

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROJETO DE GRADUAÇÃO – ENGENHARIA MECÂNICA**

**AMILCAR MANGUEIRA AGUILAR JUNIOR**

**NÍCOLAS GIRELLI BÖING**

**Projeto e desenvolvimento de embarcação movida a  
força humana**

**VITÓRIA  
2006**

AMILCAR MANGUEIRA AGUILAR JÚNIOR

NÍCOLAS GIRELLI BÖING

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE EMBARCAÇÃO  
MOVIDA A FORÇA HUMANA**

Projeto de graduação apresentado ao  
Departamento de Engenharia Mecânica da  
Universidade Federal do Espírito Santo  
como requisito para obtenção do Grau de  
Engenheiro Mecânico.  
Orientador: Prof. Mestre Elias Dalvi

**VITÓRIA  
2006**

AMILCAR MANGUEIRA AGUILAR JÚNIOR

NÍCOLAS GIRELLI BÖING

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE EMBARCAÇÃO  
MOVIDA A FORÇA HUMANA**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Orientador: Prof. Mestre Elias Dalvi

---

Profº Mestre Flávio José da Silva

---

Profº Dr. Juan Sérgio Romero Saenz

Vitória, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2006

**“Há homens que lutam um dia, e são bons. Há outros que lutam um ano, e são melhores. Há os que lutam muitos anos, e são muito bons. Porém há os que lutam todos os dias, estes são os imprescindíveis.”**

**Berthold Brecht**

## **RESUMO**

Consiste no desenvolvimento de projeto e construção de uma embarcação simples e barata, para uso em situações de lazer e trabalho, movida a força humana, através da força das pernas em pedais. Foi desenvolvida utilizando técnicas de engenharia mecânica e naval, sempre procurando opções simplificadas e utilizando-se de análise de materiais e técnicas construtivas visando obter um baixo custo de produção e manutenção. Testes foram realizados comprovando a eficácia da embarcação.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\tau_{adm}$  - Tensão de cisalhamento admissível  
 $\sigma_e$  - Tensão de escoamento  
 $\sigma_{max}$  - Tensão Máxima  
 $c$  – distância entre a linha neutra à face mais externa do perfil  
 $CS$  – Coeficiente de segurança  
 $D$  – Diâmetro da hélice  
 $DL\ ratio$  – Coeficiente entre o peso total da embarcação e o comprimento de sua linha d'água  
 $E$  – Empuxo  
 $I$  – Momento de inércia  
 $L$  – Comprimento da linha d'água e do cilindro  
 $m_f$  – massa do fluido  
 $M_{máx}$  – Momento fletor máximo  
 $n$  – rotação do eixo  
 $p$  – Passo teórico  
 $P$  – Peso total da embarcação  
 $PE$  – Potência disponível no eixo  
 $pr$  – Passo real  
 $SL\ ratio$  – Coeficiente entre a velocidade e o comprimento da linha d'água  
 $Slip$  – Perdas devido ao escorregamento  
 $T$  – Torque  
 $V$  – Velocidade máxima alcançada pela embarcação  
 $V_f$  – Volume do fluido  
 $V_t$  – Volume total dos dois cilindros de PVC  
 $\rho_f$  – Densidade da água

## LISTA DE UNIDADES

$cm$  – Centímetros  
 $HP$  – Horse Power  
 $Kg$  – Quilograma  
 $Kg/m^3$  – Quilograma por metro cúbico  
 $Kgf$  – Quilograma força  
 $m$  – Metro  
 $m^3$  – Metro cúbico  
 $mm$  – Milímetro  
 $N$  – Newton  
 $N\cdot m$  – Newton metro  
 $rpm$  – Rotações por minuto  
 $W$  - Watt

## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 – CRONOGRAMA .....</b>	<b>8</b>
<b>3 – DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 – DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.1 – TABLADO.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.2 - VIGAS.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.2.1 - MEMORIAL DE CÁLCULO DAS VIGAS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.3 – FLUTUADORES .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1.4 – LEME .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE PROPULSÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.1 – POTÊNCIA DISPONÍVEL .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.2 – DIMENSIONAMENTO DA HÉLICE .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.2.1 – SISTEMA DE TRANSMISSÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.2.2 – DIÂMETRO DA HÉLICE .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2.3 – PASSO DA HÉLICE .....</b>	<b>19</b>
<b>4 – MÉTODOS CONSTRUTIVOS.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1 – SISTEMA ESTRUTURAL .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 – SISTEMA PROPULSOR.....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 – SISTEMA DIRECIONAL .....</b>	<b>26</b>
<b>5 – TESTES .....</b>	<b>26</b>
<b>6 – CONCLUSÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>7 – BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>29</b>
<b>APÊNDICE A – DESENHO DA VIGA PARA FABRICAÇÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>APÊNDICE B – CATÁLOGO INCOMETAL DE TUBOS DE ALUMÍNIO RETANGULARES .....</b>	<b>31</b>

## 1 – INTRODUÇÃO

Durante todo o curso de engenharia mecânica, são fornecidos métodos para a construção e projeto de máquinas. Baseado nestes preceitos foi idealizado e realizado o projeto de desenvolvimento e construção da embarcação movida à tração humana citada neste trabalho, com o objetivo de avaliar nossos conhecimentos na área de projeto e construção de equipamentos.

Vale citar que o projeto já havia sido iniciado anteriormente em outro trabalho (BASTOS E ALBANI, 2004), voltando os esforços para possíveis aperfeiçoamentos na embarcação, bem como no projeto de outros sistemas encontrados na mesma, tais como, o sistema direcional e o sistema de propulsão. O trabalho também teve como objetivo a construção e a realização de testes e divulgação dos resultados obtidos.

Foram adotados procedimentos encontrados em livros para dimensionamento de componentes utilizados em embarcações. Vários dos quais foram reavaliados devido ao fato da embarcação ser movida a força humana, e consequentemente ter uma potência desenvolvida muito pequena.



## 2 – CRONOGRAMA

Para o desenvolvimento do projeto, partiu-se do pressuposto que o prazo final do período seria no final de Julho, logo foi desenvolvido um cronograma inicial do trabalho mostrando as várias fases do projeto, como mostrado na figura 1.

Tarefa:	ABRIL		MAIO				JUNHO				JULHO			
	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Revisão Bibliográfica														
Elaboração da apresentação escrita														
Elaboração da apresentação digital														
Estudo de melhorias														
Projeto da embarcação														
Construção da embarcação														
Testes														
Avaliação dos testes														

Figura 1: Cronograma do Projeto

- Revisão Bibliográfica:

Consiste no estudo da bibliografia necessária e no desenvolvimento da concepção inicial, dando base para avaliar nosso cronograma inicial, o que mostrou estar bem coerente.

- Elaboração da apresentação escrita:

É um trabalho constante onde são escritos toda a concepção e desenvolvimento, assim como resultados ao longo de todo o projeto, com uma pequena pausa para desenvolvimento da apresentação digital à banca avaliadora e uma posterior conclusão e fechamento do trabalho.

- Elaboração da apresentação digital:

Trabalho desenvolvido para melhor visualização de todo o projeto.

- Estudo de melhorias:

Tempo dado para eventuais alterações ou mesmo reparos de peças danificadas ou mal dimensionadas.

- Projeto da embarcação:

Nesta etapa são apresentados os cálculos dimensionais e desenhos esquemáticos dos componentes necessários ao funcionamento da embarcação, ditando as especificações técnicas. Constitui uma das partes mais importante do desenvolvimento do projeto de graduação.

- Construção da embarcação:

Tempo destinado à construção e montagem de todas as peças e suas possíveis alterações construtivas necessárias.

- Testes:

Destinado à utilização da embarcação na água e observação de possíveis falhas e resultados.

- Avaliação dos testes:

Nesta etapa os resultados obtidos serão analisados e, se necessário, também serão elaboradas pequenas modificações de projeto para obtenção de melhores resultados.

Contudo o tempo do calendário oficial não foi condizente com nosso suposto tempo, estando então algumas fases do projeto comprometidas e/ou sujeitas a mudanças, o que prejudicou bastante o nosso progresso.

### **3 – DESENVOLVIMENTO**

Como pontos de partida foram adotados alguns parâmetros básicos que funcionarão como as necessidades que devem ser atendidas pela embarcação, tais como a capacidade de carga e as dimensões aproximadas:

- Carga máxima (com tripulante) = 150 kg
- Dimensões aproximadas = 3 m de comprimento  
1,5 m de largura  
1 m de altura

Com esses dados foram dimensionadas as principais partes de uma embarcação, que são o sistema de propulsão, o sistema direcional e a parte estrutural.

### **3.1 – Dimensionamento da estrutura**

O sistema estrutural tem a função de sustentar os componentes em cima dos flutuadores e também dar resistência à embarcação.

O primeiro passo a ser feito no dimensionamento estrutural da embarcação é a seleção do material a ser utilizado na estrutura em si. Como ponto de partida para a seleção do material que melhor se encaixaria com as necessidades do projeto, foi necessário supor as condições de uso em que a embarcação se encontrará (ambiente marinho, altamente agressivo).

#### **3.1.1 – Tablado**

Para sustentar todo o sistema propulsor e o assento, assim como dar fixação às vigas estruturais, o tablado da embarcação de dimensões 2,2 m de comprimento por 1,1 m de largura foi feito de madeira compensada. Esta escolha se deu pela facilidade de obtenção e boas características de manuseio, sendo ideal para a fixação de todos os componentes e acessórios.

#### **3.1.2 - Vigas**

Considerando o ambiente no qual será usado a embarcação, o material das vigas deverá ter boas propriedades de resistir aos efeitos corrosivos das águas marinhas e/ou pluviais, além de ser suficientemente leve para não sobrecarregar os flutuadores, diminuindo a capacidade de carga, e manter o projeto mais fácil de manejo e transporte. Deve ser também de fácil obtenção e de baixo custo, afim de facilitar a manutenção.

Optou-se então pela utilização de uma liga de alumínio, pela sua baixa densidade, seu baixo custo, suas boas propriedades mecânicas e sua capacidade de resistir a várias condições adversas do meio através da passivação superficial do material.

Com o material a ser utilizado definido, a próxima etapa é a análise do formato a ser utilizado. A disponibilidade de vigas previamente feitas, limitou esta etapa a verificar se a utilização das mesmas seria suficiente para utilização no projeto ou se melhor seria montar novas vigas diferentes. Como mostram as figuras 2 e 3.

As dimensões da viga podem ser encontrado no anexo A.

Análise das vigas pré-existent:

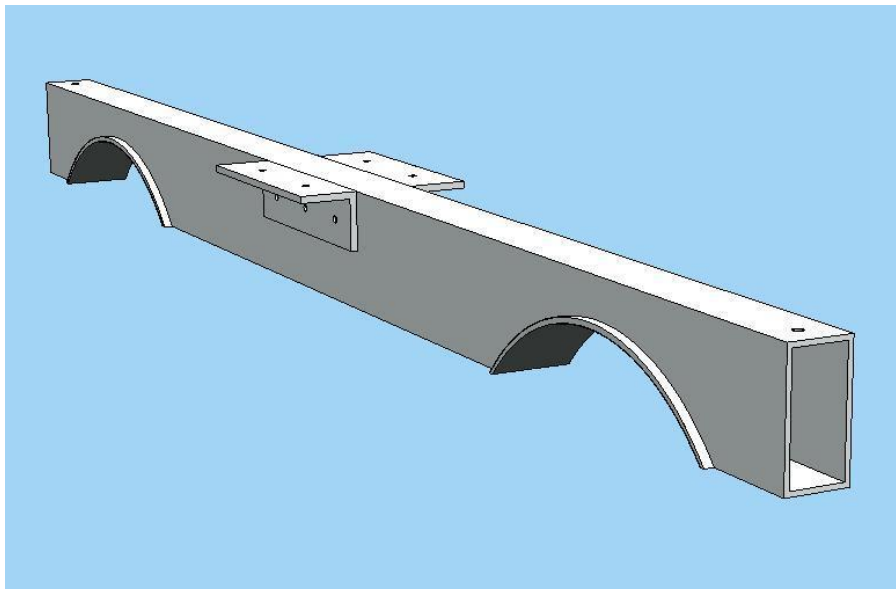


Figura 2: Desenho da viga no programa Solid Edge V18

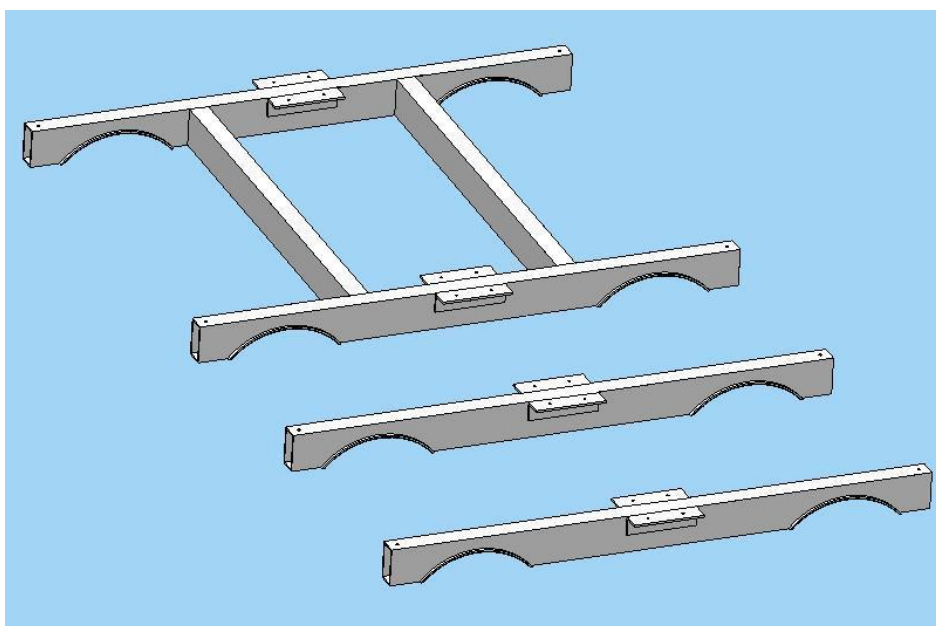


Figura 3: Desenho das vigas no programa Solid Edge V18

Como medida de segurança, a análise foi feita supondo que uma viga estaria sujeita à toda carga máxima da embarcação, 150kg, aplicada no centro da mesma. Para esta análise foram utilizados programas computacionais embasado na teoria de resistência dos materiais.

A figura 4 mostra a análise preliminar do perfil na horizontal e na vertical.

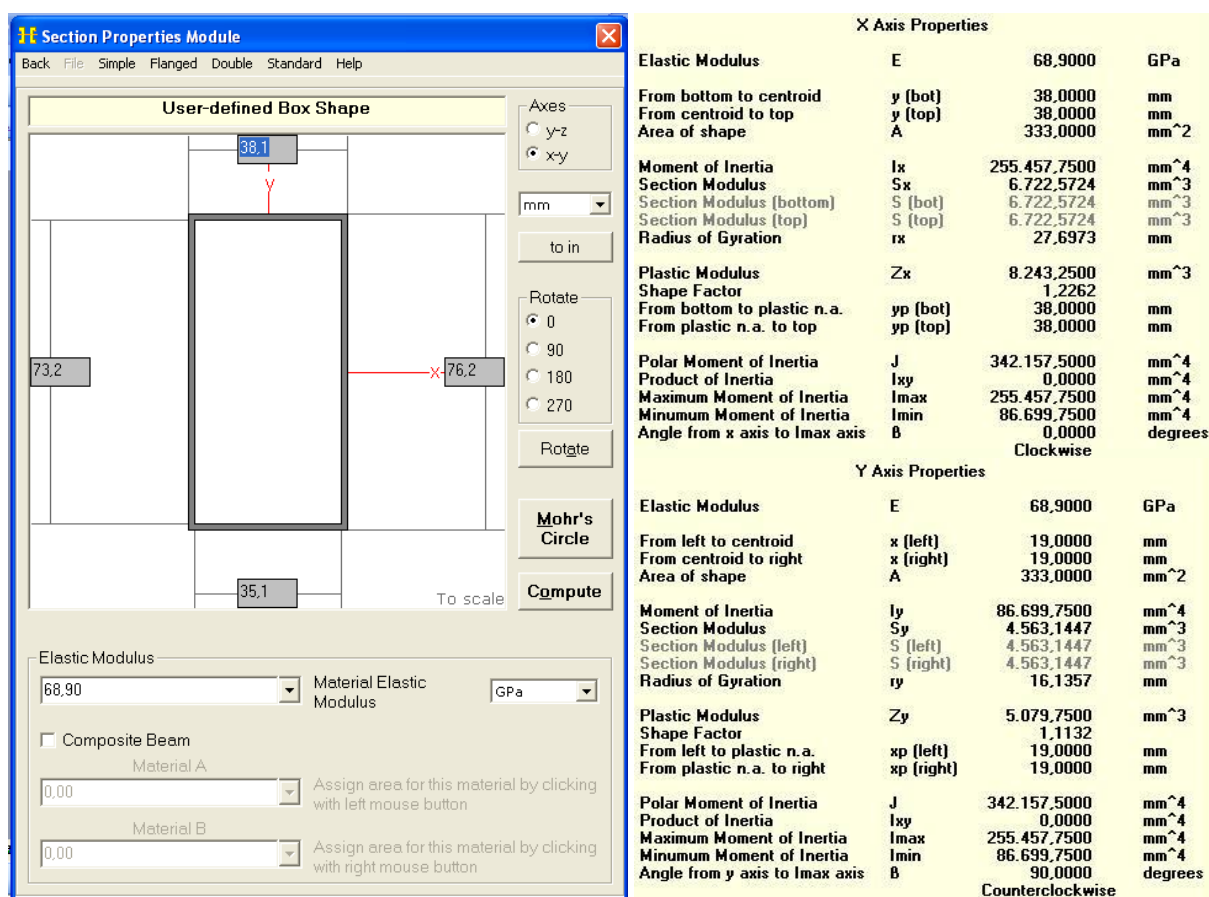


Figura 4: Características da Viga através do MDSolids 3.0

Observando que o maior momento de inércia da viga se encontra no eixo x, optou-se por utilizá-la na vertical, visto que as cargas de maior importância envolvidas na embarcação seriam aplicadas na direção vertical.

Fez-se então uma análise da viga na configuração de carregamento de projeto.

Pelo programa computacional MDSolids 3.0, observa-se na figura 5 os vários diagramas para o carregamento da viga.

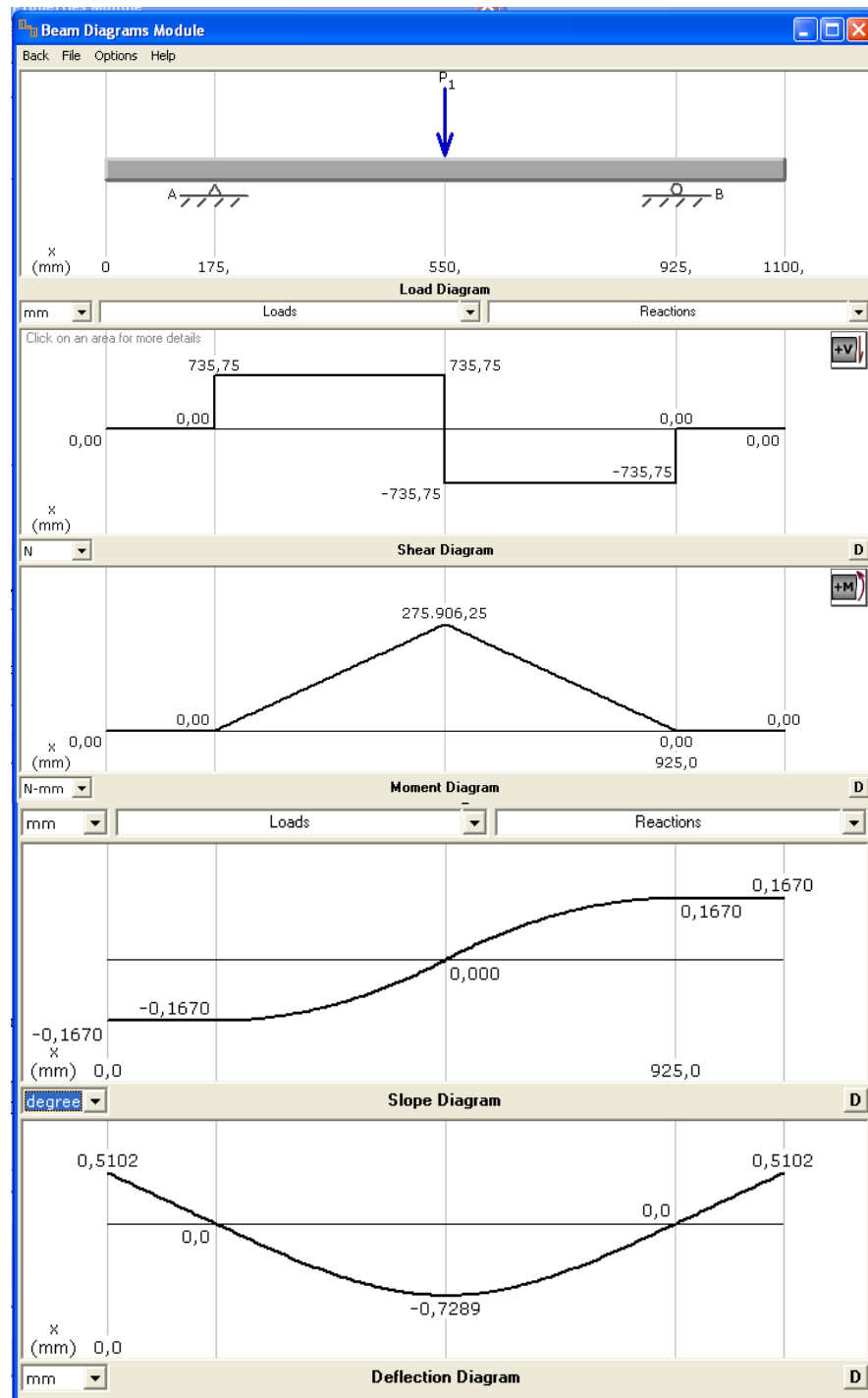


Figura 5: Diagrama de carga, diagrama de esforços cortantes, diagrama de momento fletor, diagrama de ângulo de inclinação e diagrama de deflexão, respectivamente.

### 3.1.2.1 - Memorial de cálculo das vigas

Sendo gravidade = 9,81 m/s<sup>2</sup>:

$$P = m \times g \quad (1)$$

$$P = 150 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$P = 1471,5 \text{ N}$$

Equações de equilíbrio:

Somatório de forças (direção y):

$$\Sigma F_y = 0$$

$$A_y + B_y = 1.471,50 \text{ N}$$

Somatório de momentos (em relação ao ponto A):

$$\Sigma M_a = 0$$

$$(750,00 \text{ mm}) B_y = 1.471,50 \text{ N} \times 375,00 \text{ mm}$$

Logo, temos:

$$A_y = 735,75 \text{ N (para cima)}$$

$$B_y = 735,75 \text{ N (para cima)}$$

Cálculo do momento máximo:

Pelo gráfico da figura 5 temos que não há momento antes do ponto  $x = 175 \text{ mm}$ , logo o cálculo do momento máximo se dá por:

$$M_{\text{máx}} = 1471,5 \text{ N} \times (550 \text{ mm} - 175 \text{ mm}) / 2$$

$$M_{\text{máx}} = 275906,06 \text{ N-mm}$$

Cálculo da inclinação:

$$EI * \frac{dy}{dx} = \frac{A_y}{2} < x - 175 >^2 + \frac{B_y}{2} < x - 925 >^2 - C1 - \frac{P}{2} < x - 550 >^2$$

C1 é calculado levando em consideração as condições de contorno, onde  $dy/dx = 0$  quando  $x = 550 \text{ mm}$ .

$$EI * \frac{dy}{dx} = \frac{735,75}{2} < x - 175 >^2 + \frac{735,75}{2} < x - 925 >^2 - (51732421,88) - \frac{1471,5}{2} < x - 550 >^2$$

Integrando a equação acima, temos a equação da deflexão:

$$EI * y = \frac{A_y}{6} < x - 175 >^3 + \frac{B_y}{6} < x - 925 >^3 - C1 * x + C2 - \frac{P}{6} < x - 550 >^3$$

O cálculo de C2 é feito levando em conta que nos pontos de apoio, a deflexão é nula.

$$EI * y = \frac{735,75}{6} < x - 175 >^3 + \frac{735,75}{6} < x - 925 >^3 - 51732421,88 * x + 9053173828,13 - \frac{1471,5}{6} < x - 550 >^3$$

A deflexão máxima da viga ocorrerá no ponto de aplicação da força, bastando adotar  $x = 550 \text{ mm}$ , como prova a figura 5.

Cálculo das tensões máximas nas vigas:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} * c}{I} \quad (2)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{275906,06 * 0,0381}{2,555 * 10^{-7}}$$

$$\sigma_{\max} = 41,14 \text{ MPa}$$

Comparando com a tensão de escoamento do alumínio ( $\sigma_e$ ) fornecida no catálogo no anexo A, temos:

$$CS = \frac{\sigma_e}{\sigma_a} \quad (3)$$

$$CS = \frac{145,19}{41,14}$$

$$CS = 3,53$$

Porém, isto nos mostra apenas o resultado para a condição crítica de projeto, sem levar em conta a distribuição do peso ao longo das outras vigas e nem o efeito de distribuição dos esforços oferecida pelo tablado, ambos ajudando a amenizar a solicitação da viga.

### 3.1.3 – Flutuadores

Tubos existentes na UFES foram aproveitados na embarcação para esta função, devendo ser feita uma análise da carga suportada pelos mesmos e do peso total da embarcação sem carga.

Características dos flutuadores:

- Material = PVC
- Diâmetro = 300 mm
- Espessura de parede = 3,5 mm
- Comprimento = 2455 mm
- Peso específico linear = 5,19 kg/m
- Peso total = 5,19 x 2,455 = 12,74 kg

Calculando o peso total da embarcação sem carga, têm-se:

- Vigas = 5,4 kg (peso específico linear = 0.902 kg/m)
- Hélice = 1 kg
- Tubo de aço inox = 0,84 kg ( $\rho = 7920 \text{ kg/m}^3$ )
- Pedal + sistema de transmissão = 3 kg
- Assento = 3 kg
- Tablado de compensado = 20 kg
- Flutuadores (2x) = 25,48 kg
- Peso total = 58,72 kg



$$\Sigma F_y = 0$$

$$\text{Empuxo} = (\text{Peso da embarcação} + \text{carga máxima admitida}) * 9,81$$

$$E = (58,72 + 150) * 9,81$$

$$E = 2047,54 \text{ N}$$

mas,

$$E = V_f * \rho_f * g \quad (4)$$

$$2047,54 = V_f * 1024 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$V_f = 0,204 \text{ m}^3$$

$$V_t = 0,347 \text{ m}^3 \text{ (Volume total dos dois flutuadores)}$$

Como o volume de água deslocada é menor do que o volume total dos dois flutuadores (apenas 60%), isto nos prova que a embarcação realmente flutua com carga máxima.

### 3.1.4 – Leme

Para confecção do leme, foi utilizado alumínio, capaz de suportar as condições adversas da água em que se encontrará a embarcação. Foi fabricado de modo a diminuir a perda provocada pela sua presença na frente da hélice, e foi projetado para que seu comprimento fosse o diâmetro da hélice, e sua largura fosse tal que quando ele estivesse a  $45^\circ$  com o eixo de simetria da embarcação (ângulo máximo de rotação), ele projetasse uma área sobre a metade da superfície da hélice, com largura =  $r * \sqrt{2}$ .



Figura 6: Leme

### 3.2 – Dimensionamento do sistema de propulsão

Existem diversos tipos diferentes de sistema de propulsão encontrados no mercado, porém ficou decidido pela utilização de uma hélice como elemento propulsor da embarcação devido ao fato de ocupar menos espaço e de não ser comumente usada nesse tipo de embarcação. Sendo assim, um desafio apresentado a nós foi o dimensionamento e obtenção da hélice para a pouca potência fornecida pela tração humana.

### 3.2.1 – Potência disponível

A potência fornecida a um eixo, provinda de pedaladas, pode ser entendida de maneira simplificada como uma força constante aplicada ao longo de todo o ciclo de rotação do pedal.

Num primeiro instante ela ocorre pela utilização de uma perna, usada para deslocar o pedal para frente, gerando uma rotação no eixo. Essa rotação é resultado do momento criado pela força aplicada no pedal e da distância do mesmo até o eixo (pé-de-vela), cabendo à outra perna realizar a continuação da força aplicada no restante do ciclo, quando a primeira perna já está retornando sem gerar qualquer esforço no eixo.

Estudos anteriores (BASTOS E ALBANI, 2004) nos mostram que a força média impressa pelas pernas de um ser humano em uma alavanca, na posição sentada, é de aproximadamente  $F=13\text{kgf}$  (127,5 N), e que a rotação média obtida em um pedal de bicicleta por diversas pessoas durante um passeio de 10 minutos, utilizando uma marcha considerada confortável, é de aproximadamente 60 rpm, ou 1 rps (  $f$  ).

De posse destes dados e adotando um tamanho de pé de vela de cada pedal igual a  $d = 19\text{ cm}$ , podemos determinar a potência disponível ao sistema como segue:

Cálculo do torque (T):

$$T = F.d \quad (5)$$

$$T = 127,5.0,19 = 24,225\text{ Nm}$$

$$PE = T.n \quad (6)$$

$$PE = 24,225.2\pi.f$$

$$PE = 24,225.2\pi.1$$

$$PE = 152,21\text{ W} = 0,2041\text{ HP}$$

Foi desconsiderado as perdas de potência devido ao engrenamento e devido aos mancais envolvidos no sistema.



### 3.2.2 – Dimensionamento da Hélice

A hélice é a parte mais importante do sistema de propulsão, ela que tem a função de impulsionar a embarcação, transformando o movimento rotacional do eixo em movimento longitudinal da embarcação.

Um dimensionamento completo de hélice envolve vários parâmetros, tais como:

- número de pás;
- diâmetro da hélice;
- passo da hélice;
- sentido de rotação;
- diâmetro do eixo;
- área das pás;
- espessura das pás;
- formato da seção das pás;
- potência fornecida ao eixo;
- peso e tamanho da embarcação;
- perfil e tipo do casco da embarcação;
- outros.

Porém no dimensionamento de nossa hélice, não há a necessidade de uma grande precisão, pois o projeto envolverá apenas baixas velocidades, e pelo fato de um dimensionamento completo requerer muitos cálculos e análise computacional, nos concentraremos no cálculo apenas dos fatores principais.

#### 3.2.2.1 – Sistema de transmissão

Sem um sistema de transmissão, a rotação desenvolvida no eixo seria muito baixa, sendo necessário a utilização de uma hélice de grandes dimensões, e consequentemente ocasionaria em um esforço extremo e baixas velocidades, além de ocupar um espaço indesejável na embarcação.

Logo o sistema de transmissão tem a função de aumentar a rotação dada pelas pedaladas, além de mudar a direção do eixo de rotação, para uma posição perpendicular à original.

Sabendo que a relação dada pelas engrenagens hipoidais nos dá uma relação de 1:5,5 (5,5 rotações do eixo para cada rotação da catraca), faltava encontrar a relação de transmissão confortável entre a coroa do pedal e a catraca, variável que, após escolhida seria analisada através dos testes. Optou-se então por usar uma relação de 1:3, o que nos dá uma relação de transmissão total de 1:16,5 (16,5 rotações do eixo para cada rotação completa do pedal).

### 3.2.2.2 – Diâmetro da hélice

A potência disponível em relação à rotação do eixo e resistência do casco são os dois fatores predominantes que controlam o diâmetro de uma hélice.

Na maioria dos casos, maiores diâmetros de hélice representam sempre maiores eficiência do que diâmetros menores. Porém por motivo de limitações humanas e devido à baixa potência fornecida, é necessário fazer um balanço entre o diâmetro da hélice e relação ótima de transmissão.

Após especificado o sistema de transmissão, com uma relação de transmissão de 1:16,5, e sabendo que temos uma rotação do pedal aproximada de 60 rpm, pode-se assumir que a rotação do eixo da hélice será de:

$$\begin{aligned} n_{\text{eixo}} &= n_{\text{pedal}} * 16,5 & (7) \\ n_{\text{eixo}} &= 60 \text{ rpm} * 16,5 \\ n_{\text{eixo}} &= 990 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Sabendo a rotação imprimida no eixo, pode-se calcular o diâmetro da hélice usando a fórmula:

$$\begin{aligned} D &= \frac{632,7 * PE^{0,2}}{n_{\text{eixo}}^{0,6}} & (8) \\ D &= \frac{632,7 * 0,2041^{0,2}}{990^{0,6}} & 1 \\ D &= 7,34 \text{ pol} \end{aligned}$$

Passando para milímetros, foi encontrado um valor de 186,5 mm, que é aproximadamente o valor do diâmetro da hélice encontrada no mercado com o sentido de giro especificado (passo invertido).

### 3.2.2.3 – Passo da hélice

O passo da hélice nos dá a idéia da distância percorrida pela mesma enquanto ela dá uma volta de 360° em torno do seu eixo, sem considerar as perdas envolvidas em processos reais, como mostra a figura 7.

Para realizar o cálculo do passo, é necessário saber a velocidade máxima alcançada pela embarcação, assim como a velocidade de cruzeiro e também o escorregamento sofrido pela hélice ao girar na água.

---

<sup>1</sup> Fonte: Propeller Handbook

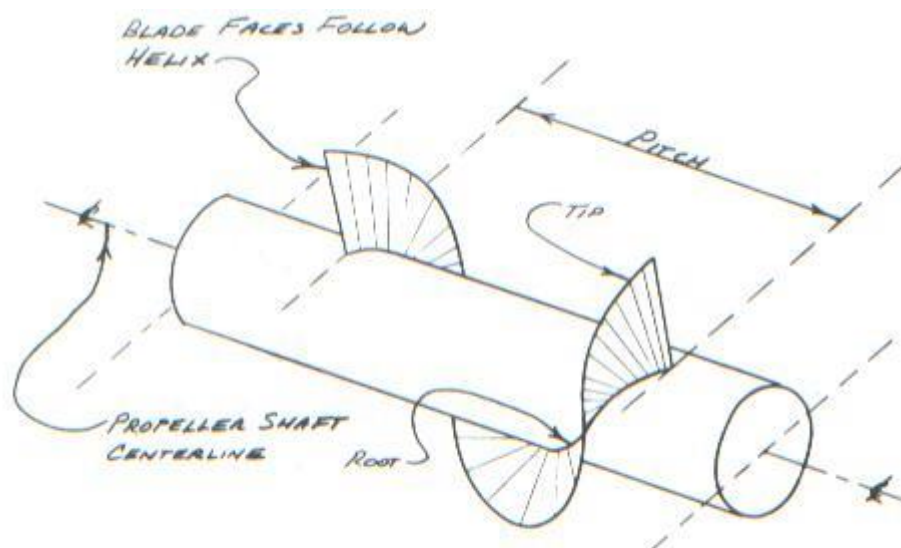


Figura 7: Passo da hélice

A velocidade máxima depende da sua linha d'água bem como a relação do peso total da embarcação pela potência fornecida ao eixo da hélice.

$$V = SLratio * \sqrt{L} \quad (9)^2$$

Onde:

L- comprimento da linha d'água = 2455 mm (comprimento do flutuador)

SL ratio - coeficiente entre a velocidade da embarcação pelo comprimento da linha d'água

Para a obtenção do valor do coeficiente entre a velocidade da embarcação pelo comprimento da linha d'água necessitamos anteriormente o cálculo da relação entre seu peso pela sua potência fornecida, esse valor é obtido do gráfico apresentado na figura 7.

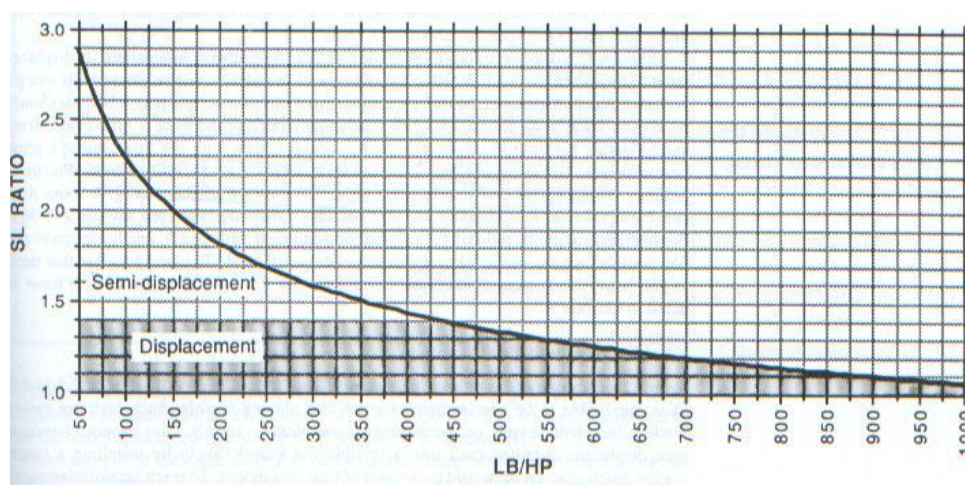


Figura 8: Gráfico de SL ratio X LB/HP  
Fonte: Propeller Handbook

<sup>2</sup> Fonte: Propeller Handbook

Cálculo de LB/HP:

$$LB/HP = P * 2,2046 / PE^3 \quad (10)$$

$$LB/HP = 208,72 * 2,2046 / 0,2041$$

$$LB/HP = 2255,6$$

Olhando este valor no gráfico da figura 8, percebe-se que a embarcação se encontra perto da assíntota, se enquadrando como uma embarcação do tipo Displacement, que sugere embarcações com uma baixa velocidade, dado a relação entre potência e carga.

Determinado o tipo da embarcação, utiliza-se a fórmula abaixo para calcular o coeficiente SL ratio:

$$SLratio = \frac{10,665}{\sqrt[3]{LB / HP}} \quad (11)$$

$$SLratio = \frac{10,665}{\sqrt[3]{2255,6}} \quad 4$$

$$SLratio = 0,813$$

E voltando à equação 9, temos:

$$V = SLratio * \sqrt{L * 0,0033}$$

$$V = 0,813 * \sqrt{2455 * 0,0033}$$

$$V = 2,31nós$$

$$V = 1,19m/s$$

Depois de calculada a velocidade, passa-se então para o cálculo do passo, que se dá por:

Como é necessário encontrar o passo para a velocidade de cruzeiro (comumente utilizada), necessitamos usar um fator de conversão de 0,75, que corresponde à 75% da velocidade máxima

$$p = \frac{V * 0,75 * 101,3}{n} \quad (12)$$

$$p = \frac{2,31 * 0,75 * 101,3}{990} \quad 4$$

$$p = 0,178 pés$$

$$p = 54,25mm$$

---

<sup>3</sup> Fonte: Propeller Handbook

Porém esse passo é teórico não levando em conta o escorregamento. O escorregamento pode ser calculado, levando em conta a velocidade, e um escorregamento médio pode ser estimado.

$$Slip = \frac{1,4}{V^{0,57}} \quad (13)$$

$$Slip = \frac{1,4}{2,31^{0,57}} \quad 5$$

$$Slip = 0,87 = 87\%$$

Com o escorregamento, têm-se o passo real através da expressão:

$$\begin{aligned} pr &= p * 1,87 \quad 5 \\ pr &= 54,25 * 1,87 \\ pr &= 101,45 \text{ mm} \end{aligned} \quad (14)$$

Nota-se que o passo foi aumentado, esta medida é realizada para compensar o escorregamento sofrido pela embarcação.

Como forma de checar o dimensionamento da hélice é adequado ao tipo de embarcação e velocidade considerada, deve-se verificar se o valor da relação entre o passo e o diâmetro se encontra dentro do intervalo a seguir:

$$\begin{aligned} 0,39 * V^{0,23} &< pr / D < 0,52 * V^{0,28} \quad 5 \\ 0,39 * 2,31^{0,23} &< 101,45 / 186,5 < 0,52 * 2,31^{0,28} \\ 0,39 * 2,31^{0,23} &< 101,45 / 186,5 < 0,52 * 2,31^{0,28} \\ 0,473 &< 0,544 < 0,657 \end{aligned} \quad (15)$$

Com isto, verifica-se a adequação da hélice dimensionada para os devidos fins.

## 4 – MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Tendo o material definido e as peças dimensionadas, passou-se então para a construção e montagem da embarcação. Para isto, foi utilizado o laboratório de tecnologia mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), com as ferramentas e o espaço disponibilizados pela equipe Vitória Baja para tal fim.

É importante lembrar que ao longo de todo o processo da construção, decisões foram tomadas para que se alterassem algumas características construtivas, para se obter melhores resultados, facilitar a manutenção, a própria construção e eliminar os problemas encontrados.

Para melhor entendimento, o processo construtivo foi dividido em três partes: sistema estrutural, sistema propulsor e sistema direcional. O primeiro a ser

---

<sup>5</sup> Fonte: Propeller Handbook

trabalhado foi o sistema estrutural, pois nele seriam instalados os outros sistemas. O sistema direcional poderia ser trabalhado junto com o sistema estrutural, porém ele requer a presença do sistema propulsor para melhor ser ajustar às condições de uso, logo, teria que ser feito por último.

#### **4.1 – Sistema estrutural**

O sistema estrutural consiste das vigas de sustentação, dos flutuadores, do tablado e do assento do operador.

Obtidos os tubos de PVC no tamanho especificado e as tampas de PVC dos mesmos, sendo uma tampa de cada tubo com uma saída de água, para se evitar um possível acúmulo de água dentro dos tubos, foi feito a vedação dos mesmos, usando silicone nas uniões da tampa com o tubo e depois usado uma fita isolante por cima, para garantir melhores resultados.



Figura 9: Tubos de PVC

A furação das vigas foi feita nos pontos determinados para fixação das mesmas no tablado de compensado. Foram feitas também as furações no compensado em conjunto, assim como nas estruturas metálicas dos outros componentes.





Figura 10: Vigas e Tablado

Para fixação dos tubos de PVC nos encaixes das vigas, utilizou-se de câmaras de bicicleta, por ser mais fácil encontrar e de menor custo, pois elas mantinham a tensão necessária para manter as duas partes unidas, como uma medida provisória. Recomendamos a utilização das chapas de alumínio, pelo fato de serem mais definitivas e de proporcionarem maior conforto ao operador para ajustar as mesmas.

Para se confeccionar o assento, foi feito a soldagem de uma estrutura obtida junto à equipe Vitória Baja à cadeira, comumente encontrada nas salas de aula da UFES, como mostra a figura 10.



Figura 11: Assento montado

## 4.2 – Sistema propulsor

O sistema propulsor vem a ser o de mais difícil obtenção, pelo seu alto custo e pela precisão necessária na fabricação e montagem. Ele consiste da hélice, do pedal, do suporte da hélice e do tubo de transmissão do movimento para a hélice, assim como da corrente e do conjunto de engrenagens usadas para mudar o sentido de rotação.

A hélice, após dimensionada, foi obtida nas dimensões aproximadas às especificadas no mercado. Foi observada uma certa dificuldade na obtenção dessa hélice pois as hélices comumente encontradas no mercado têm sentido de giro inverso ao dimensionado.

Primeiramente foi fixado o sistema de transmissão da hélice, esse sistema deveria transmitir o movimento perpendicular à direção recebida pela coroa da corrente e deveria localizar-se na linha de simetria longitudinal da embarcação. Para isso utilizou um conjunto de engrenagens hipoidais normalmente encontrado em lixadeiras manuais, por não ser necessária sua fabricação, ser de fácil fixação na estrutura, apresentar fácil montagem e por ocupar pouco espaço na embarcação.

Devido à distância entre a hélice e o sistema de transmissão por engrenagens ser muito grande, utilizou-se um tubo de aço inoxidável como eixo da mesma. Num teste inicial observamos uma grande vibração, fato que foi levantado antes da montagem, para evitar este problema e possíveis danos ao sistema, foi instalado um suporte com um mancal próximo à hélice, como mostrado na figura 12, fabricado pela equipe. Para o mancal utilizou-se uma bucha de polietileno fabricada pela mesma equipe.



Figura 12: Sistema propulsor

Os pedais foram fixados no tablado através de parafusos, levando em conta o alinhamento necessário entre as coroas do pedal e do sistema de transmissão por engrenagens.

### 4.3 – Sistema direcional

A fim de facilitar a construção, foi utilizado um sistema direcional convencional, do tipo leme, encontrado comumente em embarcações das mais diversas finalidades, localizado logo atrás da hélice e com o objetivo de alterar a direção do movimento da embarcação.

O material do leme é o mesmo do usado no tablado, compensado. Sua fixação foi feita de um tubo de aço pintado, fixado ao suporte do assento. Procurou-se posicionar o mesmo de maneira a ficar o mais confortável possível ao usuário.

## 5 – TESTES

O primeiro teste na água foi realizado no dia 7/Jul/2006 em uma pequena piscina localizada na UFES. Este teste visava garantir a flutuabilidade da embarcação com a carga máxima, assim como verificar a estabilidade e conforto do usuário na utilização da embarcação, por isto foram realizados sem o sistema direcional instalado.

O teste de velocidade não foi possível neste estágio pelas pequenas dimensões da piscina, porém notou-se um bom comportamento da embarcação e um grande potencial para maiores velocidades.

Procurou-se uma relação de transmissão que oferecesse mais conforto ao usuário, mantendo uma velocidade aceitável. Um dos problemas encontrados foi uma certa folga na corrente, vindo a ser necessário a utilização de um tensionador de corrente no ramo frouxo para evitar que a mesma “salte” os dentes e diminuir a vibração na mesma. Um exemplo de tensionador pode ser visto na figura 13.



Figura 13: tensionador

Outro fator de importância relevante foi a altura da hélice em relação à linha d'água. Os testes mostraram que quando a embarcação estava totalmente sem carga, parte



da hélice se encontrava acima da linha d'água, acarretando em perdas indesejáveis, porém com o peso do tripulante este problema se minimizava, pois a hélice se encontrava inteiramente imersa na água. Mudando o ângulo da embarcação com a linha d'água e consequentemente afundando ainda mais a hélice, percebia-se um aumento da força necessária para rotacionar a mesma, o que nos mostra que o valor do ângulo de saída da hélice utilizado na embarcação está coerente.

Fotos do teste:



Figura 14: Realização de parte do teste.

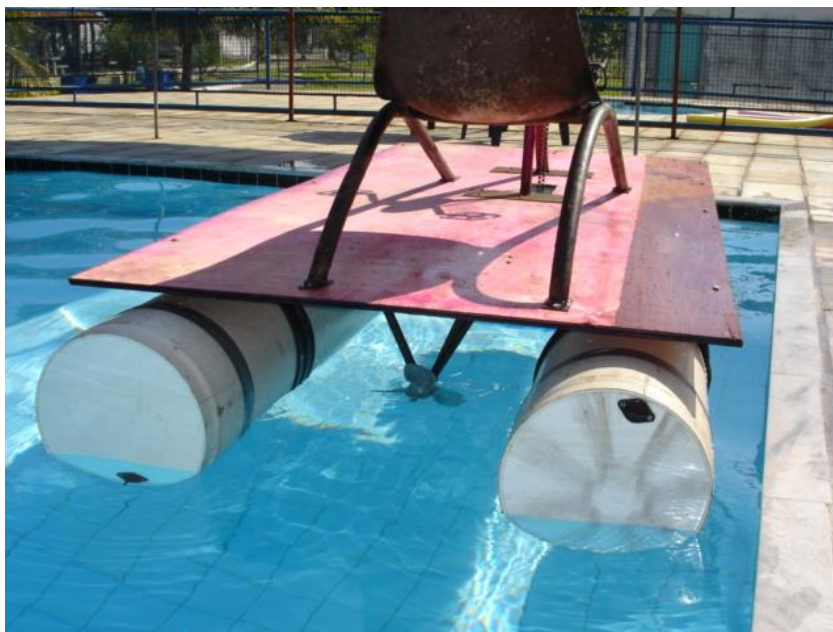


Figura 15: Embarcação sem carga, mostrando parte da hélice acima da linha d'água.

## **6 – CONCLUSÃO**

Após feitos os devidos dimensionamentos, fabricado a embarcação e realizado os testes, foi verificado a eficácia da embarcação e aprovação por todos os usuários.

Pode ser necessário o projeto de um sistema de freio para a embarcação, foi cogitado a idéia de travamento da catraca, fazendo com que a hélice possa girar em sentido contrário se solicitada neste sentido, porém a eficiência da mesma seria extremamente baixa, visto que a hélice não foi projetada para tal fim, e seria prejudicial para o tensionador da corrente, que passaria a agir não mais no ramo frouxo, e sim no ramo tenso.

## 7 – BIBLIOGRAFIA

DAVE GERR. **Propeller Handbook: the complete reference for choosing, installing and understanding boat propellers.** USA: International Marine, 2001

FERDINAND P. BEER; E. RUSSEL JOHNSON, JR. **Resistência dos Materiais.** 3ª edição – São Paulo: Makron Books, 1995

WILLIAN D. CALLISTER, LR. **Uma Introdução à Ciência e Engenharia dos Materiais.** 5ª edição

INCOMETAL. **Catálogo Técnico de Alumínio Extrudados e Laminados.**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. **Normalização e Apresentação de Trabalhos Científicos e Acadêmicos: Guia Para Alunos, Professores e Pesquisadores da UFES.** 7ª edição – 2005

TIGRE S/A TUBOS E CONEXÕES. **Composição do PVC.** 2006 – [www.tigre.com.br](http://www.tigre.com.br)

BASTOS, Eduardo. A. S e ALBANI JR, Severino. **Projeto de Graduação “Embarcação movida à tração humana para exploração de manguezais”**, 2004.



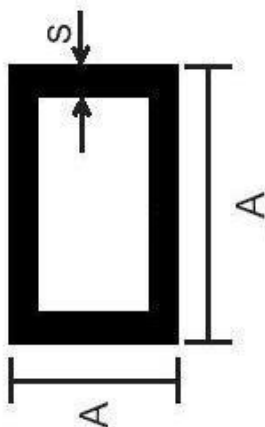
## ANEXO B – Catálogo Incometal de tubos de alumínio retangulares

## Tubos Retangulares - Cantos Vivos

Perfil Nº	Dimensões - mm			Peso (Kg/m)	Dimensões - Polegadas		
	A	B	S		A	B	S
TR-026	25,40	12,70	1,58	0,298	1	½	1/16
TR-031	38,10	25,40	1,60	0,520	1 ½	1	1/16
TR-027	50,80	12,70	1,50	0,490	2	½	1/16
TR-030	50,80	25,40	1,58	0,623	2	1	1/16
TR-025	50,80	25,40	2,00	0,780	2	1	-
TR-013	50,80	38,10	2,00	0,917	2	1 ½	-
TR-032	76,20	25,40	1,58	0,838	3	1	1/16
TR-016	76,20	38,10	1,50	0,902	3	1 ½	-
TR-015	76,20	38,10	2,00	1,191	3	1 ½	-
TR-017	101,60	38,10	2,00	1,470	4	1 ½	-
TR-028	101,60	50,80	3,17	2,500	4	2	1/8
TR-021	101,60	50,80	2,00	1,603	4	2	-
TR-029	152,40	38,10	3,17	3,152	6	1 ½	1/8
TR-033	152,40	76,20	3,17	3,804	6	3	1/8
TR-024	152,40	50,80	3,00	3,206	6	2	-

**NOTA:**

Fornecida na liga 6063 - T5



**NOTA:**  
Fornecida na liga 6063 - T5

Figura 16: Características dos tubos retangulares. Modelo usado: TR – 016  
Fonte: Catálogo de tubos de alumínio Incometal