Stability, Counter-attraction, Loading center, Pressure.

## 1 INTRODUÇÃO

O princípio da navegação humana se deu através da necessidade da pesca e a conquista de novos lugares e povos. Através dos tempos foram feitos inúmeros estudos ligados aos princípios que regem os fluidos e a navegação, desde Arquimedes até os softwares de computação gráfica utilizados atualmente.

Quando é feito o transporte de carga ou de passageiros os quais tem uma determinada massa e serão deslocados a certa altura, é necessário conhecer qual é a altura metacêntrica da embarcação, o calado, centro de gravidade e as condições de navegação do mar ou do rio.

Se um barco tem uma massa estabelecida, seu volume tem que ser grande o suficiente para deslocar o mesmo peso da água. O líquido reagirá então com uma força equivalente a massa, na direção oposta à do peso do barco. Essa força de sustentação contrária equilibra o barco e faz flutuar.

Uma embarcação para estar flutuando deve satisfazer as condições de equilíbrio: a soma de forças agindo sobre o corpo e a soma dos momentos das forças seja igual à zero. As forças que interferem na estabilidade da embarcação são então, empuxo e força da gravidade.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver e projetar um protótipo que atenda as seguintes orientações: o volume de carena de  $0,001\text{m}^3$  e o peso total da embarcação com carga de 981g, além de algumas características que potencializariam o resultado final do protótipo.

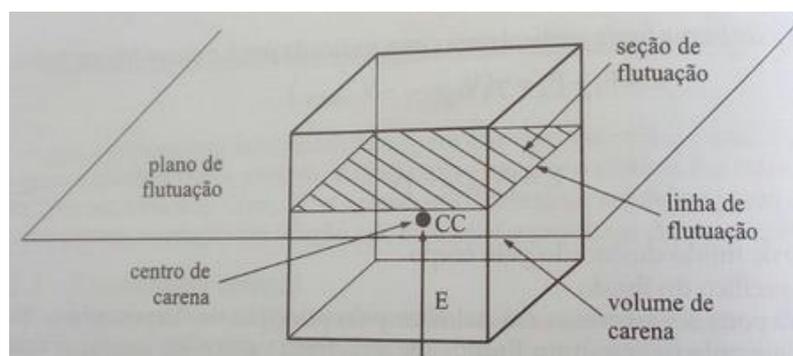
## 2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Todo o estudo da embarcação está relacionado ao estudo de pressão, principalmente a pressão exercida em diferentes tipos de fluido em repouso ou sob pressão natural, ou seja, a pressão atmosférica, como o ar e a água.

Para melhor entendimento, é interessante destacar alguns dos conceitos que podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1: Nomenclatura.



Fonte: BRUNETTI (2005).

*Corpo flutuante ou flutuador* é qualquer corpo que permanece em equilíbrio quando parcial ou totalmente imerso em um líquido.

*Plano de flutuação* é o plano horizontal da superfície livre do fluido.

*Linha de flutuação* é a intersecção do plano de flutuação com a superfície do flutuador.

*Seção de flutuação* é a seção plana cujo contorno é a linha de flutuação.

*Volume de carena (VC)* é o volume de fluido deslocado pela parte imersa do flutuador.

*Centro de carena (CC)* é o centro de pressão onde se aplica o empuxo.

*Metacentro (M)* pode ser definido como o ponto de encontro da linha vertical passando pelo centro de flutuação quando o navio está na posição direita, com a linha vertical que passa pelo CF quando o navio está inclinado de qualquer ângulo. O metacentro pode ser longitudinal e transversal.

De acordo com BRUNETTI, 2005, qualquer força aplicada sobre uma superfície pode ser decomposta em duas: uma tangencial, que origina as tensões e uma normal, que exerce as pressões. Quando essa força normal ( $F_n$ ) age sobre uma superfície de área qualquer ( $A$ ), origina-se uma pressão, conforme equação 1.

$$P = \frac{F_n}{A} \quad (\text{Equação 01})$$

Segundo a Lei de Pascal, a pressão aplicada em um ponto sobre um fluido é transmitida integralmente a todos os pontos desse mesmo fluido. Já o Teorema de Stevin afirma que a diferença de pressão entre dois pontos de um fluido em repouso se iguala ao produto das diferenças de cotas entre esses pontos ( $h$ ) e o peso específico do fluido ( $\gamma$ ), conforme equação 2.

$$P = h \cdot \gamma \quad (\text{Equação 02})$$

Todas as forças que agem sobre um corpo submerso, totalmente ou parcialmente, são normais. Essas forças são direcionadas ao centro de gravidade (CG) desse corpo. Como citado pelo Teorema de Stevin, as principais variáveis da pressão são a altura, o ponto de aplicação da somatória dessas forças, ou a força resultante, que se aplica diretamente no chamado Centro de Pressão (CP).

Um corpo em equilíbrio, as principais forças atuantes no CP estão na componente vertical. A primeira força que se pode destacar é a força peso ( $G$ ) do corpo. A segunda força é contrária à força peso. Se o somatório entre essas forças for com direção para cima, temos o chamado empuxo ( $E$ ).

$$E = Fy - G \quad (\text{Equação 03})$$

Sabendo que:

$$P = h \cdot \gamma \rightarrow \frac{F}{A} = h \cdot \gamma \quad \therefore F = \gamma \cdot h \cdot A = \gamma \cdot V \quad (\text{Equação 04})$$

Onde a área multiplicada por uma altura se obtém um volume. Com isso:

$$E = Fy - G = \gamma \cdot (V_{\text{corpo}} - V_{\text{deslocado}}) \quad (\text{Equação 05})$$

Ou:

$$E = \gamma \cdot V_{\text{deslocado}} \quad (\text{Equação 06})$$

Essa equação pode ser representada pelas palavras do princípio de Arquimedes: “*Em um corpo total ou parcialmente imerso em um fluido, age uma força vertical de baixo para cima, chamada empuxo, cuja intensidade é igual ao peso do volume de fluido deslocado*” (FONSECA, 2002).

Para a condição de empuxo, ou condição de flutuação, temos  $E \geq G$ . Caso  $G$  for maior que a força contrária, não existe empuxo e o corpo irá cair com velocidade reduzida até o fundo.

Em caso de equilíbrio, o corpo deve estar totalmente submerso e sem tocar o fundo, então:

$$E = G$$

$$\gamma_{\text{fluido}} \cdot V_{\text{deslocado}} = \gamma_{\text{corpo}} \cdot V_{\text{corpo}} \quad (\text{Equação 07})$$

As forças que atuam em um corpo parcialmente ou totalmente imerso em um fluido em repouso são a força  $G$ , cujo ponto de aplicação é o seu CG, e a força  $E$ , onde seu ponto de aplicação é o seu CC. Essas duas forças devem possuir a mesma intensidade, a mesma direção e sentidos opostos para que o flutuador se encontre estável e em equilíbrio.

Para isso é necessária uma análise da estabilidade vertical e da estabilidade de rotação de um corpo parcialmente submerso em equilíbrio.

Na estabilidade vertical, o flutuador se encontra em equilíbrio na situação em que  $E=G$ . Quando o peso do flutuador é aumentado, ou seja, onde  $E < G$ , a embarcação irá aumentar o VC até que volte a condição inicial,  $E=G$ , alterando seu volume submerso. Se for realizada a retirada de peso, o empuxo será maior, então  $E > G$  até entrar novamente em equilíbrio, diminuindo VC.

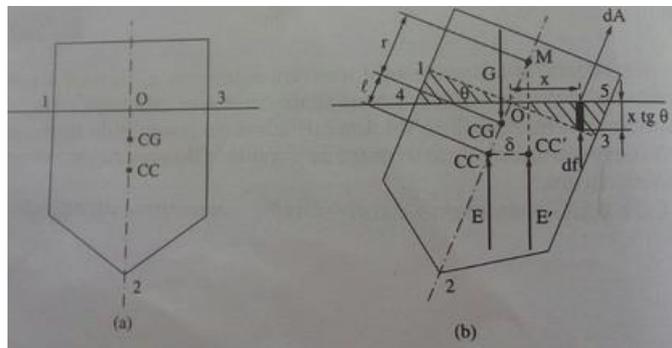
Na estabilidade de rotação, caso o flutuador receba uma força que o faça abandonar sua posição inicial de equilíbrio, girando em um pequeno ângulo em torno do seu eixo de rotação, ele deve voltar ao ponto inicial, caso não volte e se afaste, o equilíbrio é instável.

Essa rotação do corpo causa uma variação no formato do volume de carena, o que cria um deslocamento do CC tal que o equilíbrio pode ser estável, mesmo que esteja abaixo do CG, onde o empuxo será o responsável por trazer o flutuador ao ponto inicial, em caso de equilíbrio estável.

Condições de equilíbrio em relação a ponto M, metacentro:

- Se o ponto M estiver acima do CG, o equilíbrio é estável;
- Se o ponto M estiver abaixo do CG, o equilíbrio é instável;
- Se o ponto M estiver sobre o CG, o equilíbrio será indiferente.

Figura 02: Posição do metacentro.



Fonte: BRUNETTI (2005).

Portanto, quanto maior a distância do M em relação ao CG, desde que M esteja acima de CG, maior será a estabilidade do flutuador, essa distância é chamada de altura metacêntrica ( $r$ ). A distância entre o CG e o CC é definida pela letra  $l$ . Somando-se esse valor a  $r$  é obtido o raio metacêntrico.

(Equação 8)

$$E \cdot \delta = \gamma \cdot \tan \theta \cdot I_y$$

$$r + l = \frac{I_y}{V \cdot \cos \theta}$$

$$r = \frac{I_y}{V} - l \rightarrow \text{quando } \theta \text{ for pequeno e igual a } \theta, \text{ ou}$$

$$r = \frac{\gamma \cdot I_y}{G} - l$$

Onde:

$E$  = empuxo

$\delta$  = deslocamento do centro e carena

$\gamma$  = peso específico do fluido deslocado

$\theta$  = ângulo de inclinação

$I_y$  = momento de inércia da área da seção de flutuação

$r$  = altura metacêntrica

$l$  = distância entre o CC e o CG

$V$  = volume de fluido deslocado

$G$  = peso do flutuador.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para coleta de informações e auxílio na realização dos cálculos para definição de alguns detalhes da geometria.

Duas características da embarcação foram definidas como pré requisitos de projeto, o volume de carena de  $0,001\text{m}^3$  e o peso total da embarcação com carga de 981g, além de algumas características que potencializariam o resultado final do protótipo.

Antes de determinar o dimensional do barco, calculando o empuxo com as informações do volume de carena (VC) e o volume total do barco (Vt), é possível encontrar a massa total que o barco pode carregar, encontrando a densidade da embarcação.

$$E > G$$

$$\gamma_{\text{fluido}} \cdot VC > \gamma_{\text{barco}} \cdot Vt$$

$$(1000 \cdot 9,81) \cdot 0,001 > \gamma_{\text{barco}} \cdot 0,01$$

$$981 \frac{N}{m^3} > \gamma_{\text{barco}} \quad \therefore \quad \gamma_{\text{barco}} < 981 \frac{N}{m^3}$$

Com o peso específico do barco para calcular a densidade e posteriormente a massa, temos que:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad \therefore \quad \rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{981}{9,81} = 100 \frac{kg}{m^3}$$

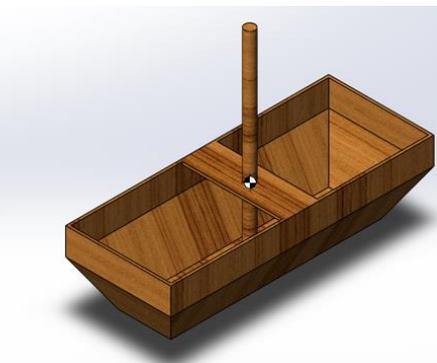
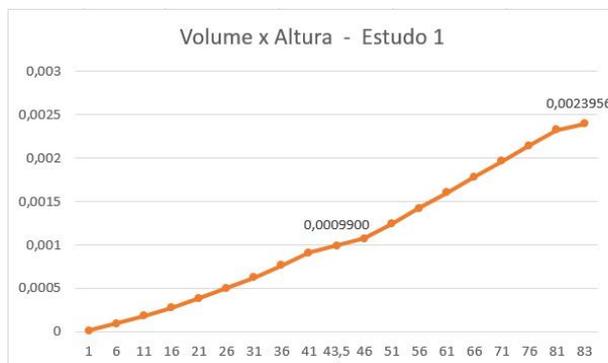
$$\rho = \frac{m}{V} \quad \therefore \quad m = \rho \cdot V = 100 \cdot 0,01 = 1kg$$

Essa seria a massa total da embarcação, sendo peso do barco mais a carga. Foi definido em sala de aula que o peso máximo da embarcação deveria ser de 981 gramas.

A partir dessas informações, foi criada uma tabela no software Excel para definir a geometria, tentando ao máximo chegar no Vt de  $0,01\text{m}^3$ , considerado o volume ideal. Após a definição do volume total, foram feitos estudos no software SolidWorks™ com diversas geometrias, levando em consideração principalmente a relação obtida entre a altura total da embarcação e o volume de carena.

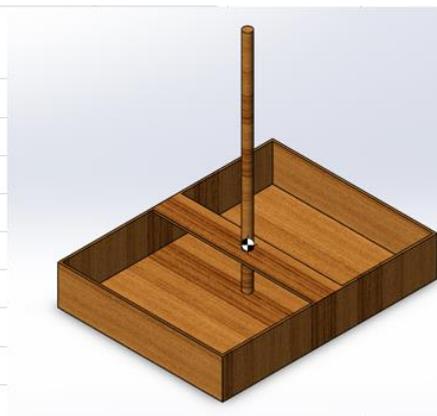
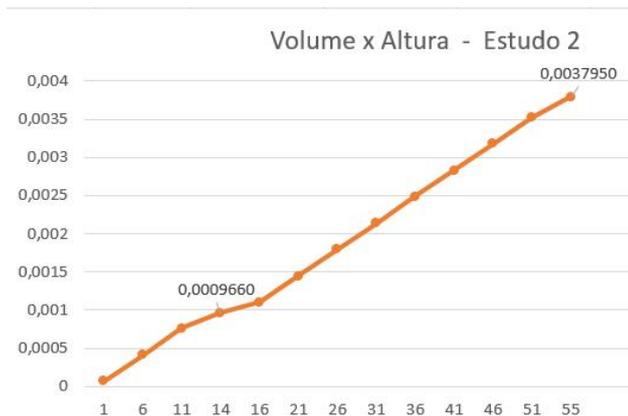
Essas geometrias geraram volumes e massas diferentes, a partir desses valores foi calculada a estabilidade, para então finalmente definir a geometria escolhida. A seguir temos alguns exemplos de geometrias que foram consideradas durante o decorrer do projeto, sempre levando em conta os valores pré definidos e o desafio do projeto, de carregar o maior peso possível com o menor volume possível.

Figura 03: Estudo 01.



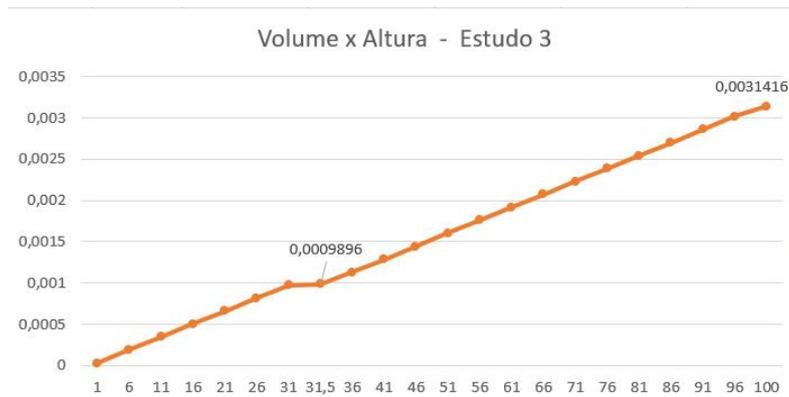
Fonte: Os autores (2018)

Figura 04: Estudo 02.



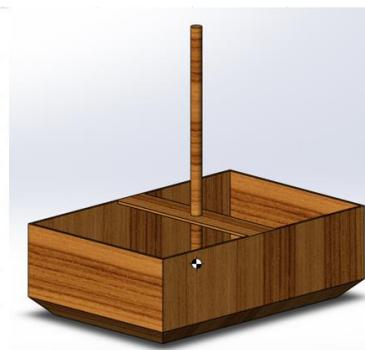
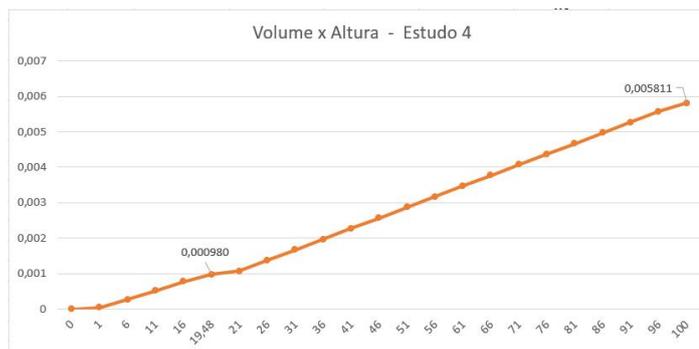
Fonte: Os autores (2018)

Figura 05: Estudo 03.



Fonte: Os autores (2018)

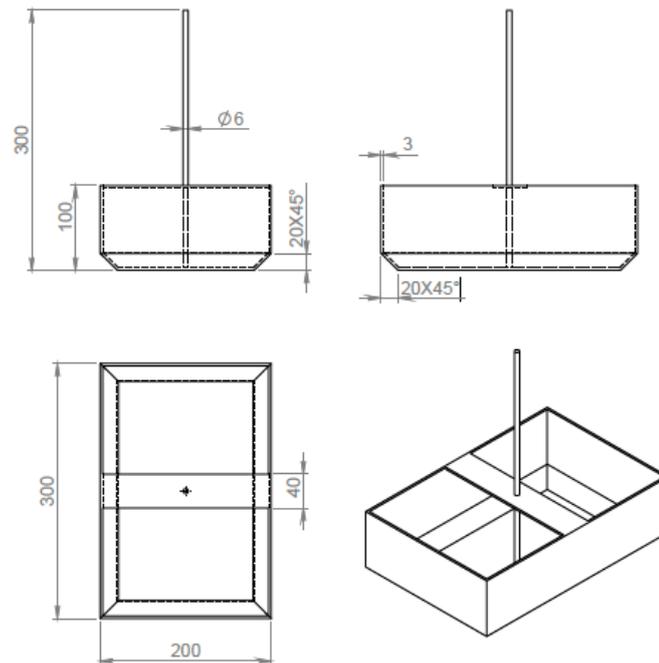
Figura 06: Estudo 04.



Fonte: Os autores (2018)

Durante essa etapa, foi definido pela equipe que o modelo que apresentou resultados mais satisfatórios foi o número 4.

Figura 07: Dimensões da embarcação.



Fonte: Os autores (2018)

Como o intuito da embarcação era suportar peso e se manter estável em relação a uma inclinação máxima de 15°, e não para navegação, primeiramente a geometria foi desenhada na forma de um paralelepípedo, mas para aumentar a profundidade e ganhar mais estabilidade foram feitos alguns chanfros, ganhando assim profundidade no volume de carena. Como já temos o volume real do barco calculado pelo programa SolidWorks™, é possível recalcular qual será o volume de carena com a massa total de 0,98 kg.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,98}{0,005811} = 168,65 \frac{kg}{m^3}$$

$$\gamma = \rho \cdot g = 168,65 \cdot 9,81 = 1654,41 \frac{N}{m^3}$$

E por fim:

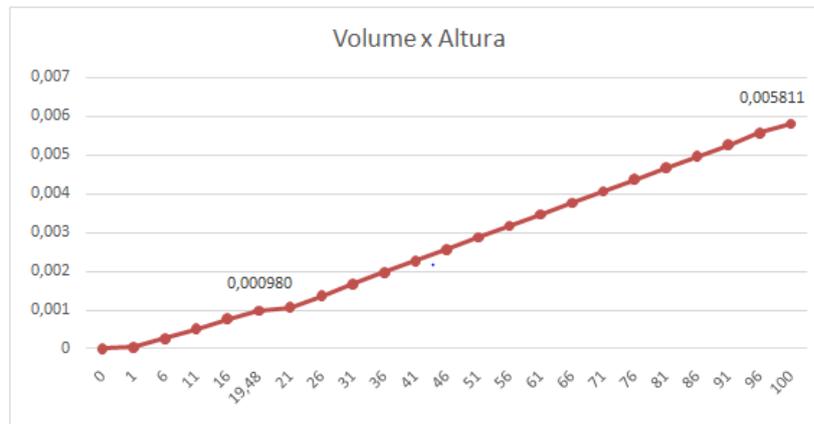
$$\gamma_{fluido} \cdot VC = \gamma_{barco} \cdot Vt$$

$$(1000 \cdot 9,81) \cdot VC = 1654,41 \cdot 0,005811$$

$$VC = 0,00098m^3$$

No programa SolidWorks™ foram coletados alguns dados para criação um gráfico relacionando o volume do barco em relação a sua altura a cada milímetro partindo do fundo do barco.

Figura 08: Gráfico de volume x altura.



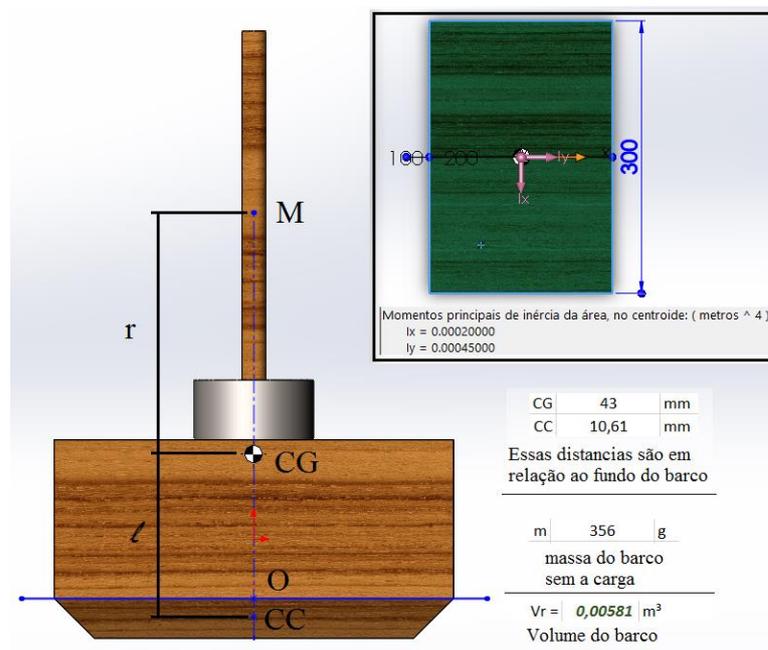
Fonte: Os autores (2018)

O gráfico destaca qual o volume máximo do barco ( $V_t$ ) na altura de 100mm, e o volume de carena de  $0,00098\text{m}^3$  na altura de 19,48mm, essa é a medida que será demarcada no barco.

Com definição da melhor geometria, foram iniciados os cálculos de estabilidade. Conhecendo os centros de carena e gravidade do barco com carga máxima, que foram obtidos através do programa SolidWorks™, foi calculado o metacentro (M).

As informações apresentadas na Figura 09 consideram a embarcação em equilíbrio, na posição normal.

Figura 09: Informações da embarcação em posição de equilíbrio.



Fonte: Os autores (2018)

Nota-se que todas as medidas dos centros de pressões são a partir da parte inferior do casco, e o para o cálculo do ponto M começa calculando  $r$ .

$$r = \frac{\gamma \cdot I_{longitudinal}}{G} - l$$

$$r = \frac{9810 \cdot 0,0002}{(0,98 \cdot 9,81)} - (0,094 - 0,0106) = 0,12069m = 120,7mm$$

Portanto a altura do fundo do barco até o ponto M (HM) no sentido longitudinal é de:

$$HM_{long} = 120,7 + 94 = 214,7mm$$

Calculando a altura do ponto M no sentido transversal, só usar o momento de inércia transversal, o qual então o  $HM_{trans}$  é igual a 469,8mm. Dessa forma, se considera o ponto M menor, para evitar que o flutuador seja instável.

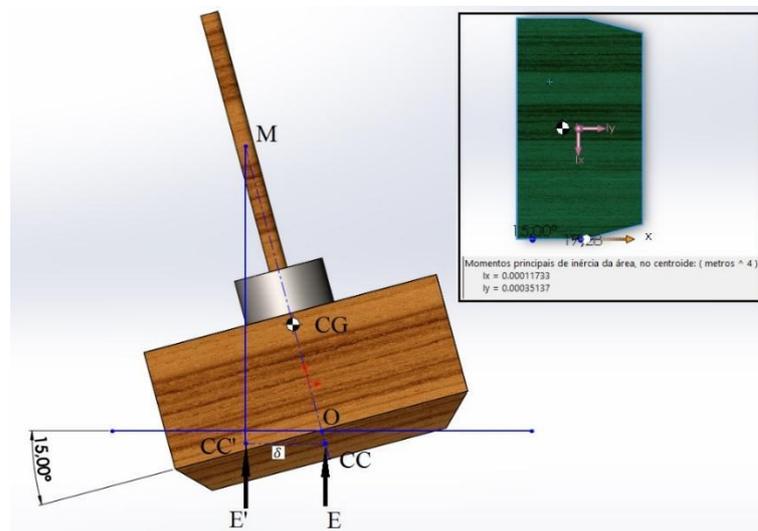
Considerando a inclinação máxima do barco de  $15^\circ$  é possível calcular a nova posição do centro de carena, ou seja, o quanto ele irá deslocar.

$$E \cdot \delta = \gamma \cdot \tan \tan \theta \cdot I_{long} \quad \therefore \quad \delta = \frac{\gamma \cdot \tan \tan \theta \cdot I_{long}}{\gamma_{barco} \cdot Vt}$$

$$\delta = \frac{9810 \cdot \tan \tan (15) \cdot 0,00013593}{1654,41 \cdot 0,005811} = 0,0372m = 37,2mm$$

Calculado com o Momento de Inércia longitudinal, para o transversal a distância é de 101,3mm. Esses valores de momento de inércia foram obtidos através do SolidWorks™, e podem ser melhor observados na Figura10.

Figura 10: Informações da embarcação com inclinação de 15°.



Fonte: Os autores (2018)

Após todas as informações calculadas, foi então iniciada a construção do protótipo. Os materiais utilizados foram MDF, selador para madeira, adesivo tipo super-bonder e aço. O MDF foi cortado através do processo de à corte laser, para melhor precisão. Após o corte, algumas laterais foram lixadas e foi então realizada a união das peças utilizando um adesivo tipo super-bonder. Para isolamento do MDF, foi utilizado um selador para madeira, assim o casco da embarcação não teria problemas com infiltração de água. Para fabricação da carga, uma peça de aço 1020 foi usinada em formato cilíndrico com o intuito de facilitar sua locomoção através do mastro da embarcação.

O objetivo do trabalho foi construir uma embarcação com volume de carena de 0,001m<sup>3</sup>, que transportasse a maior quantidade de carga com o menor volume ocupado possível, que flutuasse na água e fosse estável a uma inclinação mínima de 15 graus.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o desenvolvimento do projeto de uma embarcação, através do software SolidWorks™, após tentativas com algumas formas diferentes de cascos, optamos por uma embarcação que atenderia a necessidade pré-definida, levando em conta os requisitos listados pelo orientador.

Quadro 01: Comparativo com os resultados de projeto x protótipo.

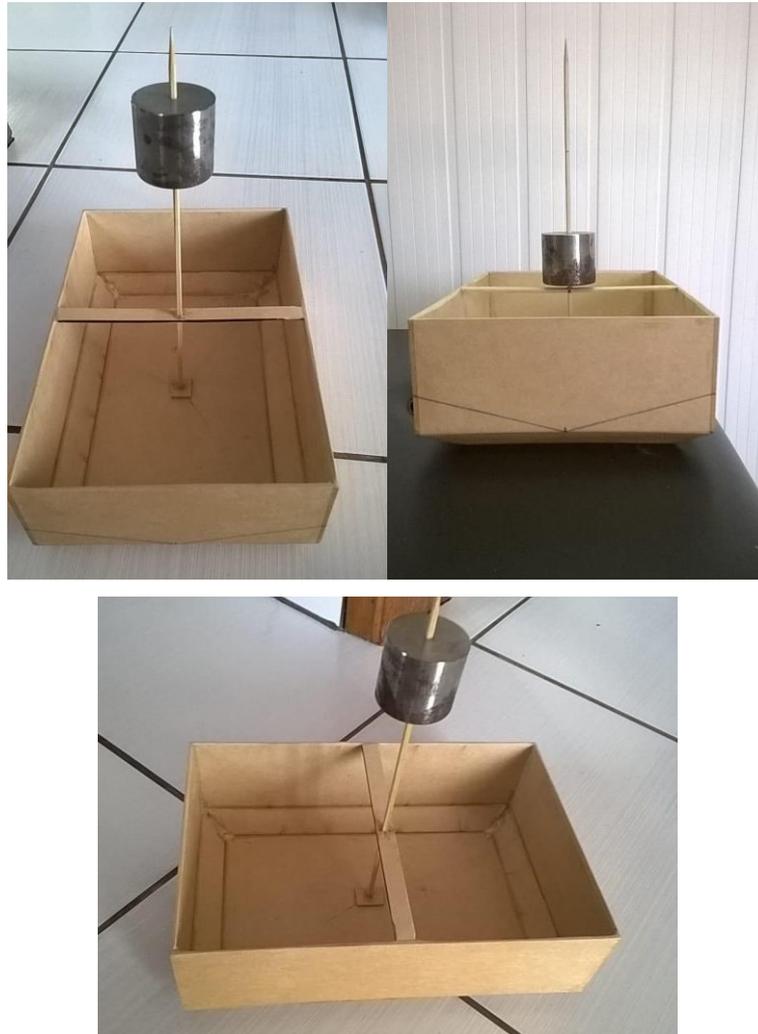
<b>Dado</b>	<b>Projetado</b>	<b>Real</b>
Largura (mm)	200	200
Comprimento (mm)	300	300
Altura casco (mm)	100	100
Altura haste (mm)	300	290
Massa da embarcação (g)	355	363
Massa da carga (g)	625	617
Altura metacêntrica (mm)	214,7	214,7
Momento de Inércia x ( $m^4$ )	0,0002	0,0002
Momento de Inércia y ( $m^4$ )	0,00045	0,00045

Fonte: Os autores (2018)

Após a construção do barco, foram feitos, a pesagem do mesmo, testes de flutuação e estabilidade. Atendendo as expectativas do grupo de estudo, houve apenas uma variação de massa do barco, que projetado no software pesaria 356 gramas e chegou a 363 gramas após ser resinado com selador nítrico para madeira, utilizando-se um contrapeso de 617 gramas para manter o barco estável chegando a uma massa total da embarcação com a carga de 980 gramas.

O formato do casco do barco foi calculado chega-se ao volume deslocado de água de  $0,0001 m^3$ , que fica sob a linha a qual o casco do barco tem a forma de um tronco de pirâmide invertido, atendendo os requisitos estabelecidos pelo orientador.

Figura 11: Protótipo.



Fonte: Os autores (2018)

## CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste projeto foi muito importante para aprimorar e aplicar os conhecimentos adquiridos no decorrer do curso de engenharia mecânica, com ênfase na disciplina de Mecânica dos Flúídos, nota-se a aplicação da engenharia no dia-a-dia, e principalmente, neste trabalho, voltado para a arquitetura naval, a qual engloba os mais variados assuntos, e o conhecimento é imprescindível de uma área, a qual é usada para construir embarcações desenvolvidas apenas para o lazer, até navios trans-oceânicos utilizados como principal meio de transporte de cargas entre os continentes banhados por mares.

Portanto, para uma melhor estabilidade do barco o centro de gravidade deve estar abaixo do centroide, mas se o mesmo estiver acima o corpo imerso ficará em equilíbrio

indiferente, ou seja, se qualquer perturbação fizer o corpo se mover lateralmente, ele não retornará a sua posição de equilíbrio e assim pode “tombar” ou virar.

Com os resultados analisados na prática todos os objetivos foram alcançados, todos os valores que foram calculados no projeto foram alcançados com a construção do protótipo.

### **REFERÊNCIAS**

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos**. 2ª Ed., São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2008.

FONSECA, M M. **Arte Naval - Volume 1**. Rio de Janeiro, RJ. Serviço de Documentação da Marinha, 1985.