

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO, SIMULAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE
FLUTUADORES
HIDRODINÂMICOS DE BAIXO CUSTO PARA A
PRÁTICA DE REMO ADAPTÁVEL**

Diego Tonin
Gustavo Partel Young

São Paulo
2007

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO, SIMULAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE
FLUTUADORES
HIDRODINÂMICOS DE BAIXO CUSTO PARA A
PRÁTICA DE REMO ADAPTÁVEL**

**Diego Tonin
Gustavo Partel Young**

Professora Orientadora: Profa. Dra. **Izabel Fernanda Machado**

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Graduação em Engenharia

São Paulo
2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Tonin, Diego

Projeto e construção de flutuadores hidrodinâmicos de baixo custo para a prática de remo adaptável, por D. Tonin e G. Young. São Paulo: EPUSP, 2007 119p + apêndices.

Trabalho de formatura– Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica .

1.Remo adaptável 2.Flutuadores(Remo)
3.Paraolimpíadas
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de
Engenharia Mecânica III.t.

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente à Profa. Dra. Izabel Fernanda Machado pelo auxílio, a cooperação e o apoio em todos os momentos.

Agradecemos também à Escola Politécnica da USP e o Prof. Dr. Linilson Rodrigues Padovese.

À SEPED (Secretaria Especial da Pessoa com Deficiência e Mobilidade Reduzida da Prefeitura da Cidade de São Paulo) e seus representantes o Sr. Renato Correa Baena e a Sra. Eliana Mutchnik.

Ao Sr. José Paulo Sabatini do E. C. Pinheiros e ao Espore Clube Pinheiros.

Aos atletas do remo adaptável, em especial à atleta Cláudia Cícero dos Santos.

À Confederação Brasileira de Remo, em especial aos Srs. Rodney Bernanrdo de Araújo e Júlio Noronha.

À Federação Paulista de Remo e seu representante Rodrigo Rojas.

À Sr. Mara Cristina Gabrilli (Projeto Próximo Passo (PPP)).

Aos Profs. Ricardo e Christian da Raia Olimpica da USP.

À empresa Companhia de Canoagem e seu proprietário Antônio Carlos Osse.

Ao Prof. Dr. Marcos Barretto da FDTE.

E finalmente agradecemos em especial ao Banco Nossa Caixa S/A, representado pelo Sr. Mário Sérgio do Departamento de Marketing, pelo apoio financeiro.

RESUMO

O presente trabalho consiste no projeto completo de flutuadores hidrodinâmicos de baixo custo para a prática de remo adaptável. Os flutuadores desenvolvidos visam à substituição dos modelos artesanais e dos importados atualmente disponíveis para a utilização dos atletas da Seleção Brasileira de Remo Adaptável e devem atender às regras da FISA. O flutuador desenvolvido deve atender aos critérios de segurança, impedindo que o barco emborque e também de desempenho, apresentando boa hidrodinâmica para minimizar o arrasto do mesmo com a água.

Para o desenvolvimento do projeto foram coletadas informações e definidas as necessidades com o auxílio das entidades participantes como a SEPED (Secretaria Especial da Pessoa com Deficiência e Mobilidade Reduzida da Prefeitura de São Paulo), a federação Paulista de Remo, o Esporte Clube Pinheiros entre outras. Os modelos atualmente utilizados no E. C. Pinheiros, construídos artesanalmente, e os disponíveis comercialmente foram utilizados como referência de desempenho para o novo dispositivo. O protótipo do flutuador desenvolvido foi simulado computacionalmente e testado na raia olímpica da USP, mostrando desempenho superior em ambos os casos.

ABSTRACT

This work consists on the practice project of a low cost hydrodynamic floater for the practice of adaptative rowing. This dispositives are of compulsory use for athletes safety, as it is written on FISA's regulation. The pontoon developed will replace the models that are currently in use and the imported ones. The floater have to provide safety for the athletes and prevent the boat to turn over. Besides that, the floater should produce minimum interference on performance.

For the development of this project many information sources and supporterers were needed, such as SEPED (city hall's departament for people with reduced mobility), Paulista Rowing Federation, Brazilian Rowing Confederation and E. C. Pinheiros rowing team. The models that are currently in use, built by the team itself, and the ones commercially available were used as performance's reference for the new device. The pontoon developed was evaluated both on software simulations and practical tests and the results showed that better performance was achieved.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO	18
2.1. Dados de referência	18
2.1.1. Desempenho dos barcos	18
2.1.2. Dados para simulação	19
2.2. Material	20
2.3. Formato do fundo do casco	24
2.4. Preenchimento	27
2.5. Elementos de Ajuste e Fixação	28
2.5.1. Ajuste vertical	28
2.5.2. Ajuste vertical – Travamento	30
2.5.3. Fixação em tubos	34
2.6. Métodos para o dimensionamento de Tubos e Barras	35
2.7. Métodos para o dimensionamento da espessura de cascos	37
2.8. Método para o dimensionamento do volume mínimo	39
2.9. Softwares de simulação	40
2.9.1. Método analítico para corpos esbeltos	42
3. ANÁLISE DOS FLUTUADORES EXISTENTES	43
3.1. Flutuadores desenvolvidos pelo proponente	43
3.2. Equipamentos disponíveis comercialmente	46
4. OBJETIVOS E REQUISITOS DO PROJETO	49
4.1. Objetivos do projeto	49
4.2. Especificações e requisitos do projeto	50
4.2.1. Especificação técnica das necessidades	50
4.2.2. Requisitos construtivos	51
4.2.3. Requisitos operacionais	52
4.2.4. Requisitos funcionais	52
5. MATERIAIS E MÉTODOS	54
5.1. Construção em Fibra de Vidro	54
5.1.1. Fibra de vidro	55
5.1.2. Resinas	55
5.1.2.1. Resina poliéster	56
5.1.2.1.1. Propriedades	57
5.1.2.2. Resina vinil ester	57
5.1.2.2.1. Propriedades	58
5.1.2.3. Resina epóxi	58

5.1.2.3.1.	Propriedades	59
5.1.3.	Gel Coat	59
5.1.4.	Materiais de auxílio	60
5.1.5.	Cuidados	60
5.2.	Modelamento do Perfil Longitudinal do Casco	61
5.3.	Construção	63
5.3.1.	Construção do modelo	64
5.3.2.	Confecção do molde	69
5.3.3.	Laminação do flutuador	70
5.3.4.	Montagem	74
5.3.5.	Acabamento	76
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
6.1.	Seleção e Justificativa	78
6.1.1.	Material	78
6.1.2.	Formato do fundo do casco	79
6.1.3.	Preenchimento	80
6.1.4.	Ajuste vertical	81
6.1.5.	Ajuste vertical – Travamento	81
6.1.6.	Fixação ao barco	82
6.2.	Especificação das alternativas selecionadas	83
6.2.1.	Fixação ao barco	83
6.2.2.	Ajuste vertical	85
6.2.3.	Desenho de conjunto	88
6.3.	Dimensionamento do flutuador	89
6.3.1.	Dimensionamento estrutural	90
6.3.2.	Dimensionamento do volume mínimo deslocado	91
6.4.	Dimensionamento dos dispositivos de fixação	92
6.4.1.	Flambagem	92
6.5.	Dificuldades Técnicas	93
6.5.1.	Cura da massa PVA com formação de bolhas internas	94
6.5.2.	Reação química do EPS com resina poliéster	95
6.5.3.	Dimensões dos tubos de alumínio.	97
6.6.	Características do modelo final	98
6.7.	Simulações e comparativos	100
6.8.	Protótipo Final e Testes e Avaliações	106
6.9.	Custos	112
6.10.	Conclusões	117
APENDICE A		120
APENDICE B		122
APENDICE C		130

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

FISA	Fédération Internationale dês Sociétés d’Aviron
SEPED	Secretaria Especial da Pessoa com Deficiência e Mobilidade Reduzida
E. C.	Esporte Clube
PPP	Projeto Primeiro Passo
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
F	Força
L/V	Índice de Esbeltez
L	Comprimento do Casco
V	Volume deslocado
EPS	Poliestireno Expandido
MDF	Medium Density Fiberboard – Fibra de Média Densidade
CNC	Controle Numérico Computadorizado
EPI	Equipamento de proteção individual
PU	Poliuretano
PVC	Poli Cloreto de Vinila
PVA	Acetato de Polivinila
P_{crit}	Força Máxima tolerada à flambagem
E	Módulo de Elasticidade do Material
I	Momento de Inércia da Barra / Tubo
Lt	Comprimento da Barra / Tubo
T	Tensão no casco do flutuador
D	Diâmetro médio do casco do flutuador
A	Comprimento do lado do tubo quadrado

T	Espessura da parede
X	Deslocamento do centro de massa do remador (em mm)
Y	Braço de atuação do flutuador (em mm)
A	Área da base de aplicação da força
Γ	Peso específico do fluido
En	Força de Empuxo
Vd	Volume submerso do corpo
G	Peso referente à massa do flutuador
CAD	Computer Aided Design
UV	Ultra Violeta
DWL	Drawing Water Line
Qntd	Quantidade

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Tempos	19
Tabela 2.2: Velocidades	19
Tabela 2.3: Propriedades do aço	20
Tabela 2.4: Propriedades da liga de alumínio	21
Tabela 2.5: Propriedades da fibra de vidro E – Matriz poliéster	21
Tabela 2.6: Propriedades da fibra aramida – Matriz epóxi	22
Tabela 2.7: Propriedades da fibra de carbono – Matriz epóxi	23
Tabela 2.8: Propriedades da madeira - carvalho	23
Tabela 6.1: Matriz de decisão do material	78
Tabela 6.2: Matriz de decisão do tipo de casco	80
Tabela 6.3: Matriz de decisão do preenchimento do casco	80
Tabela 6.4: Matriz de decisão do ajuste vertical	81
Tabela 6.5: Matriz de decisão da fixação ao barco	82
Tabela 6.6: Dados gerados pelo software sobre flutuador desenvolvido	98
Tabela 6.7: Tabela de custos 1	113
Tabela 6.8: Tabela de custos 2	114
Tabela 6.9: Tabela de custos 3	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Dispositivo de adaptação disponível no mercado.....	15
Figura 1.2: Detalhe do dispositivo de fixação no braço da forqueta	17
Figura 2.1: Esboço do flutuador de casco cilíndrico.....	24
Figura 2.2: Esboço do flutuador cilíndrico com extremidade inclinada.....	24
Figura 2.3: Exemplo de um barco com casco de fundo plano.....	25
Figura 2.4: Exemplo de um barco com casco de fundo em V	26
Figura 2.5: Exemplo de um barco com casco de fundo redondo.....	26
Figura 2.6: Exemplo de um barco com casco de multi-armação.....	27
Figura 2.7: Desenho esquemático da barra guia.....	29
Figura 2.8: Desenho esquemático do parafuso guia.....	29
Figura 2.9: Desenho esquemático da barra guia perfurada.....	30
Figura 2.10: Desenho esquemático do tubo quadrado perfurada	30
Figura 2.11: Porca borboleta	31
Figura 2.12: Manípulo	32
Figura 2.13: Pino com orifício para cupilha	32
Figura 2.14: Trava rápida de esferas	33
Figura 2.15: Desenho esquemático da trava rápida de dupla ação.	33
Figura 2.16: Desenho esquemático da braçadeira suporte (corrigida).....	34
Figura 2.17: Desenho esquemático da braçadeira fendida	35
Figura 2.18: Modelo para dimensionamento à flambagem.....	36
Figura 2.19: Esquema com remador desequilibrado e centro de massa deslocado	38
Figura 3.1: Primeiro flutuador desenvolvido	43
Figura 3.2: Braçadeira suporte (vistas lateral e superior)	44
Figura 3.3: Flutuador atualmente utilizado (vista frontal e isométrica)	44
Figura 3.4: Flutuador atualmente utilizado (vista lateral).....	45
Figura 3.5: Flutuador em uso.....	45
Figura 3.6: Dimensões do primeiro flutuador utilizado	46
Figura 3.7: Dimensões do flutuador atualmente utilizado	46
Figura 3.8: Flutuador Alden stabilizer system.....	47
Figura 3.9: Flutuador Wintech 7703	48
Figura 4.1: Análise sistêmica do flutuador.	50
Figura 4.2: Bloco demonstrativo do requisito dimensional.....	51
Figura. 5.1: Tubo de PVC modelado no MaxSurf – primeira versão.	61
Figura. 5.2: Tubo de PVC modelado no MaxSurf – versão atual.	62
Figura. 5.3: Modelamento de casco hidrodinâmico e seu perfil	63
Figura 5.4: Seções do casco divididas em camadas de 5mm de espessura. Vista lateral.....	64
Figura 5.5: Seções de isopor do casco divididas em camadas de 5mm de espessura. Vista lateral.....	65
Figura 5.6: Seções de isopor de meio casco divididas em camadas de 5mm de espessura. Vista lateral.....	65

Figura 5.7: Seções de isopor do casco divididas em camadas de 5mm de espessura. Vista frontal.....	66
Figura 5.8: Vidro coberto com gel coat, antes da laminação	67
Figura 5.9: Modelo revestido com PVA, vista inclinada	68
Figura 5.10: Modelo revestido com PVA, vista lateral.....	68
Figura 5.11: Modelo revestido com PVA	69
Figura 5.12: Molde já preparado para laminação	70
Figura 5.13: Molde com aplicação de gel coat.....	71
Figura 5.14: Laminação.....	72
Figura 5.15: Laminação sobre vidro	73
Figura 5.16: Desmoldagem.....	74
Figura 5.17: Colagem do protótipo a tampa com massa plástica.....	75
Figura 5.18: Protótipo.....	76
Figura 5.19: Tampa superior	77
Figura 6.1: Esquema de montagem da braçadeira de tubos.....	84
Figura 6.2: Vista frontal e superior de meia braçadeira	84
Figura 6.3: Vista superior e frontal da placa da braçadeira.....	85
Figura 6.4: Tubo Quadrado Perfurado e soldado à placa (vista inferior).....	86
Figura 6.5: Tubo Quadrado Perfurado e soldado à placa (vista frontal)	86
Figura 6.6: Tubo Quadrado Perfurado e soldado à placa (vista lateral).....	87
Figura 6.7: Base para encaixe no flutuador (vista frontal)	87
Figura 6.8: Base para encaixe no flutuador (vista superior).....	87
Figura 6.9: Vista lateral do suporte do flutuador montado	88
Figura 6.10: Vista frontal do suporte do flutuador montado	89
Figura 6.11: Esquema com remador desequilibrado e centro de massa deslocado	90
Figura 6.12: Modelo para dimensionamento à flambagem.....	93
Figura 6.13: No detalhe, bolhas de ar surgindo na superfície da massa PVA....	94
Figura 6.14: EPS do modelo após desmoldagem com pontos corroídos.....	95
Figura 6.15: Bolhas formadas entre a primeira e a segunda demão do gel, devido a reação com o EPS.....	96
Figura 6.16: Correção com aplicação de gel sobre as bolhas retiradas, após cura da base.	96
Figura 6.17: Resultado final do molde, com defeitos superficiais.....	97
Figura 6.18: Dimensões de tubos quadrados disponíveis e incompatíveis.....	98
Figura. 6.19: Vista inferior do modelo	99
Figura. 6.20: Vista lateral do modelo	99
Figura. 6.21: Altura e largura do modelo (em mm).....	100
Figura. 6.22: Comprimento do modelo (em mm).....	100
Figura 6.23: Gráfico de Resistência X Velocidade para simulação do cilindro.	101
Figura 6.24: Gráfico de Resistência X Velocidade para simulação do flutuador atualmente utilizado pelo clube.....	102
Figura 6.25: Gráfico de Resistência X Velocidade para simulação do flutuador desenvolvido.	103
Figura 6.26: Padrão de onda gerado pelo flutuador desenvolvido.....	103
Figura 6.27: Comparação do primeiro dispositivo do proponente com o modelo desenvolvido (vista isométrica).....	104

Figura 6.28: Comparação do primeiro dispositivo do proponente com o modelo desenvolvido (vista frontal).....	104
Figura 6.29: Comparação do segundo dispositivo do proponente com o modelo desenvolvido (vista isométrica).....	105
Figura 6.30: Comparação do segundo dispositivo do proponente com o modelo desenvolvido (vista frontal).....	105
Figura 6.31: Protótipo Montado no Barco (lado esquerdo).	106
Figura 6.32: Protótipo Montado no Barco (lado esquerdo).	107
Figura 6.33: Protótipo Montado no Barco (vista frontal).	107
Figura 6.34: Protótipo montado ao barco (vista traseira).....	108
Figura 6.35: Detalhe do sistema de fixação ao barco.....	109
Figura 6.36: Detalhe da braçadeira desmontada.	109
Figura 6.37: Detalhe do dreno instalado.....	110
Figura 6.38: Atleta testando o protótipo.....	111
Figura 6.39: Teste do protótipo na Raia Olímpica da USP.....	111

1. INTRODUÇÃO

Apesar de o remo ser um esporte antigo, derivado da necessidade do transporte marítimo na Antiguidade, a modalidade adaptável, destinada aos portadores de deficiências ou limitações físicas, tem história recente. O remo adaptável foi introduzido oficialmente no Campeonato Mundial de 2002, na Espanha. O Brasil somente iniciou sua participação em competições internacionais em 2004, com 1 atleta participando. Os dispositivos de adaptação do barco, disponíveis no mercado hoje, mostrados na figura 1.1, são de acesso limitado a poucos atletas, uma vez que há poucos fabricantes especializados, e os custos envolvidos na sua aquisição são muito altos. O que acontece na maioria dos clubes brasileiros que competem nessa categoria é a improvisação de dispositivos que atendam as diversas necessidades, já que o orçamento disponível geralmente é pequeno.



Figura 1.1: Dispositivo de adaptação disponível no mercado (Wintech Racing, 2007).

Um dos dispositivos exigidos pela FISA, em todas as competições e categorias dessa modalidade é o flutuador. Estes, segundo as especificações, devem ter posição fixa e estar na horizontal quando o remador estiver no barco, com este em equilíbrio. Além disso, os flutuadores, nas condições anteriores, devem no mínimo estar em contato com a água. Não há especificações ou restrições quanto a forma ou peso dos flutuadores.

Em 2006 a SEPED / PMSP criou o decreto de lei “Abrace o Paradesporto” que gerou diversas parcerias entre entidades para o desenvolvimento de modalidades paradesportivas na cidade. Assim, em 2006 o Esporte Clube Pinheiros cedeu o espaço e equipamento para treinamento de atletas da modalidade remo adaptável. Essa parceria também incluiu outras entidades como a Escola Politécnica da USP e a ONG Projeto Primeiro Passo (PPP). A equipe do Projeto Abrace o Paradesporto já utiliza flutuadores improvisados com canos de PVC e fibra de vidro em seus treinamentos e competições. No entanto, a utilização dos flutuadores improvisados tem grande interferência no desempenho do barco, pois não apresentam um formato hidrodinâmico ideal e por isso geram grande arrasto. O presente projeto vai estudar as diversas possibilidades de forma e materiais para se maximizar o desempenho dos barcos adaptados. A forma ideal será aquela que gerar o menor arrasto possível em comparação com os modelos já construídos e os disponíveis no mercado. Essa comparação será feita utilizando simulações numéricas computacionais e testes práticos de desempenho com protótipos reais. Em relação ao material, o estudo se dá em busca de menor peso e menor custo, tendo como referência o peso do modelo comercial e a restrição de custo imposta ao projeto. Além do flutuador em si, o presente trabalho irá desenvolver um sistema de fixação com possibilidade de ajuste de posição e encaixe rápido, como se observa no detalhe da figura 1.2.



Figura 1.2: Detalhe do dispositivo de fixação no braço da forqueta* (Wintech Racing, 2007).

O objetivo desse ajuste de posição é auxiliar o equilíbrio de atletas com amputações, ou seja, atletas que não têm simetria corporal e, portanto, têm dificuldades em equilibrar o barco. Já o sistema de encaixe rápido facilitaria os diferentes usos do barco durante os treinos e o seu transporte para as competições. O modelo final terá aplicação imediata.

* FORQUETA. (Concept 2 Brasil) Dispositivo de apoio onde é fixado o remo

2. REVISÃO

Nesta seção, encontram-se todos conceitos a serem abordados no projeto, bem como o detalhamento da parte teórica referente aos procedimentos, materiais ou técnicas a serem utilizados nas etapas de projeto e construção do flutuador

2.1. Dados de referência

Esta seção define toda a base de dados utilizada durante o projeto e na qual muitas decisões foram baseadas. A fonte dessas informações provém de bibliografias diversas, além de informações disponibilizadas pelo senhor José Paulo Sabatini, técnico de remo do Clube Pinheiros (SABATINI, 2007).

2.1.1. Desempenho dos barcos

Baseando-se nos períodos de tempo que um barco leva para percorrer a distância de 1000 metros (tabela 2.1) obtidos no Campeonato Mundial de 2006, em Eton Dornley Lake, Reino Unido, nas categorias AMx1 e AWx1, nas quais são utilizados barcos individuais, com assento fixo, sendo masculino e feminino, respectivamente, pode-se calcular a velocidade média atingida pelos barcos, apresentadas na tabela 2.2:

Tabela 2.1: Tempos (SABATINI, 2007)

Categoria	Sexo	Distância (m)	Tempo (s)
AM1x	Masculino	1000	328.87
AW1x	Feminino	1000	374.87

Tabela 2.2: Velocidades (SABATINI, 2007)

	Velocidade (m/s)	Média
Masculino	3,04	2,85
Feminino	2,67	

Essas categorias, segundo a regulamentação da FISA, requerem o uso dos flutuadores como dispositivo de segurança.

Os barcos utilizados nesta categoria são os chamados ‘single skiff’, modelo utilizado para a competição. O modelo ‘canoe’ é utilizado como barco de treinamento, uma vez que possui uma maior área de casco e assim maior estabilidade para atletas iniciantes.

2.1.2 Dados para simulação

A densidade da água considerada para a simulação, com salinidade de 3,5%* a 15 °C, é de 1025.9 kg/m³. A viscosidade dinâmica da água nas mesmas condições referidas acima é 1.18831x10⁻⁶ m²/s. A faixa de velocidades considerada na simulação foi de 0 a 5m/s, baseada na velocidade média atingida pelos barcos (SABATINI, 2007).

* Esse valor indica a consideração de água do mar.

2.2 Material

O flutuador pode ser construído com uma infinidade de materiais diferentes. Como a sua utilização será feita sobre a água, semelhante a barcos e navios, uma pré-seleção de materiais foi feita, onde as possibilidades de materiais se restringem aos empregados na indústria naval.

-Aço: O aço é um material muito empregado na indústria naval, principalmente para embarcações de grande porte. Tem a vantagem de ser extremamente resistente e muito barato em relação aos outros materiais disponíveis. Apesar disso, uma estrutura de aço teria grande massa, já que seu peso específico é elevado. Outra desvantagem do aço é que ele apresenta baixa resistência à corrosão em águas salgadas. A construção do flutuador em aço iria requerer maquinário específico (máquina de solda, serra) e um técnico treinado para tais operações de construção. Isso aumentaria consideravelmente o valor unitário do flutuador, tornando-o inviável. A tabela 2.3 apresenta algumas das propriedades do aço.

Tabela 2.3: Propriedades do aço (CALLISTER, 2002)

Propriedade	Valor
Densidade	7,85 g/cm ³
Coeficiente de Poisson	0,3
Módulo de Elasticidade	207 GPa
Limite de Escoamento	220 MPa
Limite de Resistência à Tração	450 MPa

-Ligas de Alumínio: Também utilizada para barcos de grande comprimento, essas ligas são mais resistentes à corrosão do que o aço. Seu custo de fabricação é mais elevado, tanto pelo custo do alumínio, quanto pelo custo do trabalho de solda ser maior que o de fabricação em aço. Assim como no caso do aço, a construção com

liga de alumínio também necessitaria de equipamentos específicos e operadores habilitados. A tabela 2.4 apresenta algumas propriedades do Alumínio.

Tabela 2.4: Propriedades da liga de alumínio (CALLISTER, 2002)

Propriedade	Valor
Densidade	2,70 g/cm ³
Coeficiente de Poisson	0,33
Módulo de Elasticidade	69 GPa
Limite de Escoamento	75 MPa
Limite de Resistência à Tração	185 MPa

-Fibra de Vidro (Tipo E): A fibra de vidro do tipo E é o tipo mais utilizado por construtores de barcos. Ela possui baixo teor alcalino, boa resistência à tração e boa rigidez em relação à flexão. Apresenta, além disso, alta resistência à temperatura. Comparada ao aço ou o alumínio possui baixa densidade específica. A tabela 2.5 apresenta algumas propriedades da fibra de vidro.

**Tabela 2.5: Propriedades da fibra de vidro E – Matriz poliéster
(CALLISTER, 2002)**

Propriedade	Valor
Densidade	1,5 g/cm ³
Coeficiente de Poisson	0,22
Módulo de Elasticidade	31,0 GPa
Limite de Escoamento	----
Limite de Resistência à Tração	350 MPa

-Kevlar[®] (Aramida): São utilizadas quando é necessária maior rigidez e leveza. Essas fibras apresentam grande resistência específica, muito maior que a de fibra de vidro.

Tem elevada resistência ao impacto, o que diminui a propagação de trincas e micro fissuras. São mais difíceis de fabricar do que as fibras de vidro pois sua laminação deve ser feita com maior cuidado. As ferramentas que farão o corte das fibras deverão ser extremamente afiadas. O custo dessa fibra pode atingir de oito a quinze vezes o custo da fibra de vidro tipo E. A tabela 2.6 apresenta algumas propriedades da aramida.

Tabela 2.6: Propriedades da fibra aramida – Matriz epóxi (CALLISTER, 2002)

Propriedade	Valor
Densidade	1,4 g/cm ³
Coeficiente de Poisson	0,34
Módulo de Elasticidade	76 GPa
Limite de Escoamento	---
Limite de Resistência à Tração	450 MPa

-Fibra de Carbono: Existem vários tipos de fibras de carbono, mas as utilizadas em barcos têm geral densidade entre a do vidro e a do Kevlar[®]. Possuem excelente resistência à fadiga e vibração. Sua resistência à tração é comparável com a das fibras de vidro R e S, e assim, superior à da fibra de vidro E. As fibras de carbono são muito quebradiças e normalmente são utilizadas em conjunto com outras fibras. Além disso, seu custo é de 15 a 40 vezes superior ao da fibra de vidro tipo E. A tabela 2.7 apresenta algumas propriedades da fibra de carbono.

Tabela 2.7: Propriedades da fibra de carbono – Matriz epóxi (CALLISTER, 2002)

Propriedade	Valor
Densidade	1,7 g/cm ³
Coeficiente de Poisson	0,25
Módulo de Elasticidade	220 GPa
Limite de Escoamento	---
Limite de Resistência à Tração	760 MPa

-Madeira: A madeira, utilizada como matéria prima principal na indústria naval por vários séculos, perdeu esse posto pelo fato de não ser um material de engenharia estável. A sua resistência à tração é relativamente fácil de ser obtida, porém, para se atender aos requisitos de resistência à flexão da estrutura ou rigidez exige-se que a estrutura seja superdimensionada. Tem boa resistência à fadiga e à concentração de tensões, além de ser um bom isolante térmico. A principal deficiência da madeira é estar susceptível à degradação e absorver umidade. Além disso, exige mão de obra especializada e maquinário específico para a construção. A tabela 2.8 apresenta algumas propriedades da madeira.

Tabela 2.8: Propriedades da madeira - carvalho (CALLISTER, 2002)

Propriedade	Valor
Densidade	0,61 g/cm ³
Coeficiente de Poisson	
Módulo de Elasticidade	11 GPa
Limite de Escoamento	---
Limite de Resistência à Tração	112 MPa

2.3 Formato do fundo do casco

Os formatos possíveis de serem utilizados no flutuador são também os já utilizados nos cascos pela indústria naval, assim como modelos mais simplificados, como cilindros. As próprias figuras ilustrativas dos diversos tipos de cascos aqui apresentadas são de aplicações em barcos, mas servem como referência para a diferenciação dos mesmos.

-Casco Cilíndrico: Sua fabricação é simples, mas apresenta elevada resistência ao deslocamento, reduzindo o desempenho. Um desenho ilustrativo desse tipo de casco pode ser visto na figura 2.1.

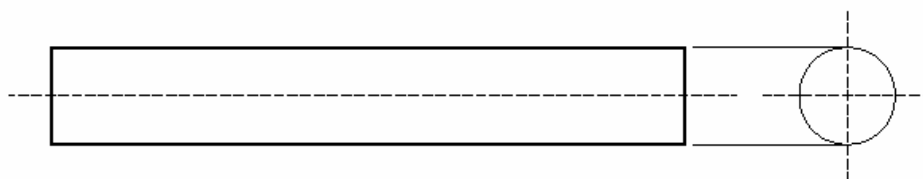


Figura 2.1: Esboço do flutuador de casco cilíndrico

-Casco Cilíndrico com Extremidade Inclinada: É o casco utilizado atualmente pelo E. C. Pinheiros. Apresenta um melhor desempenho em relação ao anterior, mas também oferece grande resistência ao deslocamento. Um desenho ilustrativo desse tipo de casco pode ser visto na figura 2.2.

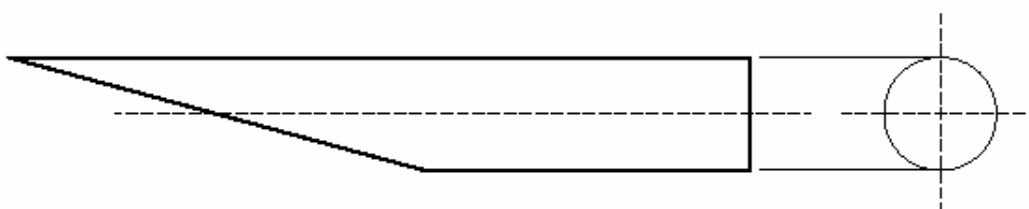


Figura 2.2: Esboço do flutuador cilíndrico com extremidade inclinada

-Casco com Fundo Plano: Apesar de apresentarem bom desempenho para baixas velocidades, tendem a ser estáveis somente no caso em que a superfície da água esteja calma. No caso em que superfície da água esteja agitada, sua navegação se torna mais difícil devido ao choque do plano com as ondas. Seu custo de fabricação é baixo. Um exemplo de barco com esse tipo de casco pode ser visto na figura 2.3.

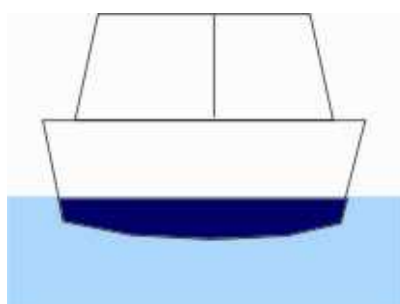


Figura 2.3: Exemplo de um barco com casco de fundo plano (Associação do Conhecimento Náutico, 2007).

-Casco com Fundo em V: O formato desse casco torna o deslocamento estável em águas turbulentas ou com ondas. Apesar disso, torna-se necessária grande potência para se atingir a velocidade onde planeio (velocidade onde o casco se eleva sobre a superfície e plana, sustentado pelo empuxo da água). A estabilidade do casco e a potência requerida para se atingir a velocidade de planeio são proporcionais à profundidade do V. No caso do remo, como a potência fornecida não é constante e sim alternada (a cada remada), pode se considerar que potência é perdida a cada remada para se atingir a velocidade de planeio. Ou seja, a cada remada, se o flutuador adentrar à água, será gasta uma certa quantidade de energia do remador para trazê-lo à velocidade de planeio novamente. Um exemplo de barco com esse tipo de casco pode ser visto na figura 2.4.

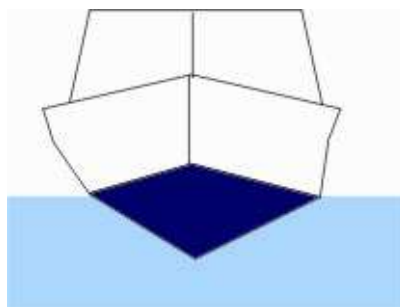


Figura 2.4: Exemplo de um barco com casco de fundo em V (Associação do Conhecimento Náutico, 2007).

-Casco com Fundo Redondo: Esse tipo de casco à velocidades lentas proporciona uma fácil locomoção por sobre a superfície da água. Sua estabilidade pode ser aprimorada com a instalação de quilhas no fundo do casco. Um exemplo de barco com esse tipo de casco e munido de quilha pode ser visto na figura 2.5.



Figura 2.5: Exemplo de um barco com casco de fundo redondo (Associação do Conhecimento Náutico, 2007).

-Casco de Multi-Armação: Esse tipo de casco proporciona maior estabilidade, porém é desvantajoso para manobras à altas velocidades. Em linha reta são velozes comparados aos outros tipos de cascos. Sua fabricação é mais difícil, devido às suas formas. Um exemplo de barco com esse tipo de casco pode ser visto na figura 2.6.

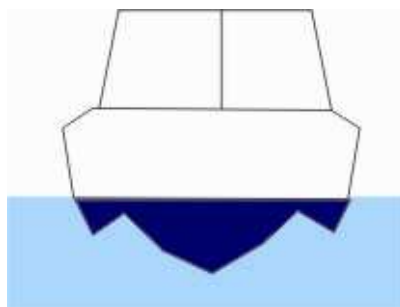


Figura 2.6: Exemplo de um barco com casco de multi-armação (Associação do Conhecimento Náutico, 2007).

2.4 Preenchimento

As possíveis alternativas de preenchimento do flutuador devem ser avaliadas, para garantir a seleção da solução mais adequada.

-Inteiro: Os flutuadores completamente preenchidos com o material de fabricação do casco têm a vantagem de impedirem a penetração de água, evitando assim que o seu peso fique desbalanceado. Apesar disso, a massa do flutuador será bem maior do que um casco oco e haverá maior gasto de material, aumentando o custo de fabricação.

-Oco: Apesar de serem susceptíveis à penetração de água, no caso em que apareça algum orifício ou trinca em sua estrutura, têm massa inferior ao casco inteiro. Além disso, haverá economia de material. Uma solução para o problema da entrada de água é a presença de um orifício específico para a retirada da mesma na parte superior do flutuador.

-Preenchimento de Isopor: A inserção de um preenchimento de isopor no casco dificultaria a fabricação, dependendo do material a ser escolhido e não evitaria totalmente a entrada de água.

2.5 Elementos de Ajuste e Fixação

Nesse item avaliam-se os elementos de ajuste e fixação possíveis de serem utilizados no projeto, para a determinação da solução mais adequada.

2.5.1 Ajuste vertical

Várias são as possibilidades de se fazer um ajuste relativo vertical entre duas peças distintas. Algumas dessas alternativas estão descritas abaixo, com suas vantagens e desvantagens.

-Barra Guia: Esse sistema (que pode ser visualizado na figura 2.7), de barra sem a perfuração é o de construção mais simples. A fixação na altura desejada se dá apenas por pressão de contato entre uma braçadeira e a barra. Esse sistema permite a regulação em qualquer altura desejável. Suas desvantagens, porém também são superiores. Não impede a montagem inclinada e, além disso, possibilita deslizamento da barra, no caso em que a pressão da braçadeira não seja suficiente para suportar as forças exercidas na barra.

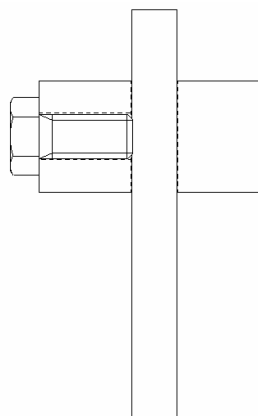


Figura 2.7: Desenho esquemático da barra guia

-Parafuso Guia: Esse sistema de ajuste (que pode ser visualizado na figura 2.8), apesar de possibilitar um ajuste fino da altura e um fácil travamento na posição desejada. Sua principal desvantagem reside no fato de esse sistema permitir uma rotação relativa entre as partes, que possibilita uma montagem com um ângulo indesejável.

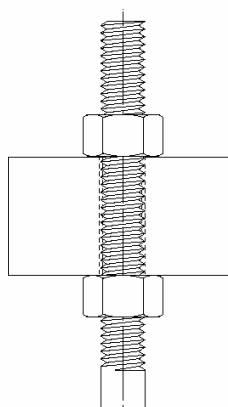


Figura 2.8: Desenho esquemático do parafuso guia

-Barra Guia (Perfurada): Esse sistema é inferior em relação ao ajuste da altura, permitindo que apenas algumas alturas pré-definidas sejam utilizadas (referentes a cada orifício da barra), mas como há o orifício para travamento, não há perigo de haver montagem inclinada. Ele pode ser visualizado na figura 2.9.

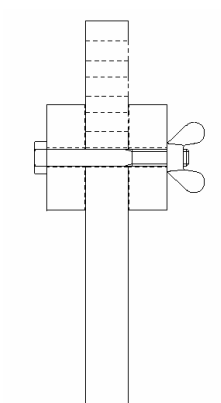


Figura 2.9: Desenho esquemático da barra guia perfurada

-Tubo Quadrado (Perfurado): Esse sistema impede a montagem incorreta, pois o formato quadrado do tubo limita a rotação do mesmo, mas também permite que apenas algumas alturas pré-definidas sejam utilizadas. Esse sistema pode ser visualizado na figura 2.10.

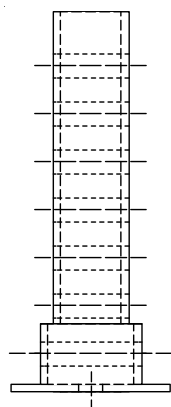


Figura 2.10: Desenho esquemático do tubo quadrado perfurada

2.5.2 Ajuste vertical – Travamento

Para o ajuste da altura do flutuador, além do sistema de movimento vertical da haste de fixação, deve também ser levado em conta o método usado para o

travamento dessa haste na posição desejada. Esse método deve proporcionar um travamento seguro, rápido e fácil. Abaixo estão listadas as alternativas analisadas para essa função.

- Parafuso e porca sextavada: Essa é a alternativa mais simples e barata para o problema. O parafuso determina e fixa a altura do sistema de ajuste vertical e a porca é utilizada pra impedir que o parafuso escape ou se solte. Apesar de muito simples e barata, essa solução apresenta diversos inconvenientes. O primeiro deles é o fato de que a rosca do parafuso dificulta a inserção do mesmo no orifício de travamento do ajuste de altura. Como não é desejável que haja folga nesse orifício, para que o flutuador não apresente movimento relativo na vertical durante sua utilização, a rosca pode atrapalhar a inserção do parafuso. Outro ponto negativo desse sistema é que a fixação não é prática, já que quase sempre a instalação do flutuador é feita com o barco já na água e ter de aparafusar nessa condição pode ser demorado e ainda corre-se o risco de a porca cair na água e se extraviar.

- Parafuso e porca borboleta: Essa é uma alternativa igualmente simples, porém trás a vantagem de facilitar a instalação, já que não se faz necessária nesse caso a chave de boca para o aperto do parafuso. Nesse caso, a porca é apertada com a mão, já que as abas da mesma são feitas com esse propósito. Essa solução ainda apresenta o problema da rosca atrapalhar a sua inserção. Abaixo, na figura 2.11 pode-se ver uma imagem de um parafuso com porca borboleta.



Figura 2.11: Porca borboleta

- Parafuso e manípulo: Nesse caso, utiliza-se um manípulo ao invés da porca borboleta. O manípulo é uma peça de borracha especialmente desenvolvida para que o aperto seja feito com a mão. A vantagem do manípulo em relação à porca borboleta é que seu desenho, com várias reentrâncias facilita o ajuste da mão no mesmo e o conseqüente aperto. Ainda apresenta o problema da rosca que atrapalha a inserção. Outro ponto negativo dessa alternativa é que, dependendo da deficiência do usuário, caso ele tenha restrições de movimento na mão, a utilização do manípulo se torna extremamente difícil (MUTCHNIK, 2007). Na figura 2.12 pode-se ver uma imagem de um manípulo.



Figura 2.12: Manípulo (Trit Indústria e Comércio Ltda, 2007)

- Pino com cupilha: Essa alternativa resolve o problema da dificuldade de inserção, já que não apresenta rosca e ainda é de fácil manuseio por todos, independentemente de suas deficiências. Nessa alternativa, um pino é confeccionado com o diâmetro do furo e para que ele não se desprenda, é instalada uma cupilha. Na figura 2.13 pode-se visualizar essa alternativa.



Figura 2.13: Pino com orifício para cupilha

- Trava rápida de esferas: Essa alternativa também não apresenta roscas e ao invés da cupilha utiliza um sistema com esfera para proporcionar travamento. Trata-se de uma pino de aço (figura 2.14) provido de um botão. Ao se pressionar o botão, as

esferas ficam livres e o pino é inserido no furo. Ao se liberar o botão, as esferas proporcionam o travamento desejado. Uma dificuldade da utilização desse pino é o fato de que no caso do flutuador o pino é retirado com o barco ainda na água e a necessidade de se pressionar o botão para frente e puxar o pino para trás para se retirar o mesmo torna uma tarefa difícil nesse caso. Outro ponto negativo dessa alternativa é o preço, em torno de R\$ 110,00 o par.



Figura 2.14: Trava rápida de esferas (Trit Indústria e Comércio Ltda, 2007)

- Trava rápida de dupla ação: Essa alternativa é extremamente semelhante à da trava rápida de esferas, com o diferencial de resolver a principal dificuldade apresentada na utilização da outra. Nesse caso, as esferas são liberadas tanto ao se pressionar o botão ou então ao se puxar a barra (como visto na figura 2.15). Assim, a inserção e remoção da trava no flutuador, mesmo que este se encontre sobre a água é extremamente fácil e rápida. O custo dessa alternativa também é bastante elevado, podendo chegar a R\$ 140,00 o par.

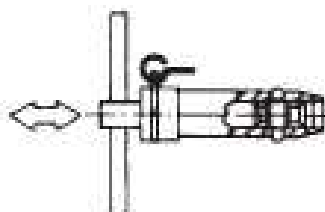


Figura 2.15: Desenho esquemático da trava rápida de dupla ação. (Trit Indústria e Comércio Ltda, 2007)

2.5.3 Fixação em tubos

A fixação do flutuador exige que se ligue a estrutura do flutuador à estrutura do barco (no caso, ao braço da forqueta). Esse sistema de fixação deve ligar um tubo (o braço da forqueta) à estrutura proveniente do flutuador. Para isso, faz-se necessário que se analisem alternativas para essa fixação.

-Braçadeira Suporte: É o sistema atualmente utilizado pelo proponente. Consiste de uma peça metálica com três orifícios e uma fissura. No orifício central se insere o tubo do suporte da forqueta, para a fixação do flutuador ao barco. A junção entre eles é feita por um parafuso que inserido em outro orifício da braçadeira (o que atravessa a fissura) e apertado deforma a mesma (eliminando o espaço da fissura). No terceiro orifício, localizado na parte cilíndrica da peça, insere-se o parafuso que fará a ligação da braçadeira com a peça proveniente do flutuador (no caso atual, a barra guia perfurada). Esse modelo utilizado pelo proponente apesar de funcional apresenta algumas falhas. Uma delas é o fato de apenas um parafuso fazer a ligação da barra guia com a braçadeira. Isso não impede que haja um giro relativo entre elas, o que inclinaria o flutuador em relação à água. Outro problema detectado é que para se realizar a montagem, é necessário que se desmonte inteiramente o braço da forqueta. A figura abaixo (figura 2.16) mostra a alternativa similar a usada pelo proponente, porém com a presença de dois orifícios para que se faça a fixação da braçadeira sem o problema apresentado na braçadeira antiga.

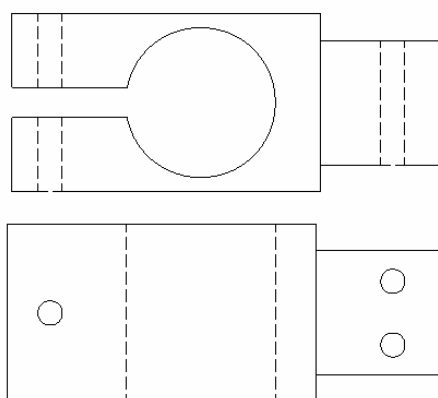


Figura 2.16: Desenho esquemático da braçadeira suporte (corrigida)

-Braçadeira Fendida: Essa alternativa faz uso de uma braçadeira de tubos que por ser dividida em duas metades permite a sua instalação no braço da forqueta sem que haja a necessidade de se desmontar o mesmo. Isso torna a montagem do flutuador no barco mais prática e menos trabalhosa. Na base dessa braçadeira será fixada a estrutura para que se faça a ligação do braço da forqueta com a estrutura de fixação proveniente do flutuador. A figura 2.17 exemplifica esse tipo de braçadeira.

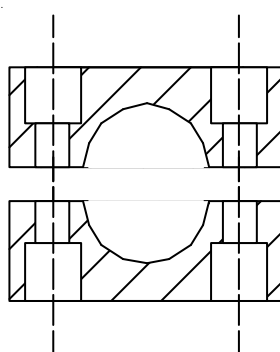


Figura 2.17: Desenho esquemático da braçadeira fendida

2.6 Métodos para o dimensionamento de Tubos e Barras

Deve-se dimensionar os tubos que serão usados para fixar o flutuador ao barco e fazer o ajuste vertical. Esses tubos estão sujeitos a uma carga de compressão e à flexão. Assim, deve-se dimensioná-los para flambagem e cisalhamento. O dimensionamento será feito de modo a verificar a aplicabilidade de tubos existentes no mercado ao projeto.

A flambagem ocorre em membros longos e esbeltos carregados axialmente em compressão (GERE, 2003). Se esse membro for muito esbelto ele pode defletir lateralmente e falhar por flexão em vez de falhar por compressão direta do material. Quando essa flexão lateral ocorre, ela é chamada de flambagem.

O dimensionamento para a flambagem se dá através do cálculo do carregamento crítico, e a comparação desse valor com o carregamento de compressão aplicado no

caso real. O valor do carregamento crítico depende da condição das extremidades do membro. No caso relevante para o presente projeto, uma das extremidades encontra-se engastada e a outra tem a rotação restringida, porém está livre para diminuir de tamanho. Na figura 2.18, temos uma ilustração desse caso:

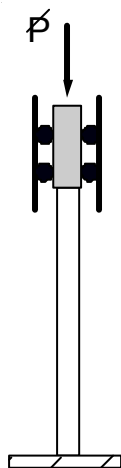


Figura 2.18: Modelo para dimensionamento à flambagem

Assim, a equação para o dimensionamento do carregamento crítico para esse caso é dada pela seguinte equação (GERE, 2007):

$$P_{cric} = \frac{4\pi^2 EI}{L_t^2}$$

2.7 Métodos para o dimensionamento da espessura de cascos

O método para dimensionamento da espessura de cascos tem a finalidade de determinar a espessura mínima de cascos de embarcações para que suportem cargas aplicadas sobre eles. Após extensa pesquisa sobre qual seria o modelo mais adequado para o dimensionamento da espessura do casco do flutuador, decidiu-se por fazê-lo com um modelo aplicado a submarinos sujeitos a uma determinada pressão externa. Este modelo leva em consideração os reforços estruturais, geralmente utilizados neste tipo de embarcação, e foi criado por Windenburg (1933), baseado no critério de Von Misses. O equacionamento do modelo é dado da seguinte forma (SCHULTZ, 2002):

$$P = \frac{2,42E \left(\frac{t}{d} \right)^{5/2}}{(1-\mu)^{3/4} \left[\frac{L}{d} - 0,45 \left(\frac{t}{d} \right)^{1/2} \right]}$$

logo

$$P(1-\mu)^{3/4} \left[\frac{L}{d} - 0,45 \left(\frac{t}{d} \right)^{1/2} \right] = 2,42E \left(\frac{t}{d} \right)^{5/2}$$

Para o caso da utilização desse modelo para ao dimensionamento do flutuador, alguns aspectos devem ser levados em consideração. Nesse caso, a distância entre os reforços será dada como o comprimento total do dispositivo e o raio será uma medida média entre as dimensões da seção transversal. Além disso, a pressão que seria localizada em uma pequena área será expandida para toda a área do flutuador, já que esta é a condição de aplicação do modelo e superestima os esforços aplicados, funcionando como um coeficiente de segurança.

Será definida uma condição padrão para esse dimensionamento, levando em conta uma situação de exigência máxima do flutuador, dentro do uso recomendado

para o mesmo. Esta situação é representada por um remador de massa elevada (100 Kg), concentrando todo o seu peso para um mesmo lado da embarcação. O peso referente à massa do remador é P , e adota-se a hipótese de que seu centro de gravidade está deslocado de X mm da linha central longitudinal da embarcação. Essa configuração é pode observada na figura 2.19, a seguir:

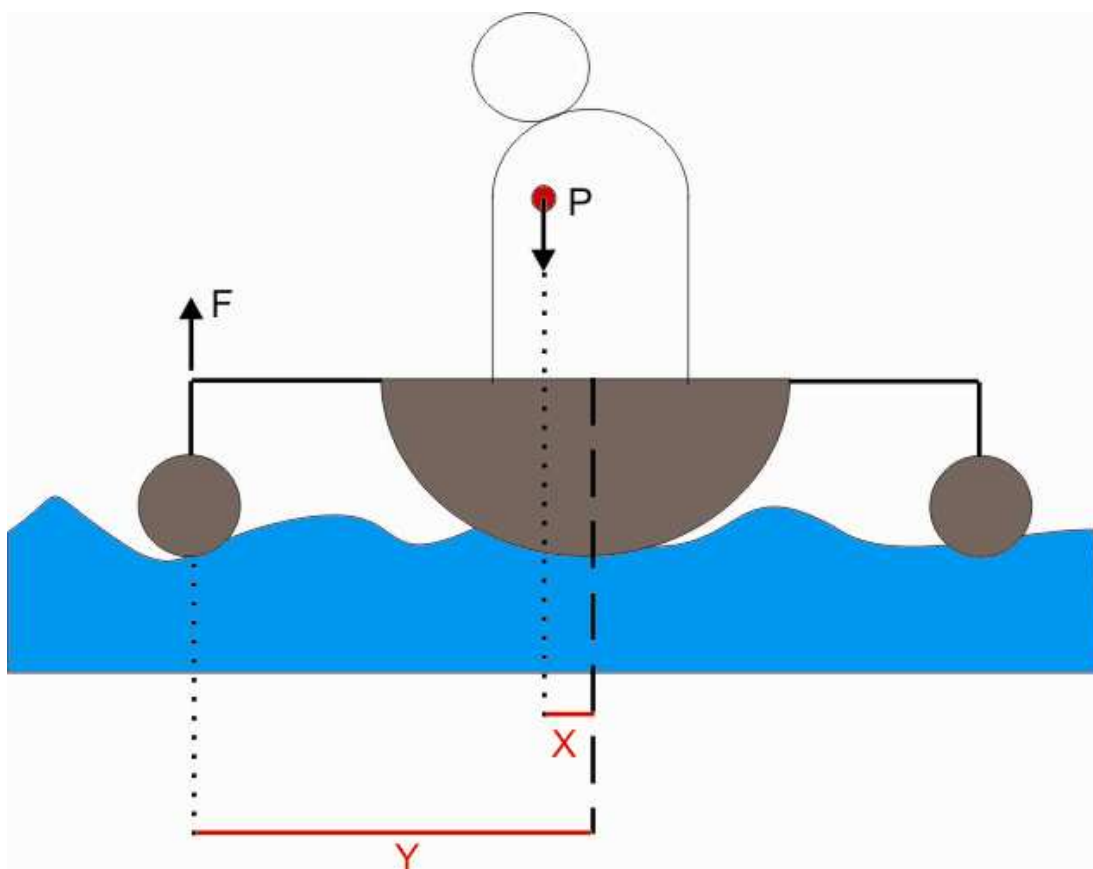


Figura 2.19: Esquema com remador desequilibrado e centro de massa deslocado

A letra “P” na figura representa o peso do remador. A letra “F” é a força que do flutuador para se opor ao movimento de giro. Fazendo-se a somatória de momentos em relação ao plano vertical que passa pelo centro do barco, pode-se determinar F .

$$P \times X = F \times Y$$

$$\text{portanto } F = \frac{P \times X}{Y} N$$

O flutuador deve então ser capaz de suportar uma carga concentrada de F transmitida por sua haste de fixação para uma base de fixação, e dessa base para o flutuador. Considerando a área dessa base como $A \text{ (mm)}^2$, a força F gera uma pressão local de F/A (MPa). Assim, de posse desses dados é possível a utilização do modelo para a obtenção da espessura da parede t.

2.8 Método para o dimensionamento do volume mínimo

O princípio de Arquimedes (287 – 212 AC) diz que a força de empuxo apresenta módulo igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo, sua direção é vertical e seu sentido é para cima (MUNSON, 2003). Em outras palavras, a força de empuxo é a força exercida pelo fluido que atua nos corpos nele presentes. Essa força é sempre vertical com sentido para cima e é efeito de um gradiente de pressões. Esse princípio permite o cálculo do volume mínimo que certo corpo deve ter, para que a carga nele exercida seja devidamente anulada pelo empuxo gerado. Através dele é possível constatar a seguinte igualdade (MUNSON, 2003):

$$E = \gamma V \quad N,$$

Onde, E= Força de empuxo

γ – peso específico do fluido

V – Volume do corpo

Considerando que nesse corpo atue uma força F com direção vertical e sentido para baixo. Sabemos que para que o corpo não afunde, o seu volume deve ser tal que permita que o empuxo anule o efeito da força F . Assim, no caso específico do flutuador, o volume deslocado em caso de imersão total do flutuador, sugerido pela mesma situação considerada na seção anterior, deve ser no mínimo suficiente para se opor ao momento gerado pelo remador em desequilíbrio.

Nesse caso, $\vec{E} = -(\vec{F} + \vec{G})$ (MUNSON, 2003).

Onde, G é peso referente à massa do próprio corpo (flutuador)

Dessa forma, podemos calcular o volume mínimo através da relação (MUNSON, 2003):

$$V = \frac{F + G}{\gamma} \text{ m}^3$$

2.9 Softwares de simulação

Há uma infinidade de softwares disponíveis no mercado para o desenvolvimento e simulação de cascos para uso em embarcações. Foi selecionado um software com interface amigável, e que apresentasse resultados da Resistência Total em função da Velocidade, a fim de que se pudesse comparar os flutuadores já utilizados com o que foi desenvolvido no presente projeto. Frisou-se uma simulação simples, pois há softwares no mercado que são muito complexos, e apesar de possibilitarem resultados muito realistas, exigiriam um enorme tempo de estudo técnico para possibilitar o seu uso.

Além disso, pesquisaram-se softwares que disponibilizassem de versões demos, já que a curta utilização não justificaria a aquisição de uma licença. Dentre os softwares pesquisados, testou-se o MaxSurf^{*}. Esse software permite que se construa o casco desejado em sistema *Computer Aided Design* (CAD) através de *Nonuniform Rational B-Splines* (NURBS), e a partir dos desenhos obtenha-se a simulação de desempenho, com a entrada de dados manual ou automática. Essa versatilidade permite o uso do software em diversas aplicações e mostrou-se adequado para os objetivos do trabalho.

A simulação das curvas foi feita utilizando-se o aplicativo HullSpeed, que acompanha o software. A simulação no HullSpeed é baseada em diversos parâmetros que podem ser calculados automaticamente, baseados no desenho elaborado no software principal, ou inseridos manualmente, se houver disponibilidade dos dados necessários, sem que haja a necessidade de se efetuar o desenho. Pode-se também alterar os dados que foram medidos automaticamente, no caso em que os parâmetros escolhidos pelo software não forem corretos. O manual do programa recomenda que alguns parâmetros específicos sejam checados, pois sua determinação pode não ser precisa. O mesmo manual indica o uso dos diferentes algoritmos disponíveis, de acordo com o tipo de embarcação que se estiver projetando, já que cada um é indicado para determinada família de cascos.

É prática da Arquitetura Naval, dividir a resistência em componentes que são regidos e medidos por diferentes leis. A Resistência Total é dividida em um componente dependente do número de Froude^{*} e outro dependente do número de Reynolds^{**}, sendo chamados respectivamente de Resistência de Onda e Resistência Viscosa.

Os algoritmos disponíveis pelo programa são: Savitsky, Lahtiharju, Holtrop, Compton, Fung, van Oortmerssen, Series 60, Delft Series e Método Analítico para corpos esbeltos. No caso do presente estudo o último algoritmo citado é o mais indicado para a simulação do flutuador.

^{*} Software desenvolvido pela Formation Design Systems, versão 11.12

^{*} O número de Froude é um adimensional que relaciona velocidade a uma razão de dimensões, e é usado para medir resistência de corpos se movendo através da água. Em homenagem a William Froude.

^{**} O número de Reynolds é um quociente de forças inerciais por forças viscosas, que determina o regime de um escoamento. Em homenagem a Osborne Reynolds.

2.9.1 Método analítico para corpos esbeltos

O método analítico utilizado pelo programa é baseado no trabalho de Tuck et al (1990) e Couser et al (1996). Este método tem aplicação para cascos únicos ou múltiplos, porém, com limitação da faixa de velocidades da simulação devido a omissão das forças de planeio. Na realidade, o Método para Corpos Esbeltos calcula apenas a Resistência de Onda. Para a componente viscosa o programa utiliza o coeficiente ITTC'57* junto a um coeficiente de forma que deve ser especificado. Com isso obtém-se a Resistência Total ao avanço.

O principal cuidado necessário ao se aplicar esse método se refere a determinação de se o casco é realmente esbelto. A sua aplicabilidade é recomendada para razões altas de esbeltez, em torno de 5.0 a 6.0. A relação de $L/V^{1/3}$ também deve ser respeitada, onde L é o comprimento do casco na linha d'água e V o volume deslocado pela porção imersa do casco. O máximo número de Froude para o qual o método é eficaz também depende dessa razão. A lógica é que quanto mais esbelto, maior o número de Froude possível, mas pode-se definir um limite do número de Froude em torno de 1.0. A não observância dessas condições podem levar a falsos resultados de simulação.

* ITTC'57 é uma fórmula de correlação para determinação do coeficiente de resistência a fricção (C_f) utilizado para o cálculo da velocidade de fricção.

3. ANÁLISE DOS FLUTUADORES EXISTENTES

3.1. Flutuadores desenvolvidos pelo proponente

A partir do momento em que se deu início ao programa de remo adaptável, surgiu a necessidade de se utilizarem flutuadores para garantir a segurança dos atletas. O desenvolvimento dos flutuadores então ficou a cargo do próprio senhor José Paulo de Lima, treinador da modalidade no clube. O primeiro protótipo desenvolvido por ele era basicamente um cano de PVC (figura 3.1), com dois cotovelos fechando as extremidades e criando um ângulo de 45° na face frontal, de forma que a água não se chocasse com um plano perpendicular a ela, o que aumentaria a resistência ao deslocamento.



Figura 3.1: Primeiro flutuador desenvolvido

Esse flutuador ligado ao barco através de uma barra de alumínio e uma braçadeira de suporte também fabricada de alumínio. Na figura 3.2, podemos ver essa braçadeira suporte em duas vistas.



Figura 3.2: Braçadeira suporte (vistas lateral e superior)

Após algum tempo usando esse modelo o senhor José Paulo desenvolveu outro modelo (figuras 3.3 a 3.5) novamente baseado em um cano de PVC, com um acabamento ligeiramente melhor. Uma das extremidades foi fechada com fibra de vidro e na outra foi feito um corte inclinado, de modo que a água se chocasse com o flutuador em um ângulo maior que 45° . Essa extremidade inclinada também foi fechada com fibra de vidro. A forma com esse flutuador era fixado ao barco manteve-se inalterada em relação ao flutuador antigo.



Figura 3.3: Flutuador atualmente utilizado (vista frontal e isométrica)



Figura 3.4: Flutuador atualmente utilizado (vista lateral)



Figura 3.5: Flutuador em uso

Apesar de esses modelos fornecerem relativa segurança ao atleta, eles não apresentam bom desempenho quando se trata de velocidade e hidrodinâmica. Para simples treinamento, sua utilização seria aceita, porém no caso de competições de alto nível, qualquer perda de desempenho dos atletas provocadas pelo flutuador deve ser minimizada, pois poderá influenciar diretamente no resultado final da prova.. As dimensões dos flutuadores desenvolvidos pelo proponente são mostradas nas figuras 3.6 e 3.7.

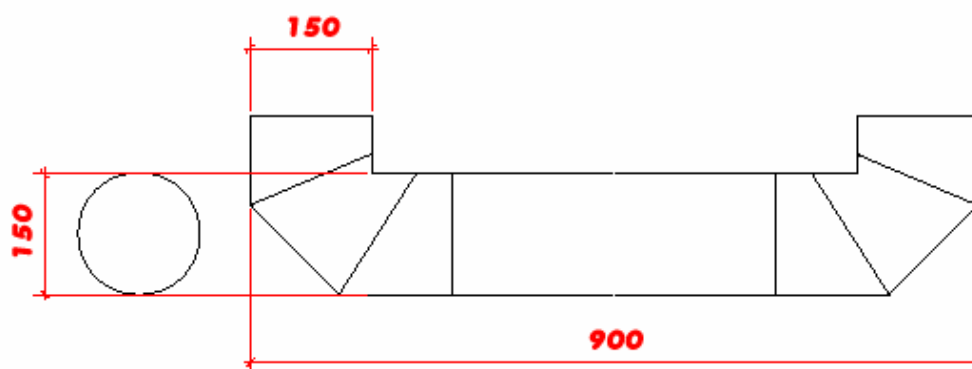


Figura 3.6: Dimensões do primeiro flutuador utilizado

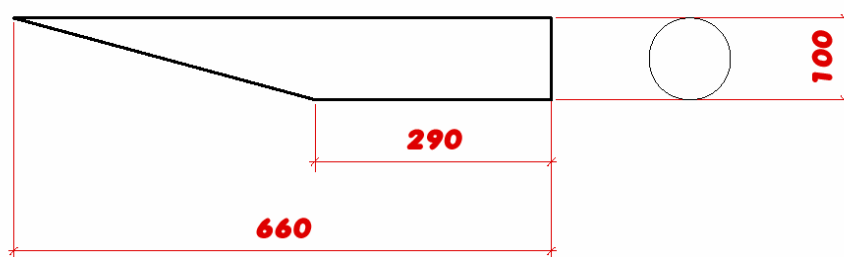


Figura 3.7: Dimensões do flutuador atualmente utilizado

Posteriormente, essas medidas serão utilizadas na simulação desses flutuadores em um software para avaliar os seus desempenhos, comparado às alternativas que serão propostas nesse trabalho.

3.2. Equipamentos disponíveis comercialmente

Existem no mercado alguns flutuadores específicos para a prática do remo adaptável, porém não há no Brasil nenhum fabricante. Assim, a única forma de se comprar um flutuador seria importando de algum fabricante estrangeiro. Isso é

inviável porque o preço desses flutuadores é extremamente elevado, e ainda haveria incidência de taxas de importação, o que elevaria ainda mais esse preço.

Um dos modelos disponíveis é fabricado pela Alden Rowing Shells, empresa sediada nos EUA especializada na construção de barcos para remo. O flutuador fabricado por eles, o Alden Stabilizer System (figura 3.8) têm as dimensões de 1.219mm x 152mm x 102mm. É feito de fibra de vidro e custa em média U\$ 299,00 o par, sem considerar as taxas de importação e o frete, que encareceriam ainda mais o produto.



Figura 3.8: Flutuador Alden stabilizer system (Alden Rowing, 2007)

Outro modelo disponível no mercado é o Wintech Pontoon 7703 (figura 3.9), fabricado pela Wintec Racing, empresa australiana. Esse modelo também fabricado de fibra de vidro mede 939mm x 152mm x 105mm e pesa 1,36 Kg. Seu preço é de 225 U\$ o par, porém não vêm inclusas as peças de fixação ao barco que custam mais 25 U\$. Esses valores também não consideram as taxas de importação e frete.



Figura 3.9: Flutuador Wintech 7703 (Wintech Racing, 2007)

4. OBJETIVOS E REQUISITOS DO PROJETO

Tendo em vista o desenvolvimento dos flutuadores, foram determinados os objetivos e requisitos do projeto, tendo como base as necessidades declaradas pelo proponente, assim como necessidades avaliadas durante o desenvolvimento do projeto.

4.1. Objetivos do projeto

- Desenvolver novo modelo de flutuador hidrodinâmico, que minimize o arrasto com a água;
- Atender as regulamentações da FISA;
- Simular e comparar desempenho do modelo desenvolvido, dos disponíveis comercialmente e do usado atualmente pelo proponente;
- Selecionar materiais para minimizar o peso e custos;
- Definir metodologia para a construção detalhada, a ser utilizado por técnico não especializado;
- Desenvolver mecanismos que possibilitem uma rápida regulagem e montagem/fixação.;
- Validação em aplicação real com avaliação por parte dos atletas.

4.2. Especificações e requisitos do projeto

4.2.1. Especificação técnica das necessidades

A relação dos objetivos obtida a partir de consultas aos proponentes do (observadas no item 3.6), deve agora ser reavaliada, de forma a ser possível definir as especificações técnicas que deverão ser atendidas pelo flutuador. Para facilitar a geração desses dados, faz-se uso da análise sistêmica das características do produto (KAMINSKI, 2000), conforme pode ser visto na figura 4.1. Essa análise sistêmica consiste de um sistema de entradas/saídas, sendo elas desejáveis ou não. Pode-se ter uma idéia geral das necessidades declaradas do projeto ao se visualizar a imagem:

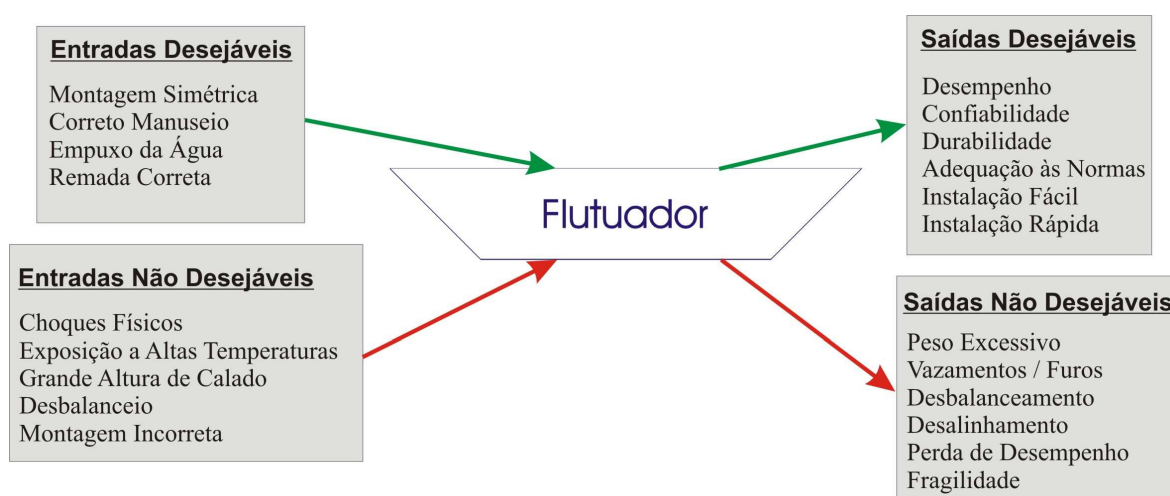


Figura 4.1: Análise sistêmica do flutuador.

Assim, torna-se mais simples a formulação das especificações técnicas do produto. Essas especificações têm a função de auxiliar na geração de alternativas de solução para o projeto e especificar, de maneira mais detalhada as necessidades observadas.

4.2.2. Requisitos construtivos

-O flutuador deverá ser projetado de modo que a sua fabricação seja possível com o uso de poucos recursos de ferramentas e de mão de obra. Assim, um técnico não especializado, deverá ser capaz de fabricar e reparar o produto, de preferência no próprio local de utilização (clube) e sem a necessidade de equipamento específico.

-O custo de fabricação do flutuador deverá ser baixo, de modo que a questão monetária não seja fator limitante para a utilização do mesmo. Como valor máximo, toma-se o valor do dispositivo disponível comercialmente de menor custo (US\$ 299,00).

-Para a construção do produto serão tomados como possíveis matérias primas as mesmas utilizadas para confecção naval (aço, madeira, fibras e outros).

-As dimensões máximas do flutuador terão como base um bloco retangular de dimensões 1342mm x 304mm x 210mm, dimensões essas referentes a 110% do comprimento do flutuador disponível comercialmente e 200% de sua largura e altura. Esses coeficientes que acrescentam 10% ou 100% às dimensões do modelo comercial foram tomados para que o projeto não se limitasse a nenhum formato específico e fossem possíveis análise dos diversos modelos de cascos. A diferença entre os coeficientes é devido ao fato de a altura e a largura afetarem diretamente no perfil frontal do casco. Esse coeficiente elevado permite uma gama maior de alternativas para esse casco. Um esboço desse bloco pode ser visto na figura 5.2.

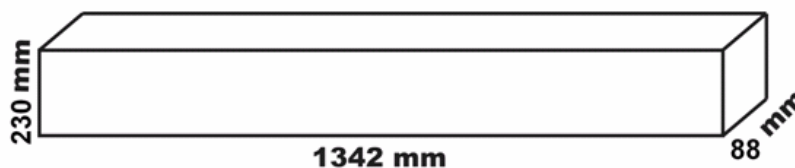


Figura 4.2: Bloco demonstrativo do requisito dimensional

4.2.3. Requisitos operacionais

-A função do flutuador é proporcionar segurança aos competidores e, portanto deverá ser projetado de forma a impedir que o barco emborque. Deverá suportar o desequilíbrio de atletas de até 100 kg.

4.2.4. Requisitos funcionais

-O projeto do flutuador deverá ser feito de modo a reduzir ao máximo a perda de rendimento, se comparado ao rendimento obtido pelo atleta sem os flutuadores. Além disso, pretende-se aumentar desempenho em relação aos flutuadores atualmente utilizados pelos atletas.

-A altura do flutuador em relação ao barco deverá ser ajustável, para que possa atender a vários atletas. Por norma da FISA os flutuadores devem estar em contato com a água (quando do barco parado), porém a altura do calado do flutuador não deve ser elevada, para evitar que o desempenho seja prejudicado. Assim, apenas com uma regulação vertical torna-se possível um ajuste ótimo tanto para atletas de baixa, quanto de elevada massa. A amplitude desse ajuste será de no máximo 100mm.

-O sistema de fixação dos flutuadores ao barco deverá ser projetados de tal forma que impeça a montagem incorreta do mesmo. Assim, evita-se que os mesmos fiquem em outra posição que não paralela ao barco. Isso é importante para que os flutuadores não influam no direcionamento do barco, forçando o atleta a fazer correções através da remada.

-Os flutuadores devem ser removíveis, para que o mesmo barco utilizado por um atleta regular possa também ser utilizado por um atleta de remo adaptável. Caso haja

elementos de auxílio à instalação dos flutuadores a serem fixados permanentemente no barco, essa fixação deverá ser feita de forma a esses elementos não influírem na remada e no desempenho do atleta quando da não utilização dos flutuadores. Além disso, a instalação e a remoção devem ser práticas e rápidas.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo sido determinados os objetivos a serem alcançados e os requisitos para o projeto, torna-se possível a concepção do flutuador, utilizando-se da teoria previamente exposta na Revisão (item 2) e das ferramentas disponíveis. Nessa fase do projeto já estão definidos o material, o tipo de casco, o tipo de fixação a ser utilizado, porém as justificativas para a escolha de cada um desses itens serão apresentadas posteriormente no item Resultados – Seleção e Justificativas (5.1).

O formato do fundo do casco selecionado foi o casco de fundo arredondado, principalmente por ser hidrodinâmico e por ter um elevado desempenho. O material selecionado para a construção dos flutuadores foi a fibra de vidro, principalmente pela facilidade de construção e pelo baixo custo, se comparada às outras fibras. Existem diversas maneiras de se compor a fibra de vidro, e para a definição da maneira mais apropriada no presente projeto, faz-se necessária uma análise mais detalhada desse material e seus componentes.

5.1. Construção em Fibra de Vidro

A construção em fibra de vidro tem algumas variáveis no que se refere aos materiais e aos processos possíveis de serem utilizados. Os materiais e os processos terão suas escolhas discutidas sempre em função do custo e da funcionalidade dos mesmos. Uma questão importante é a necessidade de se estabelecer um processo artesanal, possibilitando a construção do dispositivo no próprio local de treinamento, pelos técnicos de manutenção, uma vez que possibilitaria maior liberdade em relação à dependência de um local com mão-de-obra e processos especializados. Uma das principais características da fibra de vidro é a sua relativa simplicidade no que se refere ao manuseio e processamento. Essa é uma grande vantagem sobre os metais, os quais requerem ferramentas e processos mais complexos.

5.1.1. Fibra de vidro

A fibra de vidro consiste em micro-filamentos com diâmetros da ordem de um micrometro, que podem ser compostos de diversas formas. Há a chamada manta, onde os filamentos são picados e dispostos sem ordem. Eles adquirem a aparência de tecido com a adição de um agregante químico. As propriedades mecânicas da manta são moderadas, sendo usadas geralmente para o acabamento externo por produzir uma superfície lisa e uniforme. Já o tecido é feito a partir das fibras trançadas continuamente, formando uma rede quadriculada. Com isso, o tecido propicia melhores propriedades mecânicas ao composto final de fibra e resina. Tanto o tecido como a manta podem ser encontrados em diferentes gramaturas, e podem ser utilizados juntos e em várias camadas. Essa versatilidade do uso permite que se atinjam as propriedades mecânicas mais elevadas para um dispositivo modelado com o uso de várias camadas de fibra (LUBIN, 1982). Para o presente projeto, utilizar-se-á apenas o tecido, já que a peça será confeccionada a partir de um molde “fêmea”, o que elimina o problema de acabamento presente na laminação de peças a partir de um molde “macho”.

5.1.2. Resinas

As resinas utilizadas para construção de embarcações em fibra de vidro são termofixas. Os três tipos básicos são as resinas Poliéster, Epóxi e Vinil - Ester. Esses três tipos tem algumas características distintas e também variação de custo. As três resinas permitem a fabricação de compostos com fibra de vidro através de diversos processos tais como: laminação à mão, centrifugação, extrusão, “vacuum bag”*, etc (LUBIN, 1982).

* Sistema de modelamento em que vácuo é aplicado a um saco plástico onde se encontra a peça a ser modelada (molde, fibra e resina). Com o vácuo, o próprio plástico age como uma prensa, melhorando a qualidade e as propriedades da peça final.

5.1.2.1. Resina poliéster

Dentre as resinas poliésteres, existem diversas variações na composição que possibilitam diferentes aplicações. A resina poliéster é, basicamente, uma combinação de polímeros e monômeros reativos, que são curados por um catalisador a base de peróxidos. A resina poliéster comum, dita para “uso-geral”, é composta de uma mistura de Anidro Ftálico e Anidro Maleico esterificado com Propileno Glicol (LUBIN, 1982). Esta é a formulação mais comum, encontrada normalmente no comércio. Se no lugar do Anidro Ftálico for adicionado Ácido Isoftálico, obtém-se uma resina com melhores propriedades mecânicas, porém de maior custo. Outros tipos de resinas poliéster podem ser separadas pelas características alcançadas depois da cura, sendo elas: flexíveis, com baixo grau de contração, resistentes à luz solar ou ataques químicos e resistentes ao fogo.

As resinas poliéster são curadas com a adição de um catalisador. Este possui radicais livres que iniciam a reação em cadeia da polimerização. Esses radicais podem ser derivados, por exemplo, de peróxidos, os quais podem liberar os radicais na presença de calor, raios UV ou outra radiação de elevada energia. Normalmente, a resina poliéster contém em sua formulação um agente inibidor, o qual precisa ser neutralizado pelo catalisador antes da reação começar. Este período de indução permite que a resina tenha tempo suficiente para ser misturada, adicionada à fibra e ajustada ao molde antes de a reação de polimerização começar. Além disso, a decomposição dos peróxidos na resina poliéster é lenta e um acelerador pode ser utilizado para catalisar o próprio catalisador. Com a variação de proporções e na própria composição dos três agentes citados, é possível conseguir, para uma mesma resina, diferentes “comportamentos de cura”. Além disso, esses diferentes comportamentos geram diferentes temperaturas de pico (reação exotérmica), o que é um fator limitante, caso a aplicação em questão não suporte elevadas temperaturas.

Em geral, uma cura mais rápida terá uma temperatura de pico maior, chegando a extremos de mais de 200 °C (LUBIN, 1982). O comportamento de cura é geralmente descrito em função do SPI Gel Test* (LUBIN, 1982).

* Teste que mede, em condições controladas, a temperatura de pico da cura e seu respectivo tempo.

Outros agentes podem ser adicionados à resina com funções específicas. É o caso do agente tixotrópico, usado em casos de aplicações verticais para evitar o escoamento da resina. Outro componente pode ser uma cera que é solúvel na resina líquida, mas insolúvel no plástico curado, auxiliando o processo de cura criando uma superfície protegida do ar.

5.1.2.1.1. Propriedades

A resina poliéster pode ser formulada para produzir tanto plásticos duros e rígidos como plásticos moles e flexíveis. Estas propriedades são alcançadas com a variação na composição do monômero e variação de composição e proporção dos agentes catalisadores, aceleradores e inibidores. A composição com um agente de reforço, geralmente a fibra de vidro, traz mudanças enormes em relação às propriedades mecânicas do composto final. Um exemplo é a resistência a impactos que pode aumentar até 50 vezes com a composição (LUBIN, 1982).

5.1.2.2. Resina vinil ester

As resinas denominadas Vinil Ester são estruturas poliméricas que contém um acrilato ou um metacrilato como terminação. A estrutura de sua cadeia pode ser derivada de resinas epóxi, poliéster e algumas outras. As propriedades físicas da resina e como esta se apresenta para o manuseio dependem do tipo da sua terminação, do tipo e quantidade do co-reagente e do tipo e do peso molecular da sua cadeia polimérica. Dedicada a diversos usos, o tipo que contém metacrilato e estireno como co-regente é tipicamente utilizado na laminação com fibra de vidro. Assim como a resina poliéster, a cura depende da presença de radicais livres que podem vir de fontes químicas, térmicas ou radioativas (LUBIN, 1982).

5.1.2.2.1 Propriedades

As resinas Vinil Ester com metacrilato e estireno na sua composição tem como principal característica sua grande resistência a ácidos, bases e solventes quando curada, sugerindo aplicações em que esse característica é fundamental. O peso molecular da estrutura polimérica também afeta as propriedades da resina. Maiores pesos moleculares produzem plásticos mais rígidos e resilientes, porém com menor resistência a solventes e ao calor. Em comparação com as resinas poliéster, a vinil ester tem maior resistência a hidrólise, menor temperatura de pico da cura e menor contração após a mesma. Mesmo assim, sua força de adesão é moderada devido a essa contração. Assim como as resinas poliéster, esta resina possui um tempo finito de armazenamento, o qual depende do inibidor de polimerização adicionado na sua fabricação (LUBIN, 1982).

5.1.2.3. Resina epóxi

As resinas epóxi são caracterizadas pelo grupo epóxi que deve estar presente nas suas moléculas. Este é composto por dois átomos de carbono ligados entre si e um de oxigênio ligado aos dois anteriores. Há uma infinidade de resinas com diversas composições propiciando uma vasta variedade de propriedades da resina pré e pós cura. A cura da resina epóxi se dá através da ligação química do grupo epóxi com outras moléculas, formando uma rede tridimensional e levando a resina líquida a se solidificar. Agentes de cura podem ser formados por aminas, anidridos ou ácido catalítico (trifluoreto de boro) e o processo pode ocorrer à temperatura ambiente ou necessitar de calor para ocorrer. Assim como as resinas anteriores, catalisador pode ser adicionado para acelerar a cura. Um flexibilizante pode ser adicionado elevando a alongação em até 8 vezes, porém, reduzindo pela metade a tensão de ruptura da

resina. O fator que geralmente limita o uso das resinas epóxi é o seu custo que é mais elevado do que a resina poliéster e a vinil ester (SCOTT, 1996).

5.1.2.3.1. Propriedades

As resinas epóxi são consideradas a melhor matriz para materiais compostos. Isto se deve a sua boa aderência a substratos e reforços como a fibra de vidro, bom isolamento elétrico e resistência a agentes químicos e umidade, neste caso apenas em certas composições. A boa aderência, que é maior do que qualquer material polimérico conhecido se deve, principalmente, ao baixo grau de contração, que logicamente é o menor entre as três resinas apresentadas. As propriedades mecânicas em relação a abrasão também são melhores quando comparadas com as outras resinas. Em relação ao calor, em geral tem desempenho inferior. Outra desvantagem são os potenciais riscos a saúde dos componentes da resina epóxi (SCOTT, 1996).

5.1.3. Gel Coat

O gel coat nada mais é do que uma mistura de resina com cargas minerais, podendo esta ser carbonato de cálcio por exemplo, o qual é utilizado para criar uma superfície com melhor acabamento nos dispositivos moldados em fibra de vidro, podendo até ser utilizado como acabamento final. Em termos de propriedades mecânicas, a adição do carbonato de cálcio leva a diminuição da resistência mecânica da resina, facilitando as operações de acabamento. A espessura recomendada para a aplicação de gel coat é de 0,6 mm, sendo que pequenas variações em torno desta medida podem afetar a qualidade do produto final. A continuação do laminado deve ser feita quando o gel coat atingir ponto de gel, antes da cura total (SCOTT, 1996).

5.1.4. Materiais de auxílio

Além do tecido de fibra de vidro, a resina e catalizador, e o gel coat, são necessários alguns materiais de auxílio. Primeiramente é necessário o uso de um desmoldante, que pode se apresentar na forma líquida ou pastosa (cera), e que impede a adesão do produto moldado ao seu molde. Para retoques no acabamento e confecção do molde utiliza-se massa corrida pintada com tinta acrílica e laca. Outros materiais de apoio, que terão sua função explanada a seguir, são: EPS, chapas de MDF, cola branca, fita crepe, tesoura, conjuntos de parafuso porca, trinchas ou rolos de pintura, solventes para limpeza e diluição dos materiais, lixas, tinta para acabamento e equipamentos de proteção individual (EPI's) como luvas e máscaras.

5.1.5. Cuidados

O trabalho em fibra de vidro exige alguns cuidados básicos. Ao manejar a fibra de vidro, devem-se utilizar luvas de borracha a fim de evitar que os micro-filamentos de vidro penetrem na pele. Além das mãos, deve-se proteger os olhos com o uso de óculos de segurança e o sistema respiratório com máscaras que retenham material particulado. As roupas utilizadas durante o manejo com a fibra também devem ter cuidados especiais, uma vez que a lavagem simples nem sempre remove os filamentos que nela se alojam.

Em relação aos materiais utilizados para a laminação, atenção deve ser tomada em relação aos catalisadores e aceleradores, já que estes são altamente reativos, podendo gerar explosões ou fogo se misturadas sem os devidos cuidados. A maneira correta de realizar essa mistura é adicionar uma substância de cada vez à resina, cuidando para que a primeira esteja totalmente dissolvida antes de se adicionar a segunda substância.

5.2. Modelamento do Perfil Longitudinal do Casco

Os trabalhos de simulação iniciaram-se com o modelamento do cilindro reto, o qual representa um dos dispositivos já utilizados pelo Clube Pinheiros, fabricado com um tubo de PVC comum, com as extremidades tampadas. Neste ponto, apesar do desenho ser simples, encontrou-se grande dificuldade em executá-lo no software, em razão da complexidade técnica na utilização de suas ferramentas. Com o desenho pronto, define-se a linha d'água denominada Drawing Water Line (DWL). Esse parâmetro é de grande importância, já que ele define para a simulação, o quanto estará submerso o dispositivo em questão. Considerando que a flutuação é dada pela embarcação principal, e é fixa, a simulação foi feita com a DWL na mesma posição para os diferentes flutuadores. Sua posição foi definida 70 mm acima da base inferior do casco. Pode-se observar nas figuras 5.1 e 5.2 a seguir, o modelo do primeiro e do atual flutuador utilizado pelo Clube Pinheiros desenvolvidos no sistema. O modelamento reproduziu apenas a seção do casco em contato com a água.

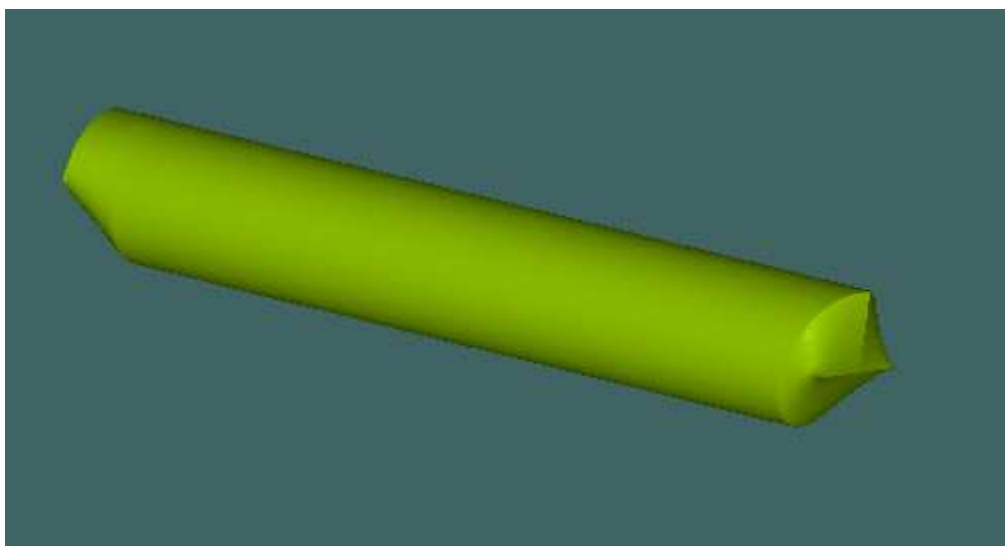


Figura. 5.1: Tubo de PVC modelado no MaxSurf – primeira versão.

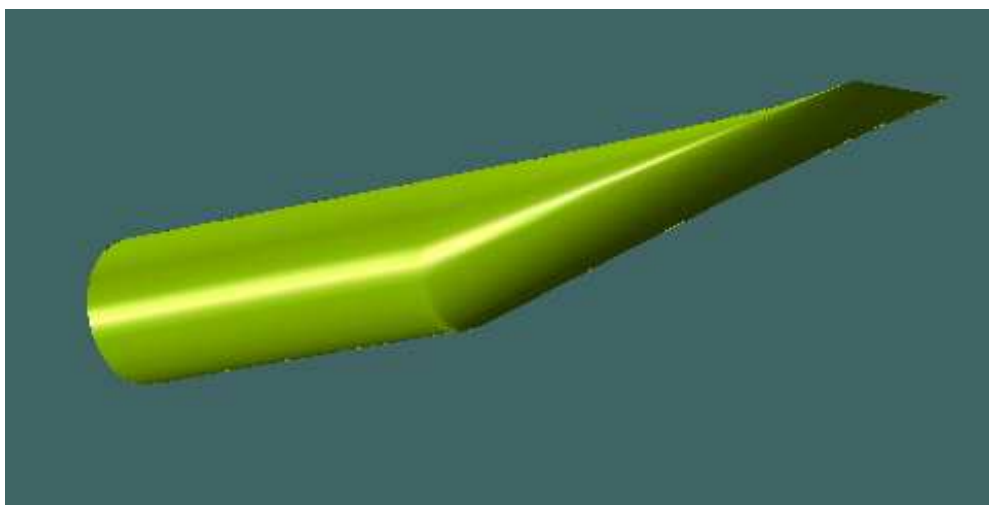


Figura. 5.2: Tubo de PVC modelado no MaxSurf – versão atual.

Em seguida, modelou-se o dispositivo do presente projeto (figura 5.3). Esse modelamento considerou a seleção do material e do formato do fundo do casco, o perfil dos modelos de flutuadores e barcos disponíveis no mercado, e a pesquisa dos livros de referência. Após esta pesquisa, concluiu-se que devido às baixas velocidades atingidas pelos barcos a remo, as sutis variáveis do modelamento de um casco teriam pouca influência no desempenho final do mesmo. Somado a isto, a dificuldade técnica de uso do software impossibilitou a definição de parâmetros exatos para o modelamento das linhas do casco. O Procedimento adotado foi o desenvolvimento de cascos baseados em modelos e linhas pré-existent, comparando seu desempenho com os dispositivos utilizados pelo proponente. Assim sendo, objetivou-se encontrar uma solução de desempenho melhorado, porém que não garante que esta seja ótima.

O modelo final definido pode ser observado a seguir. Para a sua construção será considerada apenas a seção do perfil que entra em contato com a água. A parte superior será definida de forma a facilitar a construção do sistema de fixação definido.

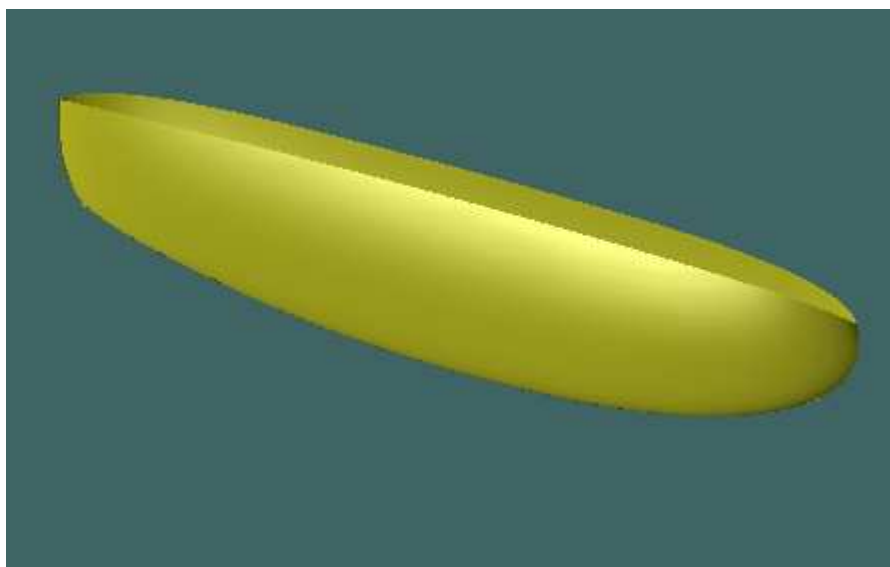


Figura. 5.3: Modelamento de casco hidrodinâmico e seu perfil

5.3. Construção

Agora será detalhado o processo de laminação. Como citado anteriormente, esta seção tem o objetivo de servir como um manual da construção do flutuador, possibilitando a sua execução por um técnico não especializado. Isso significa que as soluções adotadas visam esse processo artesanal, o que muitas vezes limita a utilização de tecnologias avançadas, as quais envolveriam mão de obra especializada e contratação de oficinas que disponibilizassem de equipamentos avançados, como máquinas CNC. Além disso, esse detalhamento visa garantir a qualidade e as propriedades mecânicas do flutuador, definidas neste projeto.

O tipo de resina a ser utilizado no presente projeto será a poliéster principalmente por ter um custo inferior às outras resinas. O tipo de resina poliéster selecionado foi o isofitálico, por ser mais recomendado para aplicações aquáticas. As justificativas detalhadas da seleção da resina se encontram no item Resultados – Seleção e Justificativas (6.1).

5.3.1. Construção do modelo

O modelo será construído a partir do desenho elaborado e simulado no software. A solução que geralmente é adotada para a construção do modelo é a utilização de poliuretano (PU) ou poliestireno expandido (EPS), sendo que o PU, apesar de apresentar melhor desempenho para o uso em questão, tem custo muito mais elevado*. Para o presente projeto será utilizado o EPS.

Inicia-se o processo com a divisão do modelo computacional em finas camadas de 5 mm de espessura, no sentido longitudinal, e a plotagem de todas as seções em escala 1:1. Com a placa de EPS também de 5 mm de espessura, cada perfil será transferido para a placa de EPS, que será recortada com auxílio de um estilete. Quanto mais preciso for este processo, mais próximo do modelo computacional ficará o modelo real. Deve-se marcar nas camadas de isopor um ponto de alinhamento central para auxiliar a junção das placas de isopor. Para essa união pode-se utilizar cola branca comum. As seções divididas e sobrepostas geradas pelo software podem ser observadas na figura 5.4 a seguir.

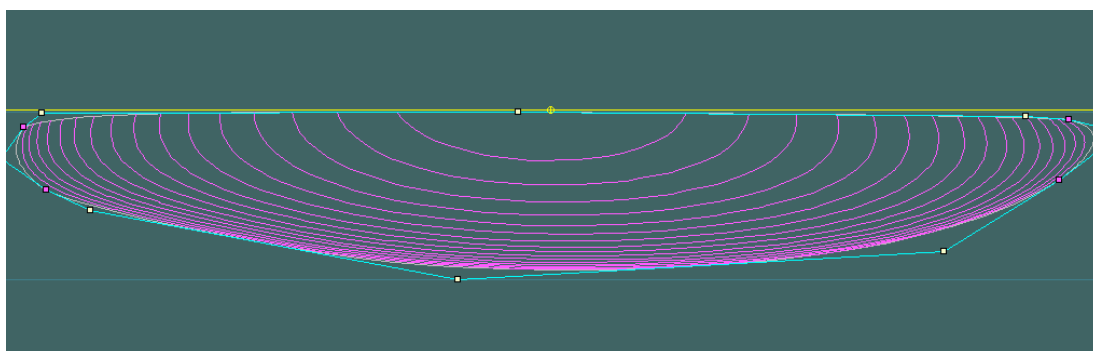


Figura 5.4: Seções do casco divididas em camadas de 5mm de espessura. Vista lateral.

* Foi cotado o preço de uma placa em PU e esta custava 10 vezes mais que o isopor, considerando o preço por volume.

Nas figuras de 5.5 a 5.7 pode-se ver as mesmas camadas, agora feitas com o material isopor.



Figura 5.5: Seções de isopor do casco divididas em camadas de 5mm de espessura. Vista lateral.



Figura 5.6: Seções de isopor de meio casco divididas em camadas de 5mm de espessura. Vista lateral.



Figura 5.7: Seções de isopor do casco divididas em camadas de 5mm de espessura. Vista frontal.

Para facilitar a laminação, o flutuador foi dividido em duas partes. Essa divisão foi feita de maneira que o plano superior do dispositivo poderia ser fechado com uma placa plana. Assim, ao invés de se construir um modelo para a tampa, foi utilizado um vidro plano comum, economizando tempo e recursos nesta etapa da construção. Na realidade, o vidro economiza duas etapas, uma vez que ele já é o molde final. Sobre ele pode-se iniciar diretamente a confecção da peça final. A seguir, a figura 5.8 mostra a placa de vidro sendo preparada para a laminação.

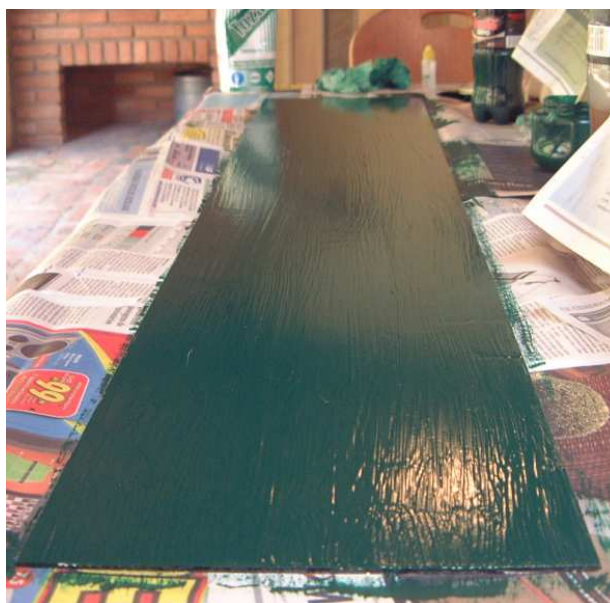


Figura 5.8: Vidro coberto com gel coat, antes da laminação

O acabamento final do modelo foi feito em massa corrida PVA e pintura com tinta acrílica. Haveria a opção de utilizar massa plástica, que apesar de proporcionar melhor acabamento dificulta o trabalho de lixamento. Outra restrição é que o EPS é corroído quando entra em contato com a massa plástica não curada. A solução para esta questão seria recobrir o modelo com fita crepe comum, antes da aplicação da massa. Após esta etapa efetuou-se o lixamento para o acabamento final da superfície. Deve-se cuidar para que a massa corrida esteja totalmente curada antes de se começar a lixar. Em geral, o tempo para a cura total é de 6 horas, mas pode variar com a temperatura e umidade atmosférica. No presente caso, o tempo úmido na época da confecção do modelo, aumentou o tempo de cura da massa para até 24 horas, mesmo com auxílio de ventilação forçada para aumentar a taxa de evaporação da massa. A qualidade do modelo interfere diretamente na qualidade do molde, e que por sua vez, interfere na qualidade do protótipo final. Na figura 5.9 pode-se verificar o modelo revestido com PVA antes da etapa de lixamento e nas figuras 5.10 e 5.11 verifica-se o modelo já lixado.



Figura 5.9: Modelo revestido com PVA, vista inclinada



Figura 5.10: Modelo revestido com PVA, vista lateral



Figura 5.11: Modelo revestido com PVA

5.3.2. Confeção do molde

A partir do modelo, partiu-se para a construção do molde que foi utilizado para a laminação do flutuador. Este foi construído em fibra de vidro. Aplicou-se então o desmoldante em toda a área na qual foi feita a laminação. O uso de um desmoldante de alta qualidade é fundamental para obter-se bom acabamento da peça laminada. Foram realizadas de 5 a 7 aplicações de cera desmoldante, com intervalo de 30 minutos entre demãos e polimento entre as mesmas. Iniciou-se a laminação com duas camadas de gel coat. Entre as demãos houve intervalo de 12 horas. Sobre a segunda demão, iniciou-se a laminação após o gel coat atingir ponto de gel. Cortou-se o tecido da fibra de vidro de forma que se pudesse cobrir toda superfície preparada do modelo. Como se trata de um dispositivo de pequenas proporções e dotado de muitas curvas, o corte do tecido foi feito em pequenos retalhos de 100X100mm, o que facilitou o assentamento do mesmo sobre o modelo. Dispôs-se o tecido sobre o modelo e aplicou-se a resina já catalisada, com o cuidado de saturar todo o tecido.

Deve-se atentar para que não haja bolhas de ar sob o tecido da fibra de vidro e para que a mesma fique bem assentada sobre o molde, a fim de garantir que as corretas dimensões do modelo sejam reproduzidas no molde. Para conseguir um molde robusto, foram aplicadas 5 camadas de tecido, atingindo espessura média final de 40mm e elevada rigidez estrutural. A figura 5.12 mostra o molde já pronto para laminação, após desmoldagem, limpeza e polimento.



Figura 5.12: Molde já preparado para laminação

5.3.3. Laminação do flutuador

Com o molde pronto, pôde-se finalmente iniciar a laminação dos flutuadores. Analogamente ao molde, iniciou-se o processo com a aplicação do desmoldante. Em seguida aplicou-se uma camada de gel coat, seguida do tecido da fibra de vidro e a

resina. As figuras 5.13 e 5.14 mostram o molde com aplicação de gel coat e com a laminação já realizada respectivamente.



Figura 5.13: Molde com aplicação de gel coat



Figura 5.14: Laminação

Os mesmos cuidados de não deixar bolhas de ar, e o tecido bem aderido ao molde, devem ser tomados nesta etapa. A laminação da parte superior sobre a placa de vidro plano também seguiu o mesmo procedimento: desmoldante, gel coat e tecido com resina. Para servir de base para o sistema de fixação, uma placa de alumínio de 1mm de espessura foi adicionada na tampa superior, entre duas camadas de tecido, a fim de aumentar a rigidez dessa região e melhor distribuir as cargas exercidas pela flange de fixação. A figura 5.15 mostra a placa de vidro com a primeira camada de laminação.

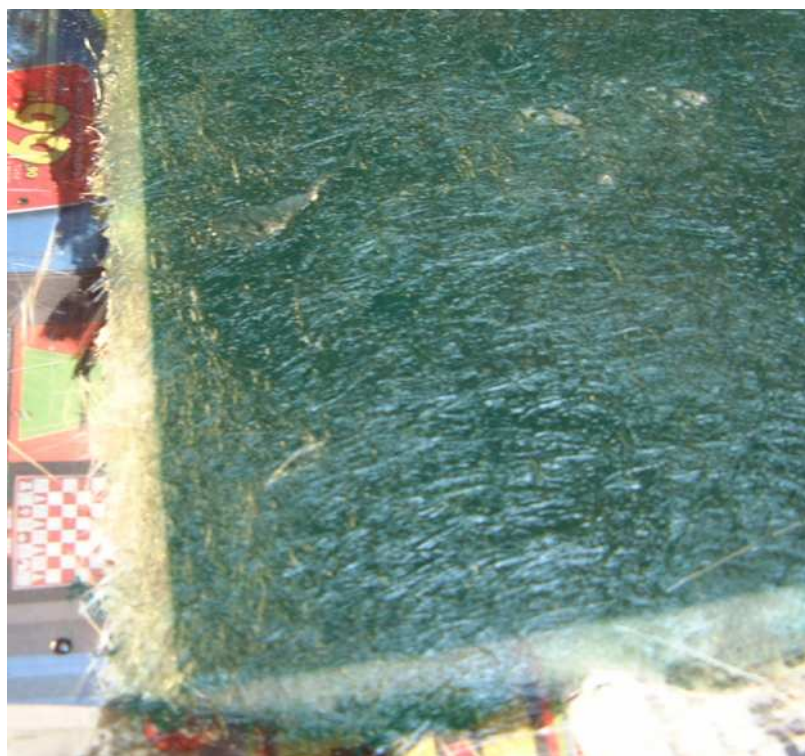


Figura 5.15: Laminação sobre vidro

Após 12 horas, pode-se fazer a desmoldagem. Esta etapa requer cuidados para não se danificar tanto a peça final como o molde. As extremidades formando ângulos agudos dificultam esta etapa, uma vez que estas áreas são pouco flexíveis. Colocar água entre o molde e a peça, em pontos que já foram separados, ajuda na desmoldagem. A figura 5.16 mostra a desmoldagem parcial, em que a borda inferior e as extremidades ainda estão unidos ao molde.



Figura 5.16: Desmoldagem

5.3.4. Montagem

A união das duas partes foi feita com massa plástica. Fez-se a marcação da área do protótipo projetada sobre a placa plana e aplicou-se uma camada de massa ao longo da mesma. Depois de curada a massa, utilizou-se uma ferramenta elétrica rotativa para cortar a tampa no formato projetado do protótipo. O acabamento foi feito com uma esmerilhadeira. A figura 5.17 mostra a etapa de colagem com a massa plástica.



Figura 5.17: Colagem do protótipo a tampa com massa plástica

Antes de iniciar a montagem final da estrutura de fixação, foi dado acabamento final ao dispositivo, processo que será descrito na seção seguinte.

Para melhor distribuir os esforços da estrutura de fixação, além da flange ligada à tampa superior, o perfil de alumínio foi estendido até tocar a superfície inferior do casco. Definida a seção central do dispositivo, fez-se um corte para inserir o perfil. O corte não precisa ter exatamente a dimensão do perfil, só não pode superar as dimensões da flange. Para fixar extremidade do perfil, em contato com o fundo do flutuador, utilizou-se massa plástica. Entre a flange e a tampa superior utilizou-se resina acrílica* pra vedação e rebites herméticos para a fixação em si. Para garantir o isolamento da extremidade do perfil em contato com o fundo do dispositivo, 10ml de resina poliéster foram despejados por dentro do mesmo, formando uma tampa perfeita após a cura.

* Componente principal de produto comercialmente denominado “Veda calha”.

Por fim, a montagem foi encerrada com a instalação de um dreno^{**}, o que possibilita, em caso de infiltrações, eliminar a água de dentro do flutuador.

5.3.5. Acabamento

O acabamento final poderia ter sido feito em tinta especial para uso naval. A tinta de melhor qualidade para esta função é a bicomponente de poliuretânos alifáticos, porém, a de maior custo entre as tintas recomendadas. O acabamento final apenas em gel coat também é usual. Por simplicidade e pelo custo, esta foi a opção selecionada. A figura 5.18 e 5.19 mostram respectivamente o protótipo e a tampa superior com acabamento em gel coat.



Figura 5.18: Protótipo

^{**} Dispositivo encontrado em lojas de embarcações, geralmente utilizado em caiaques e pequenos veleiros.



Figura 5.19: Tampa superior

Caso haja imperfeições superficiais, pode-se dar acabamento com lixas d'água e polimento.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Seleção e Justificativa

Durante todo o andamento do projeto escolhas foram feitas para que o resultado final do flutuador fosse o mais adequado aos requisitos e objetivos. Foram feitas seleção de materiais, de formato, de métodos de fixação e de várias outras variáveis envolvidas no projeto. Para as variáveis chaves, que influem diretamente na obtenção ou não dos objetivos foi utilizado uma metodologia para a seleção da alternativa mais adequada. Dessa forma, por meio de matrizes de decisões que levaram em conta fatores determinantes de cada variável e suas respectivas ponderações foi possível selecionar as alternativas de projeto mais adequadas.

6.1.1. Material

Com base nas opções de materiais apresentados na Revisão (item 2.2), pode se fazer uma comparação entre eles em uma matriz de decisão (tabela 6.1), para a escolha do material a ser usado no projeto.

Tabela 6.1: Matriz de decisão do material

Atributo	Peso	Aço		Alumínio		F. Vidro		Kevlar		F. Carbono		Madeira	
		Nota	nxp	Nota	nxp	Nota	nxp	Nota	nxp	Nota	nxp	Nota	nxp
Custo	0,2	9	1,8	6	1,2	8	1,6	6	1,2	5	1,0	9	1,8
Facilidade de Construção	0,2	6	1,2	5	1,0	9	1,8	7	1,4	8	1,6	7	1,4
Velocidade de Construção	0,1	8	0,8	7	0,7	9	0,9	8	0,8	8	0,8	7	0,7
Experiência Prévia	0,1	8	0,8	6	0,6	9	0,9	8	0,8	7	0,7	7	0,7
Manutenção	0,1	6	0,6	7	0,7	10	1,0	10	1,0	10	1,0	8	0,8
Resistência	0,1	9	0,9	8	0,8	5	0,5	7	0,7	9	0,9	4	0,4
Peso	0,2	5	1	7	1,4	9	1,8	10	2,0	10	2,0	7	1,4
Soma			7,1		6,4		8,5		7,9		8,0		7,2

Como pode ser observado na matriz, a fibra de vidro é o material que apresenta o melhor desempenho para o projeto. As soluções tradicionais na construção de barcos (aço, alumínio e madeira) não se adequam principalmente pelo fato de não serem de fácil construção, ou de exigirem equipamentos e mão de obra treinada para construção.

Dessa forma as fibras surgem como alternativa. A escolha da fibra de vidro se dá principalmente pelo fator custo, se comparada às outras fibras analisadas.

Quanto à escolha da resina foi verificado que considerando a aplicação do dispositivo projetado, além de fornecer flutuação, o peso do conjunto deve ser minimizado. Quando em operação, as exigências mecânicas são baixas. Além disso, não é necessário que o flutuador resista a ataques químicos, apenas que suporte a umidade e o ambiente marinho. Isso posto, chega-se a conclusão que a resina poliéster atende aos requisitos citados, além de ser o produto mais difundido no mercado de materiais compostos. Por essa razão última, a resina poliéster é facilmente encontrada em lojas do ramo e também leva grande vantagem no fator preço, onde as resinas epóxi, por exemplo, podem chegar a custar 4 vezes mais. O tipo da resina poliéster selecionado é o isoftálico. Este tipo de resina é o mais recomendado para aplicações aquáticas uma vez que resistem melhor a hidrólise, aumentando a durabilidade do dispositivo.

6.1.2. Formato do fundo do casco

O formato do fundo do casco a ser utilizado no projeto deve ser aquele que melhor se adapta às necessidades do projeto. Fazendo-se uma matriz de decisão (tabela 6.2) que analise essas necessidades e compare os resultados de cada uma das alternativas discutidas na Revisão (item 2.3), pode-se fazer a escolha do casco ideal.

Tabela 6.2: Matriz de decisão do tipo de casco

		Nota	nxp	Nota	nxp	Nota	nxp	Nota	nxp	Nota	nxp	Nota	nxp
Facilidade de Construção	0,2	6	1,2	5	1	6	1,2	4	0,8	10	2	8	1,6
Hidrodinâmica	0,2	6	1,2	8	1,6	8	1,6	8	1,6	4	0,8	5	1
Desempenho a Baixas Vel.	0,2	8	1,6	6	1,2	9	1,8	7	1,4	4	0,8	5	1
Desempenho em Ondas	0,2	5	1	9	1,8	7	1,4	7	1,4	5	1	6	1,2
Soma			5,0		5,6		6,0		5,2		4,6		4,8

A análise dessa matriz permite concluir que o tipo de casco mais adequado a ser utilizado é o casco com fundo arredondado. Apesar de sua construção ser mais complexa do que o dos cascos simplificados (cilíndricos), a sua hidrodinâmica e o seu desempenho compensam a escolha.

6.1.3. Preenchimento

No caso da análise do tipo de preenchimento também é possível fazer uso da matriz de decisão (tabela 6.3) para a escolha.

Tabela 6.3: Matriz de decisão do preenchimento do casco

Atributo	Peso	Inteiroço		Isopor		Oco	
		Nota	nxp	Nota	nxp	Nota	nxp
Peso	0,3	4	1,2	9	2,7	10	3,0
Facilidade de Construção	0,3	7	2,1	7	2,1	10	3,0
Preço	0,2	4	0,8	9	1,8	10	2,0
Confiabilidade	0,2	9	1,8	9	1,8	6	1,2
Soma			5,9		8,4		9,2

Percebe-se através da matriz que o flutuador deverá ser oco. Essa foi a melhor alternativa pois, além de ser a mais simples de se executar ainda diminui o peso e o custo do flutuador, sem afetar tanto sua confiabilidade.

6.1.4. Ajuste vertical

A escolha do ajuste vertical do flutuador também foi auxiliada por uma matriz de decisão (tabela 6.4) vista a seguir.

Tabela 6.4: Matriz de decisão do ajuste vertical

Atributo	Peso	Parafuso Guia		Barra Guia		Barra Guia Perfurado		Tubo Quadrado	
		Nota	nxp	Nota	nxp	Nota	nxp	Nota	nxp
Facilidade de Construção	0,4	9	3,6	9	3,6	8	3,2	8	3,2
Confiabilidade do Ajuste	0,3	6	1,8	5	1,5	10	3,0	10	3
Precisão do Ajuste	0,2	9	1,8	10	2,0	7	1,4	7	1,4
Facilidade do Ajuste	0,1	7	0,7	9	0,9	9	0,9	10	1,0
Soma			7,9		8,0		8,5		8,6

O ajuste vertical se dará então através da utilização do tubo quadrado perfurado, que possibilita a escolha de diversas posições de altura, garantindo que não haverá montagem incorreta e nem haverá deslocamento indesejável da barra.

6.1.5. Ajuste vertical – Travamento

Com base no discutido no item 2.5.2, o sistema de travamento a ser utilizado será o de pinho com cupilha. A escolha desse sistema se deve ao fato de resolver os

problemas do travamento com parafuso e ser uma solução com o custo muito inferior ao das travas rápidas.

6.1.6. Fixação ao barco

Analogamente aos outros itens, para a seleção da melhor alternativa para fixação do flutuador ao barco construiu-se uma matriz de decisão (tabela 6.5), onde foram comparados os requisitos do projeto para cada uma das alternativas.

Tabela 6.5: Matriz de decisão da fixação ao barco

Atributo	Peso	Braçadeira Suporte		Braçadeira Fendida	
		Nota	nxp	Nota	nxp
Facilidade de Construção	0,4	5	2	6	2,4
Confiabilidade do Ajuste	0,3	10	3,0	10	3,0
Precisão do Ajuste	0,2	6	1,2	6	1,2
Facilidade do Ajuste	0,1	4	0,4	9	0,9
Soma			6,6		7,5

Nesse caso, a braçadeira fendida se apresentou como a melhor solução, principalmente por não necessitar que se desmonte o braço da forqueta para que a fixação seja feita.

6.2. Especificação das alternativas selecionadas

Feitas as escolhas das alternativas de solução, há a necessidade de se projetar o flutuador, procurando seguir o que foi definido. Temos então as soluções para o problema, com suas respectivas dimensões finais e detalhes.

6.2.1. Fixação ao barco

Ficou claro na etapa de decisão das alternativas que essa parte do projeto deveria ser feita de modo que fosse fácil sua instalação e remoção (a solução atualmente utilizada requer que se desmonte o braço da forqueta para instalação). A melhor solução para resolver esse problema é uma braçadeira. Essa braçadeira deve ainda permitir a fácil conexão com o flutuador. A construção de tal braçadeira foi descartada, por questões econômicas e para se adequar ao requisito facilidade de construção do flutuador. Não foi encontrado no mercado uma braçadeira que atenda completamente esse requisito. O problema foi solucionado com a escolha de uma braçadeira que têm em sua base uma chapa de metal para a soldagem. Nessa chapa então será fixada a estrutura que fará a conexão com o flutuador. Esse tipo de braçadeira é composto por duas metades, feitas de polipropileno e é fechada por um par de parafusos e porcas. Essas porcas por sua vez estão soldadas em uma placa onde irá se fixar a estrutura acima citada. A figura 6.1 mostra um esquema da braçadeira, a figura 6.2 explicita as dimensões dessa braçadeira e a figura 6.3 mostra as dimensões da chapa da braçadeira.

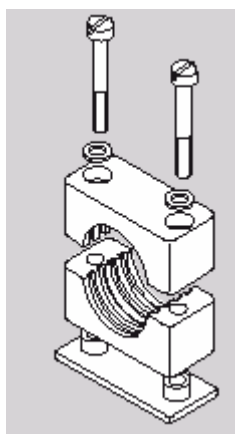


Figura 6.1: Esquema de montagem da braçadeira de tubos

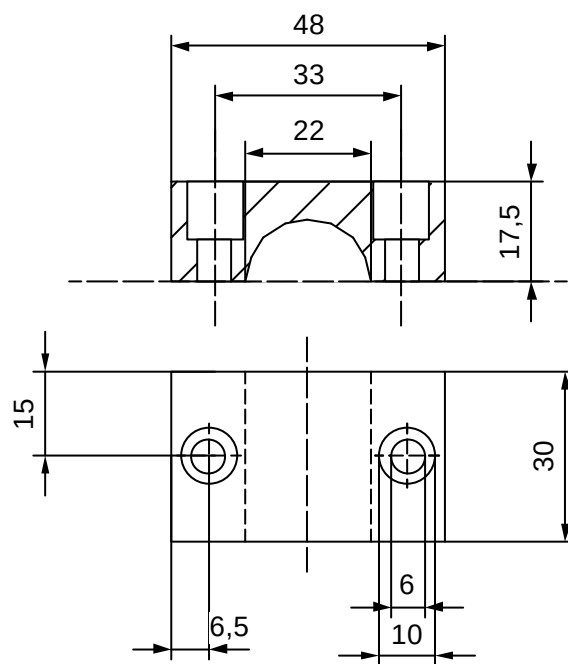


Figura 6.2: Vista frontal e superior de meia braçadeira

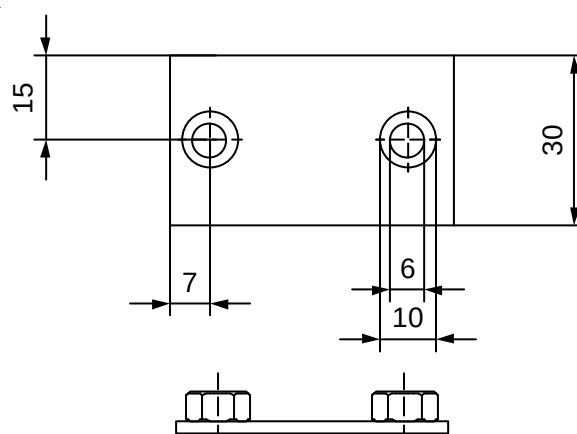


Figura 6.3: Vista superior e frontal da placa da braçadeira

6.2.2. Ajuste vertical

Essa parte do projeto será realizada se utilizando de um tubo quadrado perfurado. Esse tubo será soldado em uma placa, que por sua vez será afixada na braçadeira fendida. Esse tubo terá orifícios ao longo de sua estrutura para o ajuste da altura do flutuador em relação ao barco. No próprio flutuador será fixada por meio de rebites cegos uma placa com um orifício e um pequeno tubo quadrado soldado. Esse pequeno tubo quadrado soldado servirá como guia para o outro tubo quadrado e ainda permitirá a inserção de um pino ou parafuso que faça o travamento de ambos. Para isso, deverá ter o lado maior que o do tubo quadrado perfurado. Pode se ver o desenho do tubo quadrado perfurado já soldado na placa de fixação nas figuras 6.4 (vista inferior), 6.5 (vista frontal) e 6.6 (vista lateral) e as vistas frontal (figura 6.7) e superior (figura 6.8) da placa a ser afixada no flutuador.

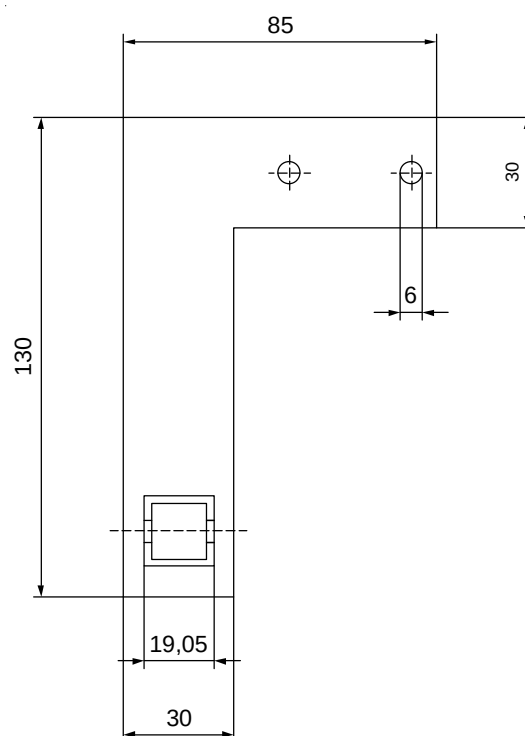


Figura 6.4: Tubo Quadrado Perfurado e soldado à placa (vista inferior)

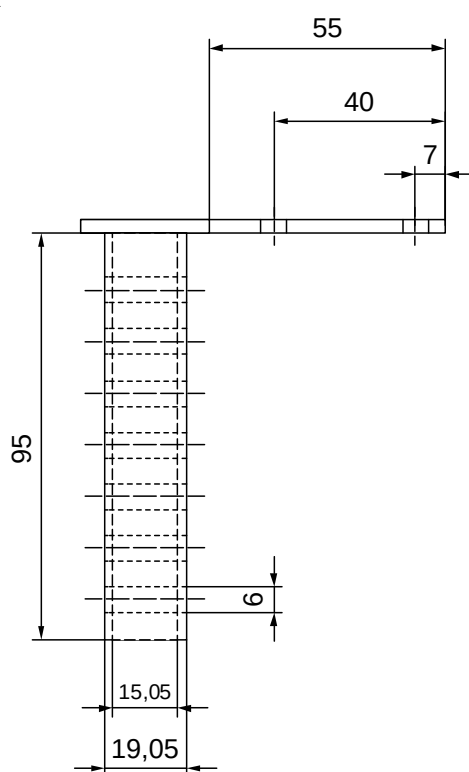


Figura 6.5: Tubo Quadrado Perfurado e soldado à placa (vista frontal)

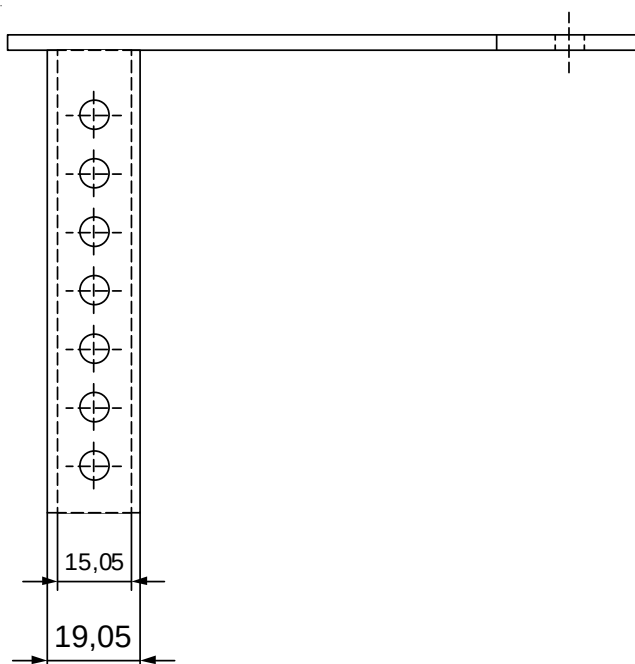


Figura 6.6: Tubo Quadrado Perfurado e soldado à placa (vista lateral)

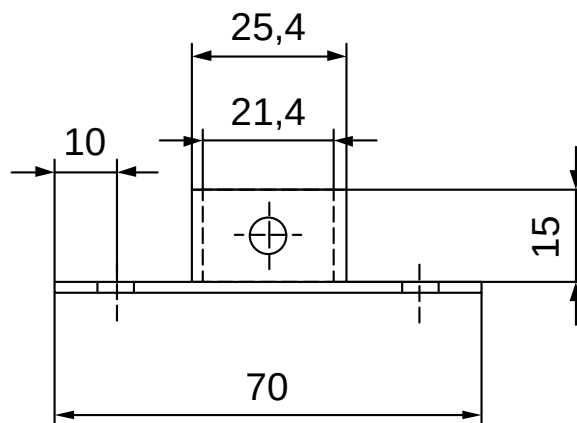


Figura 6.7: Base para encaixe no flutuador (vista frontal)

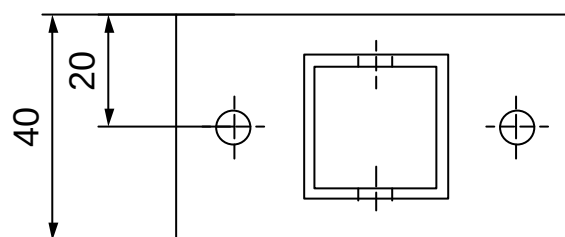


Figura 6.8: Base para encaixe no flutuador (vista superior)

6.2.3. Desenho de conjunto

Com a definição do formato e dimensões das peças, torna-se possível criar um desenho de conjunto, do esquema de montagem do suporte do flutuador. As figuras 6.9 e 6.10 mostram essa montagem (vista lateral e frontal, respectivamente).

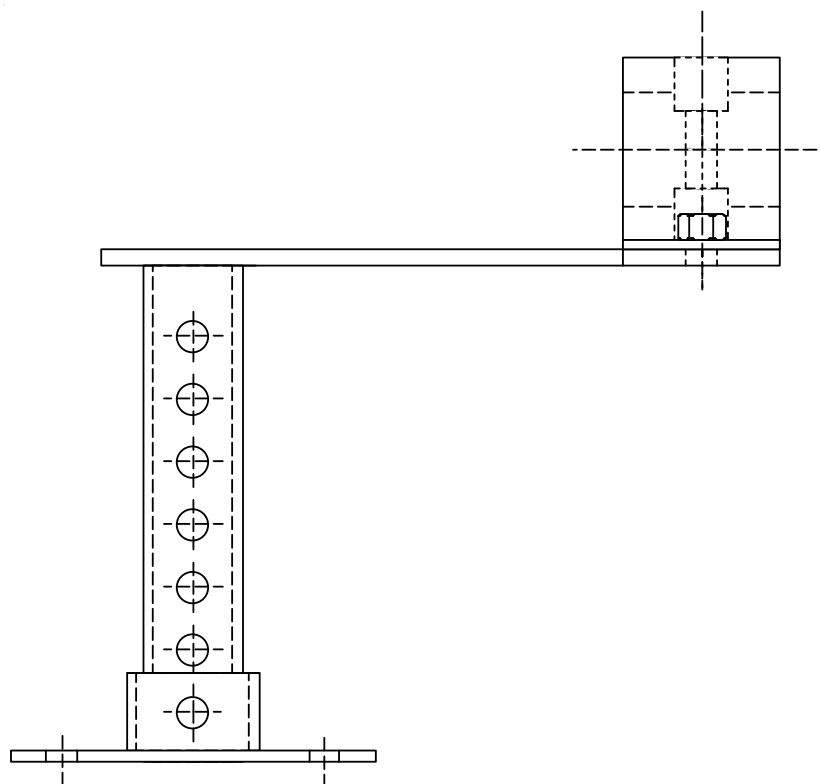


Figura 6.9: Vista lateral do suporte do flutuador montado

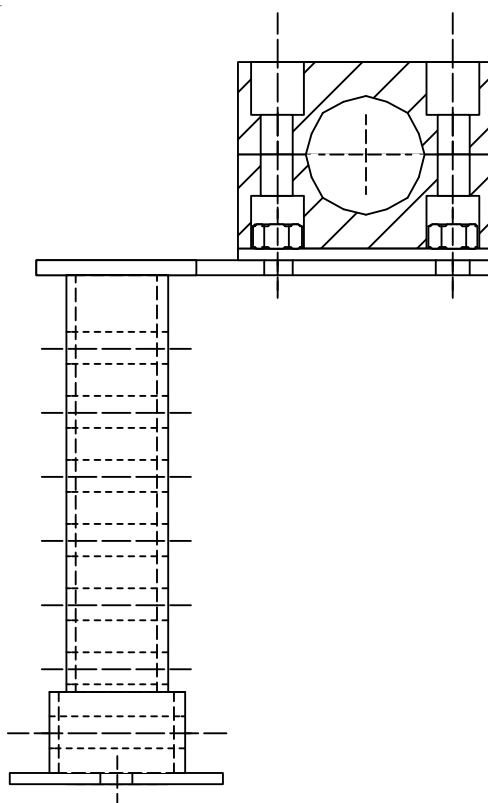


Figura 6.10: Vista frontal do suporte do flutuador montado

6.3. Dimensionamento do flutuador

O dimensionamento do flutuador contempla dois fatores: um em relação a sua resistência estrutural, a qual deve suportar as cargas aplicadas ao dispositivo durante o uso, e um em relação ao volume deslocado pelo flutuador quando imerso, o qual deve impedir o emborcamento do barco.

6.3.1. Dimensionamento estrutural

De acordo com o que foi exposto na Revisão (item 2.7), podemos agora dimensionar a espessura mínima da parede do flutuador.

Adota-se a massa de 100 kg para o remador, e a hipótese de que seu centro de gravidade esteja deslocado de 85 mm da linha central longitudinal da embarcação, como exemplificado na figura 6.11 a seguir,

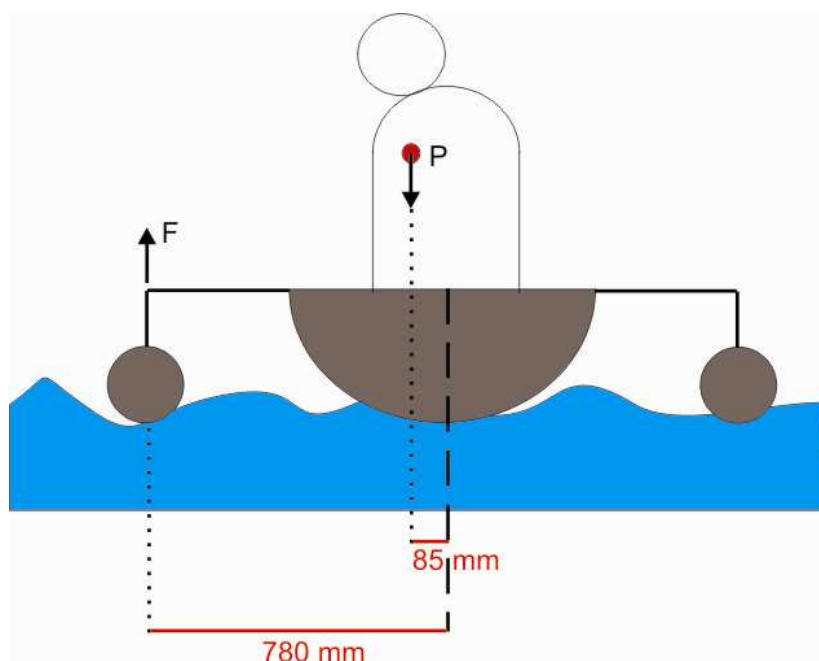


Figura 6.11: Esquema com remador desequilibrado e centro de massa deslocado

Através da somatória de momentos em relação a plano vertical que passa pelo centro do barco, encontramos:

$$P \times 0,085 = F \times 0,78$$

onde $P=1000 \text{ N}$

portanto $F \approx 109N$

O flutuador deve então ser capaz de suportar uma carga concentrada de aproximadamente 109 N transmitida por sua haste de fixação. O desenho esquemático do dispositivo de fixação da haste ao flutuador pode ser observado nas figuras 6.7 e 6.8, sendo a base retangular a responsável por aplicar o esforço no dispositivo. Considerando as dimensões aproximadas desta base como sendo 19,05X50mm (a área menor aumenta o coeficiente de segurança), a área de aplicação da carga é de $0,001 \text{ m}^2$. Sendo Assim, a força de 109 N gera uma pressão local de aproximadamente 0,11 MPa.

Chegou-se portanto a 0,5 mm de espessura da parede construída em fibra de vidro. Dentre os tecidos de fibra de vidro disponíveis no mercado, escolheu-se uma das menores gramaturas disponíveis de 145 g/m^2 . Segundo dados do fornecedor (Abcol), o tecido já laminado terá espessura final em torno 1,5mm, atendendo a especificação e aplicando um coeficiente de segurança igual a 3.

6.3.2. Dimensionamento do volume mínimo deslocado

Com base no exposto na Revisão (item 2.8), podemos dimensionar agora o volume mínimo deslocado para que o barco não emborque completamente.

Considerando a massa específica da água de 1000 kg/m^3 , e a massa do flutuador de 1,5 kg, que é o valor padrão de flutuadores disponíveis no mercado, o volume mínimo deslocado deve ser de $V=0,0124 \text{ m}^3$.

6.4. Dimensionamento dos dispositivos de fixação

Deve-se dimensionar os tubos que serão usados para fixar o flutuador ao barco e fazer o ajuste vertical. Esses tubos estão sujeitos a uma carga de compressão e à flexão. Assim, deve-se dimensioná-los para flambagem e cisalhamento. O dimensionamento será feito de modo a verificar a aplicabilidade de tubos existentes no mercado ao projeto.

6.4.1. Flambagem

Como visto na Revisão (item 2.6.1) o dimensionamento à flambagem de tubos pode ser dado pela equação seguinte

$$P_{cric} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$$

Onde, para o tubo quadrado de lado “a” e parede “t”

$$I = \frac{\pi}{12} [a^4 - (a - 2t)^4]$$

Assim, com coeficiente de segurança igual a 3.

$$P_{cric} = \frac{4\pi^3 E [a^4 - (a - 2t)^4]}{3L^2}$$

O valor do módulo de elasticidade da liga de alumínio 1100 é de $E = 69 \text{ GPa}$.

O modelo apresentado para dimensionamento à flambagem está apresentado na figura 6.12:

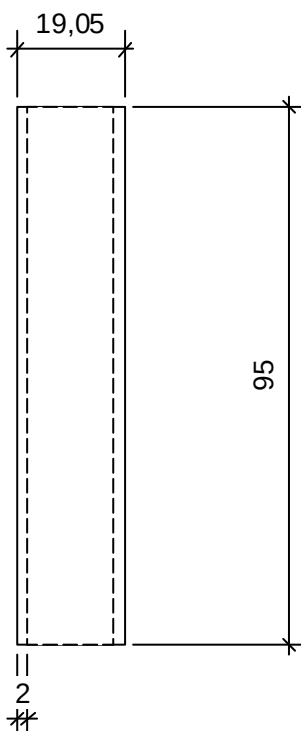


Figura 6.12: Modelo para dimensionamento à flambagem

Assim, com os dados, pode-se chegar ao valor de carregamento crítico de $F_{crit} = 25,41 \text{ KN}$, que é muito superior ao carregamento aplicado na estrutura (128,2 N). Logo, conclui-se que a estrutura construída com esses tubos não flambará.

6.5. Dificuldades Técnicas

Ao longo da construção do protótipo foram encontradas diversas dificuldades técnicas, as quais não estavam previstas na literatura disponível. Isso porque são

dificuldades que ocorrem devido a uma configuração de uma série de fatores como: condição climática, combinação de materiais e sua aplicação, etc.

6.5.1 Cura da massa PVA com formação de bolhas internas

A massa PVA aplicada ao modelo depende muito das condições climáticas para sua cura. Em dias com alta umidade relativa do ar, deve-se evitar o trabalho com o material, já que a cura pode demorar 5 vezes mais do que o recomendado pelo fabricante. Caso a sobre-camada seja aplicada antes da cura da camada anterior, pode-se haver a formação de bolhas de ar que dificultarão o trabalho de acabamento da superfície. A seguir, a figura 6.13 mostra bolhas de ar surgindo na superfície da massa recém aplicada.



Figura 6.13: No detalhe, bolhas de ar surgindo na superfície da massa PVA.

6.5.2 Reação química do EPS com resina poliéster

O uso do EPS é limitado em algumas aplicações por reagir com uma série de substâncias. Produtos com solventes aromáticos, como o thinner, atacam quimicamente o EPS, dissolvendo-o. No caso do modelo construído, pensou-se que a aplicação de massa PVA e posterior aplicação de tinta acrílica impediriam estas reações. No entanto, os vapores do monômero do gel coat, o qual foi aplicado diretamente sobre o modelo, penetraram através desta camada isolante, reagindo com o EPS. Isso gerou uma série de problemas superficiais no gel, comprometendo a qualidade final do molde. A seguir imagens 6.14 a 6.17 que ilustram o EPS corroído e os problemas na camada do gel coat.



Figura 6.14: EPS do modelo após desmoldagem com pontos corroídos.

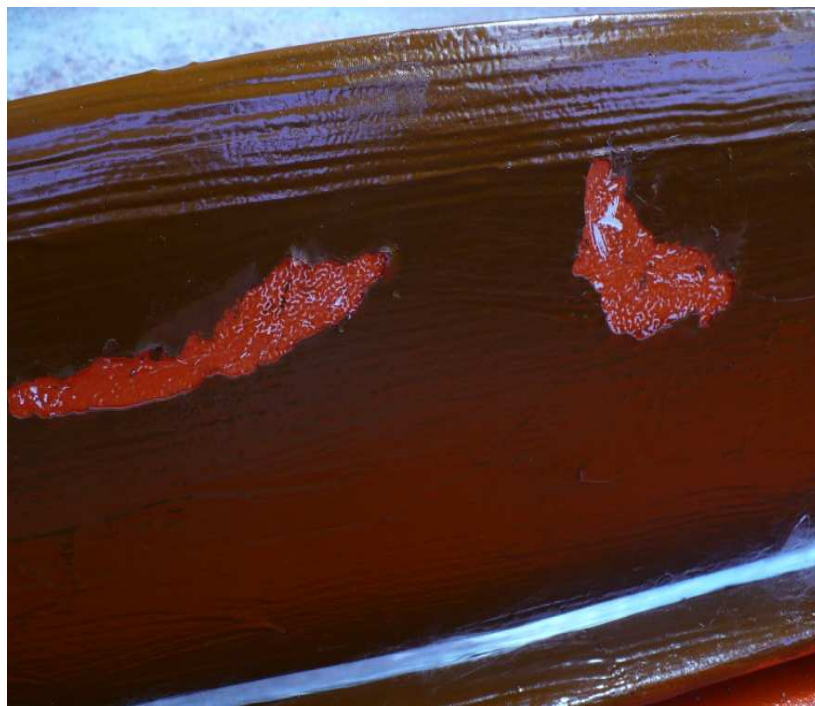


Figura 6.15: Bolhas formadas entre a primeira e a segunda demão do gel, devido a reação com o EPS.



Figura 6.16: Correção com aplicação de gel sobre as bolhas retiradas, após cura da base.



Figura 6.17: Resultado final do molde, com defeitos superficiais.

6.5.3 Dimensões dos tubos de alumínio.

A escolha do tubo de alumínio quadrado para a fixação foi feita com base na suas vantagens discutidas no item (6.1.4) e das disponibilidades de tubos compatíveis com a necessidade do projeto no mercado. O problema encontrado no momento da confecção da parte de fixação do flutuador foi que apesar de quase todos os fornecedores possuírem todas as dimensões dos tubos em seus catálogos, nos estoques somente algumas poucas opções de tamanho de lado e espessura da parede estão disponíveis. Dessa forma, com os modelos disponíveis nos fornecedores de tubos de alumínio consultados (figura 6.18) o ajuste telescópico ficava prejudicado ou por uma grande folga existente entre os tubos ou por a espessura da parede de um tubo impedir a entrada de outro em seu interior. Assim, a maneira utilizada para contornar o problema foi a aquisição de um tubo de parede espessa que não permitia o ajuste telescópico e posterior desbaste de seu interior para que as dimensões ficassem de acordo com as de projeto.

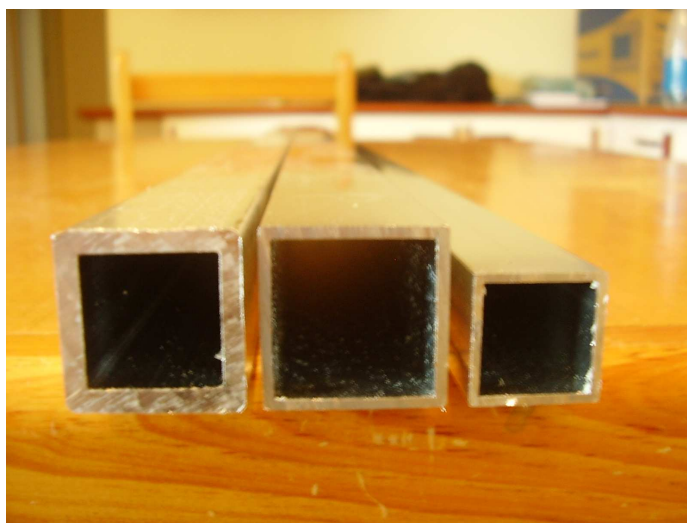


Figura 6.18: Dimensões de tubos quadrados disponíveis e incompatíveis.

6.6. Características do modelo final

Do modelo desenvolvido gerou-se tabela 6.6 de propriedades.

Tabela 6.6: Dados gerados pelo software sobre flutuador desenvolvido

Medida	Valor	Unidade
Peso deslocado	12,8	kg
Volume	12532718,2	mm ³
Seção transversal máxima	14689	mm ²
Altura	200	mm
Largura	88	mm
Comprimento	1125	mm
Área externa	410041,2	mm ²

A principal informação vem da linha que informa o volume, o qual totaliza $0,0125 \text{ m}^3$, garantindo o valor definido pelo dimensionamento de $0,0125 \text{ m}^3$. As dimensões finais do flutuador estão dentro de um paralelepípedo de 1125 mm de comprimento por 88 mm de largura e 200 mm de altura. A área total externa é de $0,410 \text{ m}^2$.

Com a informação da área externa, pode-se determinar o peso aproximado da estrutura final. Segundo artigo publicado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (2005), a massa específica média de um laminado padrão fica em torno de 1500 kg/m^3 . Considerando a área de $0,410 \text{ m}^2$ e a espessura de 1,5 mm, citada na seção 6.2, o volume total é de $0,000696 \text{ m}^3$. Assim sendo, a massa estimada do flutuador estará em torno de 0,923 kg. Considerando a massa da estrutura de fixação definida em 0,391 kg, chega-se a massa de 1,313 kg, 12,5% abaixo do valor designado como padrão do mercado.

As vistas inferior e lateral podem ser observadas nas figuras 6.19 e 6.20 e as dimensões do modelo nas figuras 6.21 e 6.22:

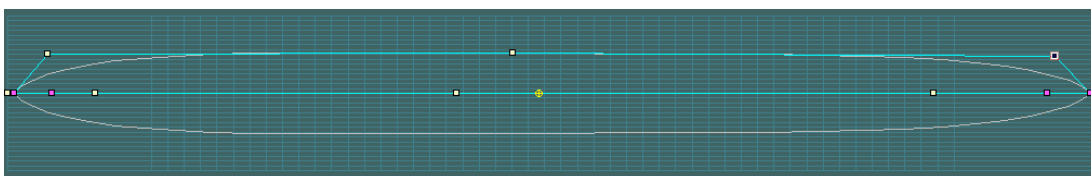


Figura. 6.19: Vista inferior do modelo

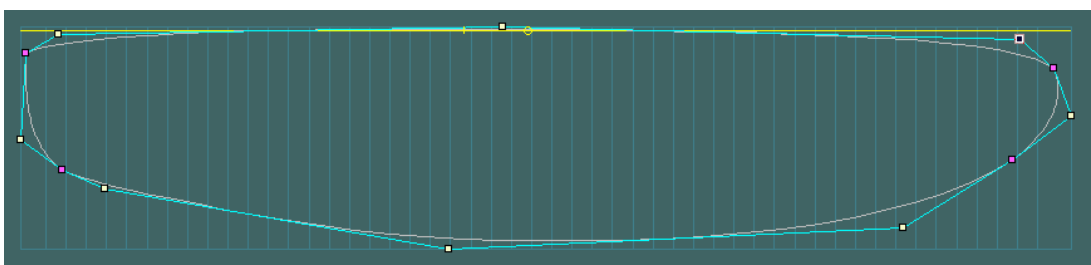


Figura. 6.20: Vista lateral do modelo

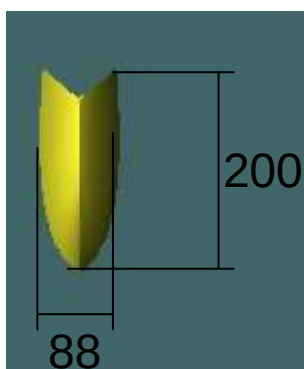


Figura. 6.21: Altura e largura do modelo (em mm)

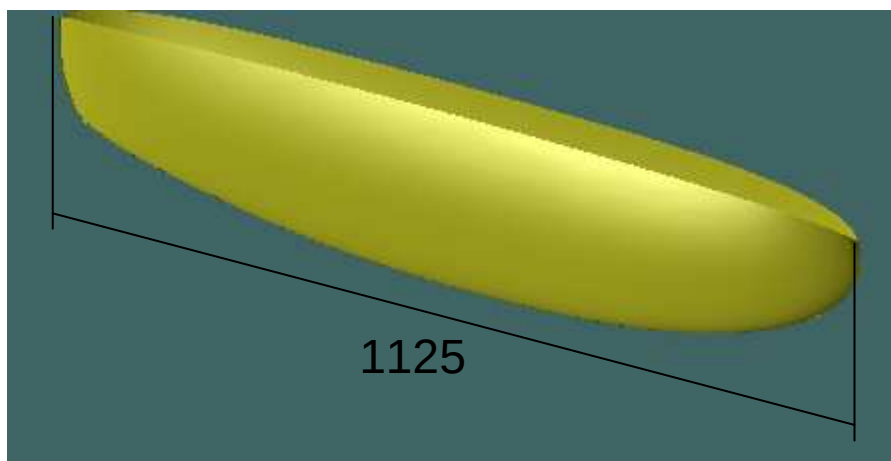


Figura. 6.22: Comprimento do modelo (em mm)

6.7. Simulações e comparativos

A simulação foi feita respeitando a ordem cronológica do uso dos flutuadores. Os resultados que serão apresentados tem caráter comparativo e, portanto, serão consideradas as diferenças relativas de desempenho entre os modelos. Essa comparação será feita através de um gráfico da resistência total em função da velocidade, considerada de 0 a 5 m/s.

Os resultados da simulação do primeiro dispositivo utilizado pelo E. C. Pinheiros estão dispostos na figura 6.23 seguir e mostram uma resistência de 10,036 N para uma velocidade de 3,007 m/s.

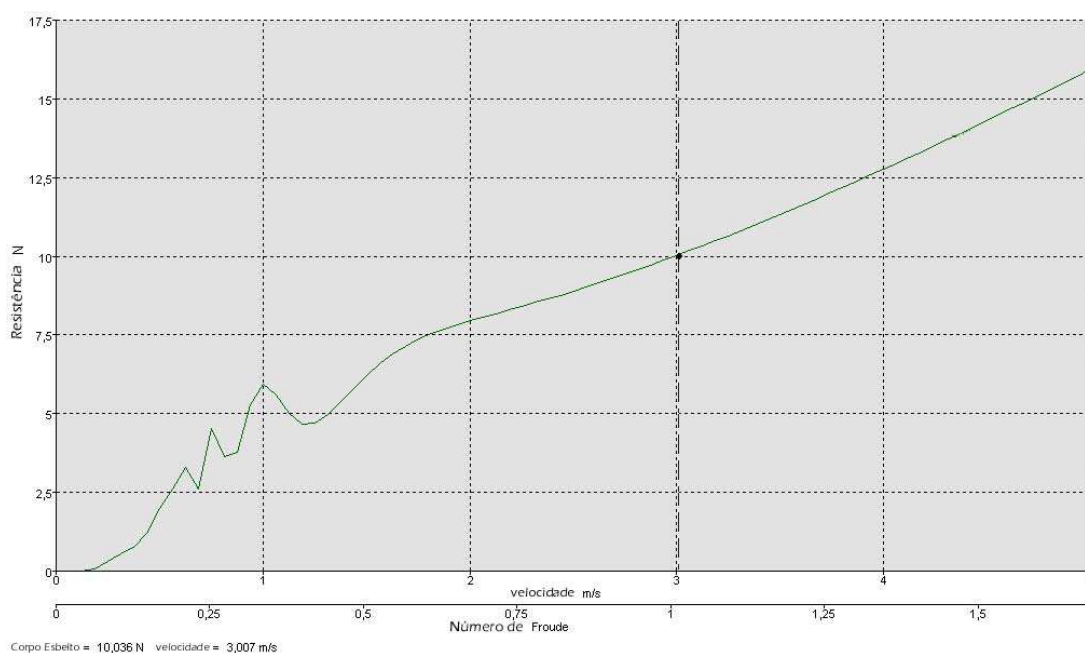


Figura 6.23: Gráfico de Resistência X Velocidade para simulação do cilindro.

A simulação do dispositivo que é utilizado atualmente pelo E. C. Pinheiros trouxe os resultados de resistência de 4,568 N em uma velocidade de 3,007 m/s, vistos na figura 6.24.

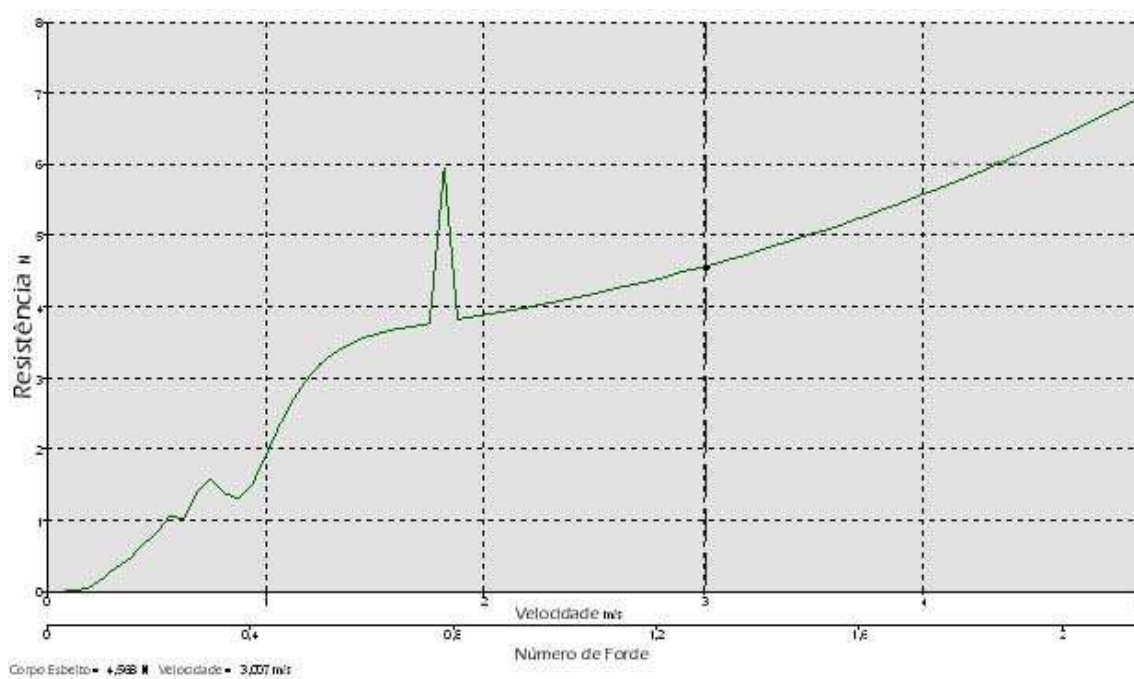


Figura 6.24: Gráfico de Resistência X Velocidade para simulação do flutuador atualmente utilizado pelo clube.

Verifica-se uma considerável melhora em relação ao primeiro dispositivo utilizado, no entanto, essa evolução no desempenho ocorreu em detrimento de um parâmetro fundamental que é a segurança. Este flutuador desloca um volume de apenas $0,0037 \text{ m}^3$, e assim fornece uma flutuação muito abaixo do necessário segundo o dimensionamento efetuado na seção 6. Portanto, o desempenho do flutuador, apesar de ter sido melhorado em 54% em relação ao primeiro modelo utilizado, não cumpre o pré-requisito principal que é impedir o emborcamento do barco.

Com o casco que foi desenvolvido para o projeto, chegou-se ao resultado de resistência igual a 3,357 N a 3,007 m/s (vistos na figura 6.25). O desempenho, em comparação com o modelo inicialmente utilizado pelo proponente foi melhorado em 67%, e 27% em relação ao modelo atual.

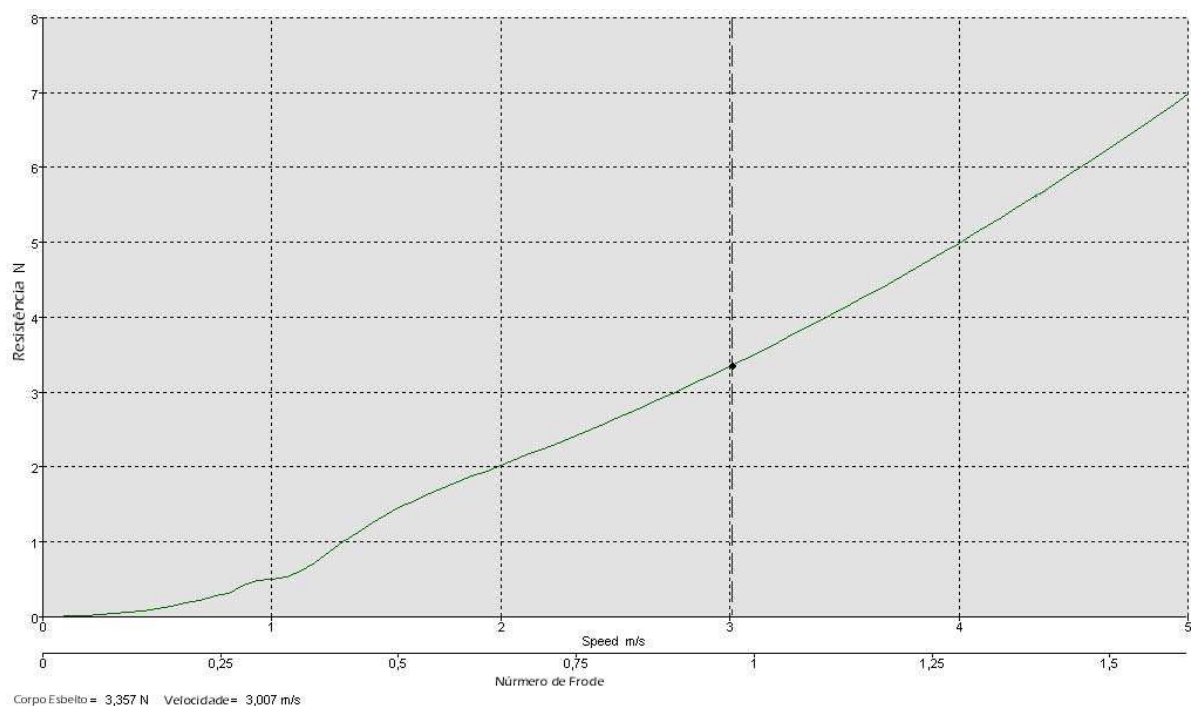


Figura 6.25: Gráfico de Resistência X Velocidade para simulação do flutuador desenvolvido.

Apenas a título de curiosidade, o software permite ainda calcular o padrão de onda gerado pelo casco, o qual pode ser observado na figura 6.26.

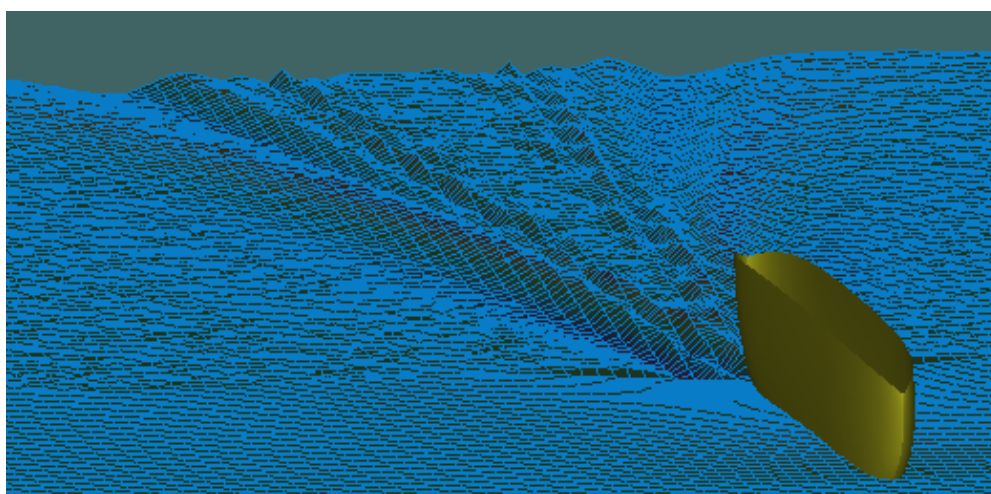


Figura 6.26: Padrão de onda gerado pelo flutuador desenvolvido.

Outro artifício interessante é a possibilidade de superposição dos cascos gerados no software a fim de se poder compará-los. Nas figuras 6.27 e 6.28 podemos comparar os cascos do primeiro protótipo desenvolvido pelo proponente e o desenvolvido nesse projeto.

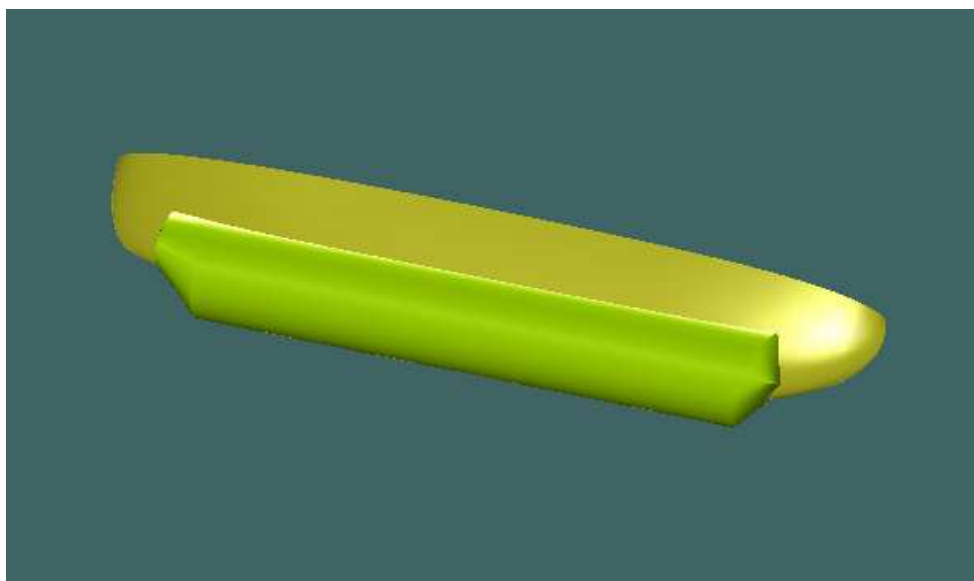


Figura 6.27: Comparação do primeiro dispositivo do proponente com o modelo desenvolvido (vista isométrica).

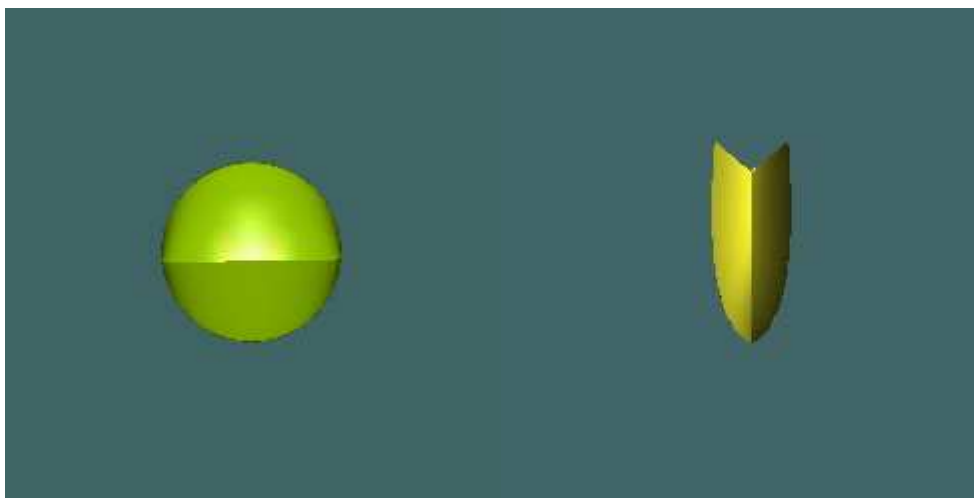


Figura 6.28: Comparação do primeiro dispositivo do proponente com o modelo desenvolvido (vista frontal).

Nas figuras 6.29 e 6.30 vemos a comparação do segundo modelo desenvolvido pelo proponente e o desenvolvido nesse projeto.

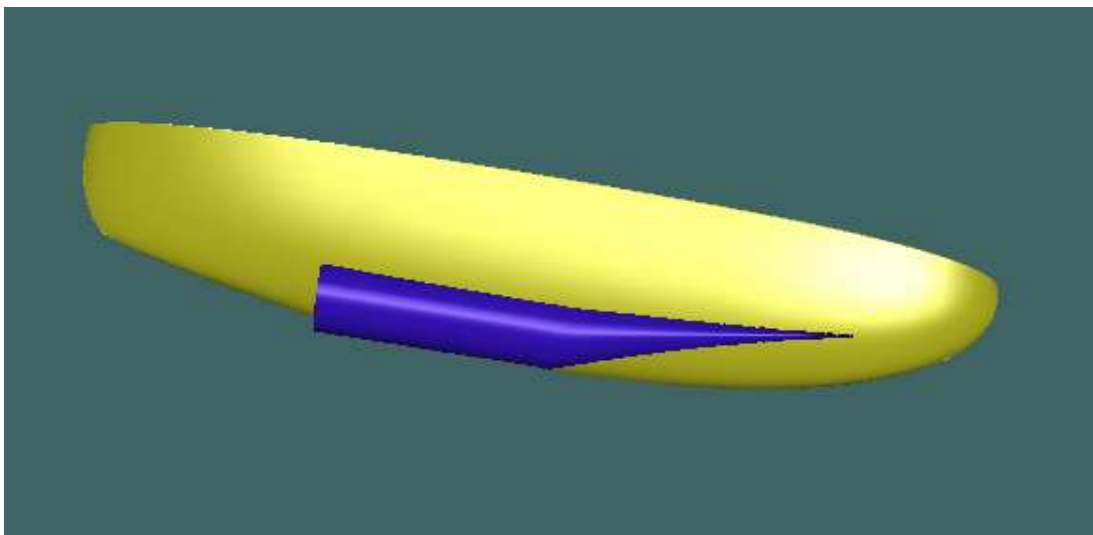


Figura 6.29: Comparação do segundo dispositivo do proponente com o modelo desenvolvido (vista isométrica).



Figura 6.30: Comparação do segundo dispositivo do proponente com o modelo desenvolvido (vista frontal).

6.8. Protótipo Final e Testes e Avaliações

Após a conclusão de todas as etapas de projeto e execução foi possível chegar-se ao protótipo final, construído pelos alunos para a realização dos testes práticos e avaliação pelos atletas da seleção brasileira de remo adaptável. As figuras 6.31 a 6.34 mostram o protótipo do flutuador montado no barco, para os testes funcionalidade e desempenho.



Figura 6.31: Protótipo Montado no Barco (lado esquerdo).



Figura 6.32: Protótipo Montado no Barco (lado esquerdo).



Figura 6.33: Protótipo Montado no Barco (vista frontal).



Figura 6.34: Protótipo montado ao barco (vista traseira)

A montagem do protótipo ao braço da forqueta foi extremamente simples, mostrando que o sistema desenvolvido com base na braçadeira de tubos foi adequado ao uso. A construção do flutuador também foi feita de modo que o sistema de fixação poderá facilmente ser adaptado a outros tipos de braços de forqueta, onde a fixação é feita através de um simples parafuso, como é o caso dos barcos da Wintech Racing utilizados no campeonato mundial na Alemanha em 2007. Na figura 6.35 pode-se ver a estrutura de fixação em detalhe. Pode-se notar claramente a braçadeira de tubos fixando a estrutura de fixação, feita em alumínio, ao braço da forqueta. Nessa figura pode-se perceber ainda que o ajuste de altura do flutuador foi feito com um parafuso e porca, o que dificulta e atrasa bastante o ajuste do flutuador e sua utilização. Como avaliado no item (6.1.5), a alternativa escolhida foi a do pino com cupilha, porém essa peça não estava disponível na data dos testes. A utilização dessa peça agiliza e facilita o processo de instalação do flutuador.

Na figura 6.36 pode-se notar a braçadeira de tubos utilizada, completamente desmontada para seu melhor entendimento e visualização. É importante observar que o parafuso utilizado nesse caso para o aperto da braçadeira não é o fornecido juntamente com a mesma, já que somente com um parafuso maior torna-se possível o aperto da braçadeira e a união da braçadeira ao resto da estrutura de fixação.

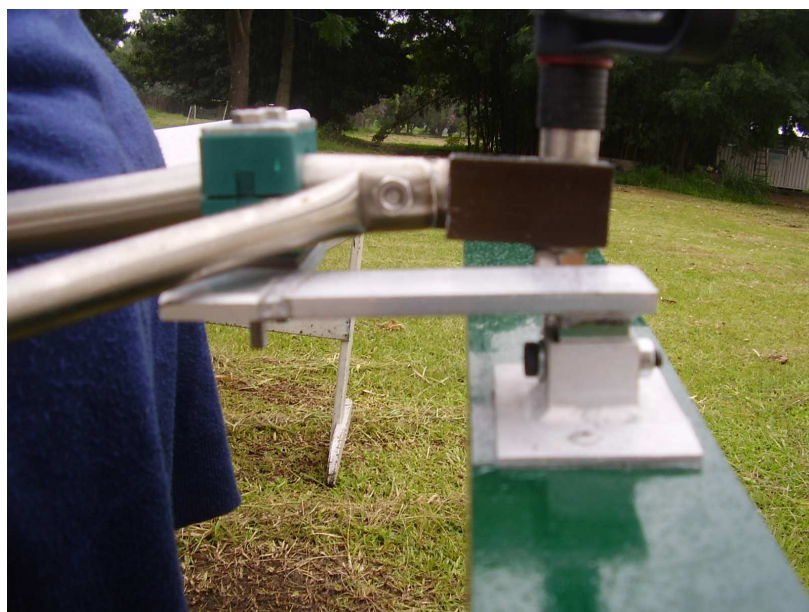


Figura 6.35: Detalhe do sistema de fixação ao barco.



Figura 6.36: Detalhe da braçadeira desmontada.

Outro diferencial desse projeto em relação aos existentes, tanto artesanais quanto os comerciais importados é a existência do dreno para a retirada da água, em uma eventual infiltração. Esse dreno, instalado no protótipo pode ser visto em detalhe na figura 6.37.

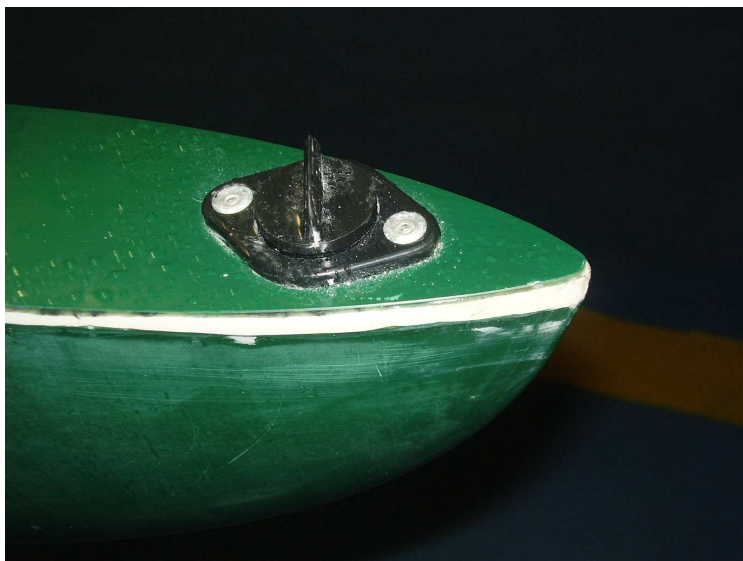


Figura 6.37: Detalhe do dreno instalado.

Após a instalação do flutuador no barco e a verificação de sua adequação dimensional ao mesmo e da verificação do sistema de fixação foi possível fazer os testes práticos com atletas na Raia Olímpica da USP. No primeiro teste, realizado com a atleta da Seleção Brasileira de Remo Adaptável, Claudia Cícero dos Santos, campeã mundial com o barco “Single Skiff” na categoria W1X em 2007 na Alemanha, foi possível verificar que o flutuador funcionou corretamente, de acordo com os requisitos e necessidades. Após esse primeiro teste, o protótipo foi utilizado por duas semanas, a critério de teste, para que se pudesse chegar às conclusões finais, análises de desempenho e eventuais alterações necessárias. As figuras 6.38 e 6.39 mostram esses testes do protótipo na Raia Olímpica da USP.



Figura 6.38: Atleta testando o protótipo.



Figura 6.39: Teste do protótipo na Raia Olímpica da USP.

As informações coletadas nesses testes foram de que o protótipo desenvolvido nesse projeto atendia plenamente aos requisitos (item 4.2) e às normas da FISA (Apêndice B). O sistema de fixação se mostrou totalmente compatível com o barco e a fixação foi feita de maneira segura e confiável, tendo sido considerada o ponto forte do projeto pelos atletas. O ajuste da altura do flutuador também se mostrou plenamente funcional, porém a falta do pino de fixação e a conseqüente utilização do parafuso com porca tornou a regulagem da altura difícil e demorada.

Fica evidente a necessidade do pino, para que esse ajuste não atrase ou dificulte a instalação do flutuador.

Durante a fase de testes, foi necessário um reparo no flutuador, devido ao fato de que a estrutura de fixação tinha sido fixada ao flutuador de maneira inadequada. Após os reparos o flutuador funcionou corretamente.

No quesito desempenho, a avaliação foi de que o protótipo apresentou elevado desempenho na questão do arrasto e a linha de flutuação. Nesses quesitos, segundo os atletas, o desempenho do protótipo foi superior aos importados, disponíveis comercialmente e aos artesanais anteriormente utilizados pelo proponente.

A análise completa de desempenho, enviada pelo Sr. Júlio Noronha da Confederação Brasileira de Remo pode ser vista no Apêndice C.

6.9. Custos

A construção do modelo e do molde são a parte mais dispendiosa do projeto, mas se tornam economicamente viáveis ao possibilitarem a construção de diversos pares de flutuadores. Assim, quanto mais flutuadores forem feitos no molde, menor será o impacto desse investimento inicial no custo de um flutuador.

O cálculo do custo da construção de cada flutuador foi então feito de três formas distintas. A primeira delas é relativa ao custo de construção do protótipo, com custos de aquisição do molde, custo de mão de obra, e de algumas peças. A tabela 6.7 apresenta esses custos:

Tabela 6.7: Tabela de custos 1

Investimento	
Modelo	2000,00
Molde	400,00
Total	2400,00
Custo unitário	
Solda	66,00
Flutuador	145,00
Material fixação	64,00
Total	275,00

A segunda diz respeito à construção dos flutuadores no clube, se utilizando do molde fabricado anteriormente. Nessa análise, o custo de mão-de-obra fica reduzido ao mínimo e tem-se um custo relativo por flutuador, considerando o preço relativo de cada peça a ser adquirida. A tabela 6.8 apresenta esses custos:

Tabela 6.8: Tabela de custos 2

Item	Qntd		Valor
Braçadeira para tubo completa	1,00	un	14,95
Tubo quadrado de ¾" 6m	0,12	m	0,77
Tubo quadrado de 1" e=3,17 6m	0,19	m	2,05
Parafuso Fenda M6 x 30 mm Cabeça Cilíndrica	1,00	un	0,25
Parafuso Fenda M6 x 60mm Cabeça Cilíndrica	2,00	un	0,60
Porca M6	5,00	un	0,25
Porca Borboleta M6	1,00	un	0,09
Barra chata de Alumínio 300x6 6m	0,20	m	1,40
Dreno de plástico 25mm	1,00	un	11,30
Chapa Quadrada Alumínio 200x200x3,17	0,10	m ²	1,50
Tecido de fibra de vidro, 145 g/m ²	0,464	m ²	4,64
Resina isoftálica (60% peso do flut.>0,626kg)	0,626	kg	9,08
Gel coat isoftálico (rendimento 15m ² /kg)	0,030933	kg	0,43
Desmoldante - cera (80g/aplicação)	0,08	kg	0,80
Catalizador (1-2% do peso da resina)	0,00939	kg	0,14
Massa Plástica (50g por aplicação)	0,05	kg	0,43
Lixa 220	5	un	2,00
Primer epoxi (rendimento 17m ² /l)	0,027294	l	0,46
Tinta P-120 bicomponete (rendimento 17m ² /l)	0,027294	l	0,87
Diluyente	0,05	l	1,50
Thinner	0,25	l	1,80
Trincha 2"	1	un	6,00
Luvas de látex	1	un	0,08
Máscara PFF-1	1	un	1,00
Outros	1	---	20
SubTotal			82,18
Serviços			
Solda	1	---	66,00
Total			148,18

A terceira análise considera também a construção no próprio clube, porém leva em conta o fato de algumas matérias-primas utilizadas na construção dos flutuadores serem vendidas em volumes superiores ao necessário para a confecção de um único flutuador. Considera-se assim, o custo de aquisição das matérias primas na mínima quantidade possível e o serviço para construção de 1 flutuador e a quantidade de flutuadores que se pode construir com essas respectivas quantidades. A tabela 6.9 apresenta esses custos.

Tabela 6.9: Tabela de custos 3

Item	Qntd	[]	Valor	n° de Flutuadores
Braçadeira para tubo completa	1	un	14,95	1
Tubo quadrado 1" 6m t=3,17mm	1	m	54,00	30
Tubo 3/4" 6m t=1,58mm	1	m	38,36	50
Parafuso Fenda M6 x 30 mm Cabeça Cilíndrica	1	un	0,42	1
Parafuso Fenda M6 x 60mm Cabeça Cilíndrica	2	un	0,06	1
Porca M6	5	un	0,05	1
Porca Borboleta M6	1	un	0,09	1
Barra chata de Alumínio 300x6 6m	0,20	m	51,28	30
Dreno de plástico 25mm	1	un	11,30	1
Chapa Quadrada Alumínio 200x200x3,17	0,10	m ²	16,50	11
Tecido de fibra de vidro, 145 g/m ²	1	m ²	10,00	2,2
Resina isoftálica (60% peso do flut.>0,626kg)	5	kg	72,50	8,0
Gel coat isoftálico (rendimento 15m ² /kg)	5	kg	69,00	161,6
Desmoldante - cera (80g/aplicação)	0,5	kg	5,00	6,3
Catalizador (1-2% do peso da resina)	1	kg	15,00	106,5
Massa Plástica (50g por aplicação)	0,7	kg	6,00	14,0
Lixa 220	5	un	2,00	1,0
Primer epoxi (rendimento 17m ² /l)	3,6	l	61,20	131,9
Tinta P-120 bicomponete (rendimento	3,6	l	114,12	131,9
Diluyente	1	l	30	20,0
Thinner	5	l	36,00	20,0
Trincha 2"	1	un	6,00	1,0
Luvas de látex	100	un	8,00	100,0
Máscara PFF-1	10	un	10,00	10,0
Outros	1	---	20,00	1,0
SubTotal			651,83	
Investimento				
Isopor 1000X500X5 mm (2 seções por chapa)	25	un	33,00	2,00
SubTotal			33,00	
Serviços				
Solda	1	---	66,00	
Total			750,83	

6.10. Conclusões

A necessidade do de um flutuador para substituir os modelos artesanais utilizados no atualmente com ganho de desempenho bem como para criar no país uma alternativa economicamente viável em relação aos modelos importados, levou esse projeto ao desenvolvimento de uma alternativa que não só se mostrou mais confiável (pois com seu maior volume, oferece maior resistência ao emborcamento do barco) mas também com um melhor desempenho em relação aos modelos atuais e os importados, fato que ficou comprovado pelas simulações computacionais realizadas e pelos testes práticos realizados na Raia Olímpica da USP.

A inclusão de um guia de construção no presente trabalho, servirá de auxílio para a construção de mais flutuadores, bem como reparos a serem feitos, de acordo com a necessidade, nas próprias instalações do clube.

Sendo assim, os objetivos propostos foram alcançados com sucesso, fato comprovado nos testes práticos realizados pela Seleção Brasileira de Remo Adaptável com o protótipo.

Os problemas técnicos enfrentados sugerem que no planejamento de produção sejam considerados prazos maiores, até que um processo robusto seja definido.

O sucesso alcançado com este projeto possibilita sua continuidade através de estudos de viabilidade para sua produção em escala, tornando o modelo aqui desenvolvido, uma nova opção às poucas disponíveis no mercado.

BIBLIOGRAFIA

Alden Rowing – Disponível em:

<http://www.rowalden.com/> Acesso: 05/08/2007.

Artificial Neural Networks for Hull Resistance Prediction. Disponível em:

<http://www225.pair.com/magic/ftp/Maxsurf/TechnicalPapers/compit04masoncouserPDF.pdf>. Acesso: 19/05/2007

Associação do Conhecimento Náutico. Disponível em:

http://www.geocities.com/rasc98_99/ Acesso: 06/04/2007

CALLISTER JR, WILLIAM D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução, 5ª Ed., LTC Editora, 2002, Rio de Janeiro

Clube Athletico Paulistano. Disponível em:

<http://www.remopaulistano.hpg.ig.com.br/artigos7.html> . Acesso: 4/5/2007

Concept 2 Brasil. Disponível em:

http://www.concept2.com.br/concept/html/remo_novidades.htm . Acesso: 4/5/2007

CRR – Confederação Brasileira de Remo. Disponível em:

<http://www.cbr-remo.com.br/> . Acesso: 03/05/2007.

Definição de CAD e NURBS. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/NURBS>.

Acesso: 26/05/2007

GERE, JAMES M., Mecânica dos Materiais, Thomson Learning, 2003, São Paulo.

LUBIN, GEORGE, Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold Company Inc. , New York, 1982

SABATINI, JOSÉ PAULO – Comunicação Pessoal , 2007

KAMINSKI, PAULO CARLOS, Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade, LTC Editora, 2000, Rio de Janeiro

LOPES, RUI G. C., Sistematica de Projeto Aplicada a uma Embarcação Fluvial do tipo Catamarã, São Paulo, 1981 – trabalho de Formatura

MUNSON, BRUCE R., Fundamentos da Mecânica dos Fluidos, Edgard Bluncher, 2003, São Paulo.

MUTCHNIK, ELIANA – Comunicação Pessoal, 2007

NASSEH, JORGE, Manual de Construção de Barcos, Booklook, 2000, Rio de Janeiro

SCHULTZ, M. P., FINLAY, J.A., CALLOW, M. E., CALLOW, J. A., Three Models to Relate Detachment of Low Form Fouling at Laboratory and Ship Scale. 2002. vol. 19 – Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, United States Naval Academy, Annapolis, United States.

SCOTT, ROBERT J., Fiberglass Boat Design and Construction, The society of Naval Architects and Marine Engineers, 1996, New Jersey

Trit Indústria e Comércio Ltda. – Disponível em:

<http://www.trit.com.br/> Acesso: 03/12/2007

Wintech Racing – Disponível em:

<http://www.wintechracing.com/>. Acesso: 03/08/2007.

APENDICE A

Todo o material utilizado foi orçado com mais de um fornecedor. Abaixo segue a relação dos mesmos :

Abcol

Material cotado: tecido de fibra de vidro, resinas, desmoldante, catalizador e material de apoio.

Endereço: Rua dos Beribos, 227 – São Caetano do Sul

Telefone: (11)4227-3666

VI Fiber

Material cotado: tecido de fibra de vidro, resinas e catalizador

Telefone: (11)6413-0344

Knauf

Material cotado: isopor

Telefone: (11)3662-0288

Só Isopor

Material cotado: isopor

Telefone: (11)3227-8388

Isolândia

Material cotado: isopor

Telefone: (11)4341-7944

MaxEpoxi

Material cotado: Placa de PU

Telefone: 5642-5608

Ferragens Paulista

Material cotado: perfis metálicos

Endereço: Rua Pais Leme, 292 – São Paulo

Telefone: (11)3032-2086

Império dos Metais

Material cotado: perfis metálicos

Telefone: (11)6693-6600

Alsev Comércio de Alumínios Ltda.

Material cotado: perfis metálicos

Telefone: (11) 4787-5577

Dumont Comércio de Aços e Metais Ltda.

Material cotado: perfis metálicos

Telefone: (11) 3207-1010

Regatta – Força 10 Produtos Esportivos Ltda

Material cotado: Dreno Plástico

Telefone: (11) 3030-3400

Hansa-Flex do Brasil Ltda.

Material cotado: Braçadeira de tubos

Telefone: (11) 3644-7820

APENDICE B

2007 FISA ADAPTIVE ROWING REGULATIONS

Rules applying to international regattas and FISA Championship Regattas shall apply to adaptive rowing events at those regattas except as provided in these Regulations.

PART I - SCOPE

Regulation, Rule 2 - Application

The FISA Rules, Bye-Laws and Regulations shall also apply to Paralympic Regattas within the limits of the authority of FISA and to Paralympic Qualification Regattas

Regulation, Rule 6: Right to Participate

Paralympic Regattas are open only to those rowers whose federations have qualified in the appropriate boat classes in accordance with the Paralympic Qualification System.

PART II – ROWERS AND COXSWAINS

Regulation, Rule 16: Eligibility and Insurance

No rower may enter an adaptive event under these Rules unless they have submitted an Adaptive Rower Classification Application Form to FISA through their national federation and have been classified as set out in the FISA Classification Guidelines for Adaptive Rowers (“Guidelines”). The Guidelines shall be part of these Regulations.

Regulation, Rule 20: Coxswains

For adaptive events there is no restriction on coxswains in respect of adaptive eligibility, sex or age. The minimum weights of coxswains shall apply to adaptive events.

Regulation, Rule 26: Mixed Masters Events

Masters adaptive events may also be held for mixed crews without restriction on the ratio of men and women, as long as at least one rower of each sex is included in the crew.

Regulation, Rule 27: Adaptive Categories

FISA recognises the following adaptive categories:

- LTA (legs, trunk and arms)
- TA (trunk and arms)
- A (arms only)

Rowers' Adaptive Classification

A rower's adaptive classification and sport class status shall be determined by a FISA Classifier upon receipt of the appropriately designated FISA Classification Application and presentation of the rower to the Classifier(s) as set out in the 2007 FISA Adaptive Rowing Regulations Page 2 of 8 Guidelines. A list of the classifications and sport class status of all classified adaptive rowers shall be maintained by FISA and shall be made available for inspection upon request. A copy of the current list may be posted on the FISA website. The list of classifications shall indicate the name, federation and official classification and status of each rower but shall not identify any individual's disability.

Qualifying Disabilities

For each adaptive classification, adaptive rowers shall have a minimum disability as defined in the Guidelines.

FISA Classifier

The status of FISA Classifier may be granted to any person who meets FISA's requirements for this purpose and who is duly appointed by the Executive Committee.

Classification Protest Panel

The Classification of any rower may be confirmed or modified by FISA upon a ruling by a Classification Protest Panel convened by FISA for this purpose. The Panel shall be appointed by the Executive Committee in accordance with these Regulations. Membership of the Panel shall consist of at least 3 FISA Classifiers, none of whom shall have been involved in the classification of the rower concerned. Exceptionally, in 2006 and 2007 only, the Panel may comprise 2 FISA Classifiers.

Regulation Rule 29: World Championship Adaptive Boat Classes

World Rowing Championships include the following adaptive events:

- Legs, trunk and arms, Mixed (LTAMix) - 4+ (LTAMix4+)
- Trunk and arms, Mixed (TAMix) - 2x (TAMix2x)
- Arms only, Men (AM) - 1x (AM1x)
- Arms only, Women (AW) - 1x (AW1x)

In these Mixed adaptive events half of the rowers in a crew shall be men and half shall be women. In the 4+, the coxswain may be of either sex.

Regulation, Rule 30: Paralympic Games Boat classes

The programme at the Paralympic Regatta includes the following events:

Legs, trunk and arms, Mixed (LTAMix) - 4+ (LTAMix4+)

Trunk and arms, Mixed (TAMix) - 2x (TAMix2x)

Arms only, Men (AM) - 1x (AM1x)

Arms only, Women (AW) - 1x (AW1x)

In these Mixed adaptive events half of the rowers in a crew shall be men and half shall be women. In the 4+, the coxswain may be of either sex.

2007 FISA Adaptive Rowing Regulations Page 3 of 8

PART IV – BOATS AND CONSTRUCTION

Regulation, Rule 31 – Boats and Equipment

1. General Aspects

(a) The use of FISA Standard Adaptive boats is mandatory for all adaptive 1x and 2x events.

(b) All boats used in the 4+ event shall be stern-coxed.

(c) At the Paralympic Games regatta, the use of FISA Standard Adaptive boats provided by FISA is mandatory for all events.

1.1 The Council shall determine the design and specifications of FISA Standard Adaptive boats and any changes thereto. The design and specifications shall be a part of these Regulations. Those parts of the Standard Adaptive Boats which are not specified in these Regulations may be modified subject to these Regulations and subject to Rule 58.

1.2 No changes in the standard design and specifications of FISA Standard Adaptive Boats shall be made except in the year following the Paralympic Games.

1.3 The minimum weight of FISA Standard Adaptive boats shall be as specified in these Regulations (Regulation, Rule 32: Boat Weights).

2. Standard Adaptive 4+

The FISA Standard Adaptive 4+ used at the Paralympic Games regatta is a stern-coxed boat. The design and specifications shall be stipulated by FISA.

3. Standard Adaptive 2x

The FISA Standard Adaptive 2x has a fixed seat and may have stabilising pontoons. The hull, the pontoons where fitted, and the seat fixing are part of the Standard specifications. The design and specifications shall be stipulated by FISA. The seat itself and the rigger design of the standard 2x are not restricted. The TA2x boat shall have a seat to which the athlete is strapped at the hips to fix the pelvis so that the rower is not able to use the foot stretcher

for leverage. The method of strapping shall be of a design which allows immediate release with single hand movement in case of emergency.

4. Standard Adaptive 1x

The FISA Standard Adaptive 1x has a fixed seat and must have stabilising pontoons. The pontoons must be fixed in position so that when the rower is seated in the balanced boat both pontoons shall be horizontal and shall, at a minimum, touch the water. The hull, the pontoons and the seat fixing are part of the Standard specifications. The design and specifications shall be stipulated by 2007 FISA Adaptive Rowing Regulations Page 4 of 8 FISA. The seat itself and the rigger designs are not restricted.

The seat design and its manner of use must meet the following requirements:

The design of the seat of the A1x is unrestricted except that it must be compatible with the Standard seat fixing. In order to ensure that the arms only aspect of the A1x boat class are fully met, the A1x boat shall have a high seat back to which the athlete is strapped so that only the arms and shoulders can move during rowing. The strap should be at the level of the diaphragm, directly below the nipples or breasts, and be tight enough to restrict any trunk movement without causing breathing problems. The method of strapping shall be of a design which allows immediate release with single hand movement in case of emergency.

Further:

1. All Adaptive TA2x and A1x boats must have a quick single-action foot-release system located within easy reach of the fixed seat to assist rowers to release their feet in case of capsize or accident.
2. For the A1x, any hand strapping must be able to be released immediately by quick mouth action and abdomen strapping by single quick hand action.

Regulation, Rule 32: Boat Weights

In addition to the requirements of Rule 32, the minimum weights for Adaptive boats shall include pontoons where used. The minimum weights of Adaptive boats are:

4+ 51kg

2x 36kg

1x 22kg

PART V - COURSES

Regulation Rule 34: Length of the Course

For LTA4+, TA 2x and A1x events the length of the standard course shall be 1,000 metres straight. The Executive Committee may decide to waive the use of starting pontoons for adaptive events.

PART VI – ORGANISATION OF REGATTAS

Regulation, Rule 42: Rowers' Clothing and Blade Colours

One or both rowers in the TA2x event may extend their racing uniform to cover their legs. Where both rowers cover their legs in this manner, such covers shall be identical in colour and design.

Where A1x rowers are using abdomen strapping and this strapping obscures the identifications permitted to be worn on the racing shirt or equivalent, those Identifications which are so obscured may be repeated on the strapping material 2007 FISA Adaptive Rowing Regulations Page 5 of 8 but shall not be visible on both the racing shirt and the strapping at the same time.

Regulation Rule 45: Entries

No entry shall be accepted for an Adaptive event unless the rower concerned has submitted an Adaptive Rower Classification Application Form by the deadline stipulated by FISA and has been given a classification by FISA. A rower without a FISA Classification or whose Classification has been withdrawn may not compete.

Regulation, Rule 50: Crew Changes before the First Heat

A rower who's Classification has been withdrawn or changed after the close of entries and before the first heat, may be replaced by another eligible rower from the same Federation.

The crew of a rower whose Classification is withdrawn or changed to make them ineligible for that event after the first heat shall not compete again in that event.

Regulation, Rule 53: Safety of Adaptive Rowers

TA2x and A1x rowers require special safety procedures which shall be agreed between FISA and the Organising Committee. In particular, the Organising Committee or the President of the Jury may require additional rescue boats to be present on the course for all adaptive events, but particularly for A1x events. Particular care must be taken in weather conditions which may generate extreme uncontrolled body temperatures. All rowers may wear a self-inflating or other flotation device for additional safety but adaptive rowers in particular should consider this precaution.

Regulation Rule 54: Traffic Rules on the Course

In principle the traffic rules shall provide clear separation between adaptive crews and non-adaptive crews during training and racing for the safety of all crews.

Regulation, Rule 60: FISA Progression System

The FISA Progression System shall apply to adaptive events.

Regulation, Rule 66: The Starting Procedure

1. Floating starts in the absence of Start Pontoons (1000 metres)

Adaptive events raced over a 1,000m course may be started without start pontoons.

2. Starting Procedure for LTA4+

The LTA4+ event may include some rowers with sight impairment. Therefore, at the start of each race in the LTA4+ event, the Starter shall give an additional verbal indication to crews as follows:

2007 FISA Adaptive Rowing Regulations Page 6 of 8

After completing the roll call and stating the word "Attention!", the Starter shall say the words "Red Flag!" at the same time as he raises the red flag (or in the case where traffic lights are used "Red Light!" at the same instant that he presses the button to activate the red light). He shall then proceed with the start in the normal way.

Regulation, Rule 67: Yellow Card

When the Starter awards a Yellow Card to a crew in the LTA4+ event, the coxswain of that crew shall raise his arm to acknowledge that he understands that the penalty has been awarded to his crew.

Regulation, Rule 71 - Interference

A1x rowers wishing to lodge an objection with the Umpire during the race may do so verbally if their hands are strapped, by calling clearly to the Umpire "Objection!" so that the Umpire hears. It is the responsibility of the rower to ensure that the Umpire hears the call and is aware of the objection.

Regulation, Rule 73 – Finish of the Race

At the finish of the race in a LTA4+ event, when raising the white flag the Umpire shall clearly state the words "WHITE FLAG!" for all crews to hear. Should he raise the red flag, he shall similarly clearly state the words "RED FLAG!"

Regulation, Rule 74 - Objections

A1x rowers wishing to lodge an objection with the Umpire may do so verbally if their hands are strapped, by calling clearly to the Umpire "Objection!" so that the Umpire hears. It is the responsibility of the rower to ensure that the

Umpire hears the call and is aware of the objection. No objection concerning eligibility or classification of adaptive rowers may be raised on the water.

Regulation, Rule 76: Protests (and Appeals of Classification)

1. Protest against the classification of another rower

No protest is permitted against the classification of another rower.

2. Protest against own classification

2.1 Any protest concerning a rower's own classification from a rower wishing to compete at a FISA event must be submitted in writing to FISA within 14 days of the rower receiving notification of the classification.

2.2 In principle, no rower may protest a rower's own classification at an event. However, where there are circumstances which require a rower to be classified at an event the rower may protest the classification. The protest must be submitted in writing to FISA within 2 hours of the rower receiving notification of the classification.

2.3 The protest shall be made on the official FISA Classification Protest Form.

2.4. FISA shall refer any protest against the classification of a rower to a 2007 FISA Adaptive Rowing Regulations Page 7 of 8

Classification Protest Panel appointed for this purpose by the Executive Committee under Regulation, Rule 27 of these Regulations. The Classification Protest Panel shall examine the classification documentation of the rower concerned and, in case of any doubt, shall undertake an examination of the rower.

2.5. The final decision shall be made by the Classification Protest Panel and the decision recorded on the Classification Protest Form. The original of the Form shall be held by FISA and a copy shall be provided to the rower who is the subject of the Protest. A decision shall be made and issued prior to the commencement of racing in the event in which the subject rower is to compete.

3. Action by FISA to review the Classification of a Rower

Notwithstanding clause 2 to Regulation, Rule 76, FISA may at any time request a review of the Classification of a rower holding a R or C status classification, as provided in the Guidelines, should it consider that there are justifiable grounds to do so. FISA may request such a review be carried out under the provisions of the Guidelines or under the protest procedure as set out in this Regulation.

Bye-Law, Rule 78: Appeal of a Classification Protest

There shall be no further appeal from the decision of the Classification Protest Panel on a protest concerning classification except for an appeal for

an error of procedure. An appeal of a decision for an error of procedure must be made to the Executive Committee of FISA within 48 hours of receipt of the decision of the Protest Panel. The Appeal shall be heard by at least two members of the Executive Committee. The members must not have been previously involved in the classification procedure or Protest of the rower.

Regulation, Rule 90: Duties of the Umpire
Duties on the way to the Start:

For adaptive events, the Umpire shall also monitor the weather conditions including wind, rain and temperature to ensure the safety of competitors.

Position of the Umpire's launch:

The President of the Jury may require that more than one umpire follow the race for adaptive events.

Regulation, Rule 92: Duties of the Control Commission

For adaptive rowers and boats the Control Commission should also check the following:

- 1) accessibility of the pontoon area for rowers, such as those using wheelchairs or assisted by guide dogs, or authorised caregivers;
- 2) compliance of all boats with FISA Standard Adaptive boats specifications;
- 3) safety measures in TA 2x and A1x boats including foot stretcher and hands and abdomen strapping;
- 4) correct fixing of pontoons on A1x boats in accordance with Regulation 31. 4 above;
- 5) correct usage of eyewear by visually impaired rowers in the LTA4+; and,
- 6) correct body strapping in the A1x.

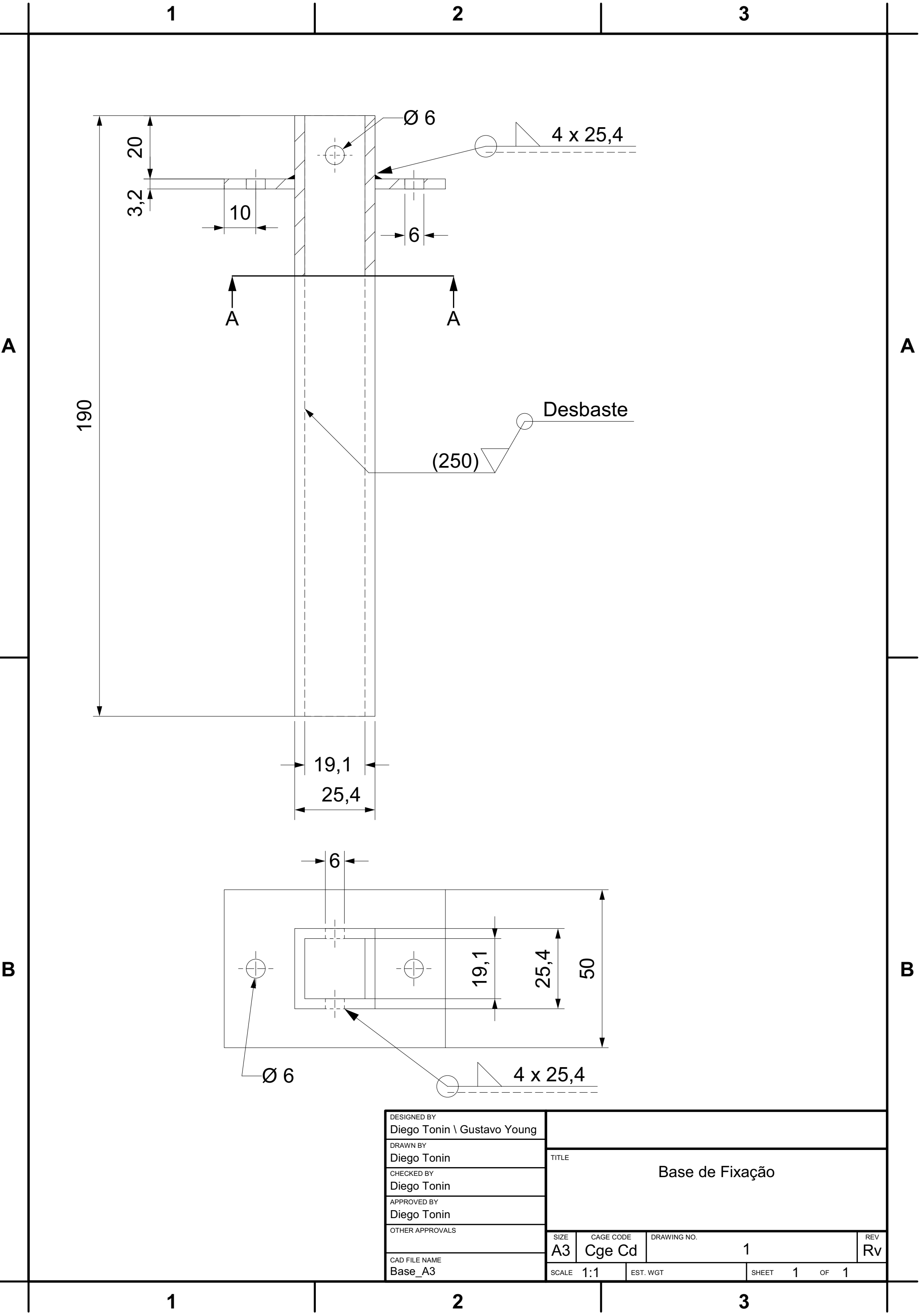
The Control Commission should pay particular attention to the safety of visually impaired rowers or those with an intellectual disability when they are on the pontoon or near the water.

APENDICE C

Depoimento do Sr. Júlio Noronha, da Confederação Brasileira de Remo sobre os testes práticos do protótipo.

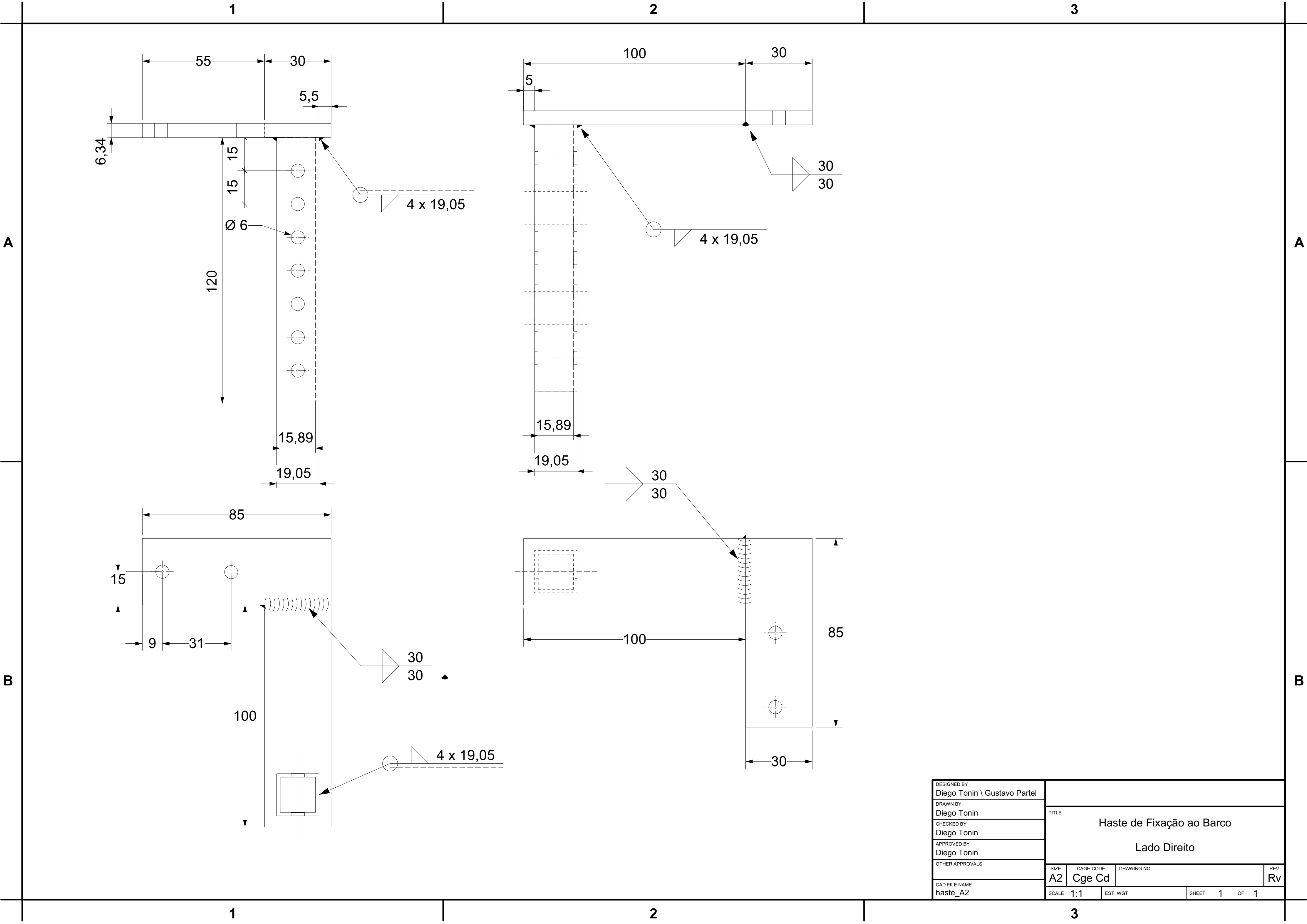
"Quanto a um breve relato do protótipo dos flutuadores, o que pudemos observar foi:

- 1 - A linha de flutuação é adequada, quanto regulada sua altura, quanto o peso do atleta que utiliza.
- 2 - O sistema de fixação da haste ao fundo do flutuador apresentou fraca aderência, necessitando reparos do fabricante.
- 3 - A fixação do flutuador à braçadeira do barco foi adequada a sua utilização. Sendo observado pelos usuários como ponto forte do projeto.
- 4 - O pino da regulagem da altura do flutuador, necessita ser melhorado, tendo seu encaixe como um ponto fraco, em virtude de ser um parafuso com porca. Sugerimos que utilizem algo como uma "cupilha", para facilitar a regulagem do mesmo.
- 5 - Foi observado pelos atletas que utilizaram o protótipo, que o arrasto gerado pelo flutuador é melhor do que o flutuador importado.
- 6 - A fixação da chapa de alumínio à haste da regulagem deve ser feita com parafusos e porcas (4) antes do fechamento da tampa do flutuante."

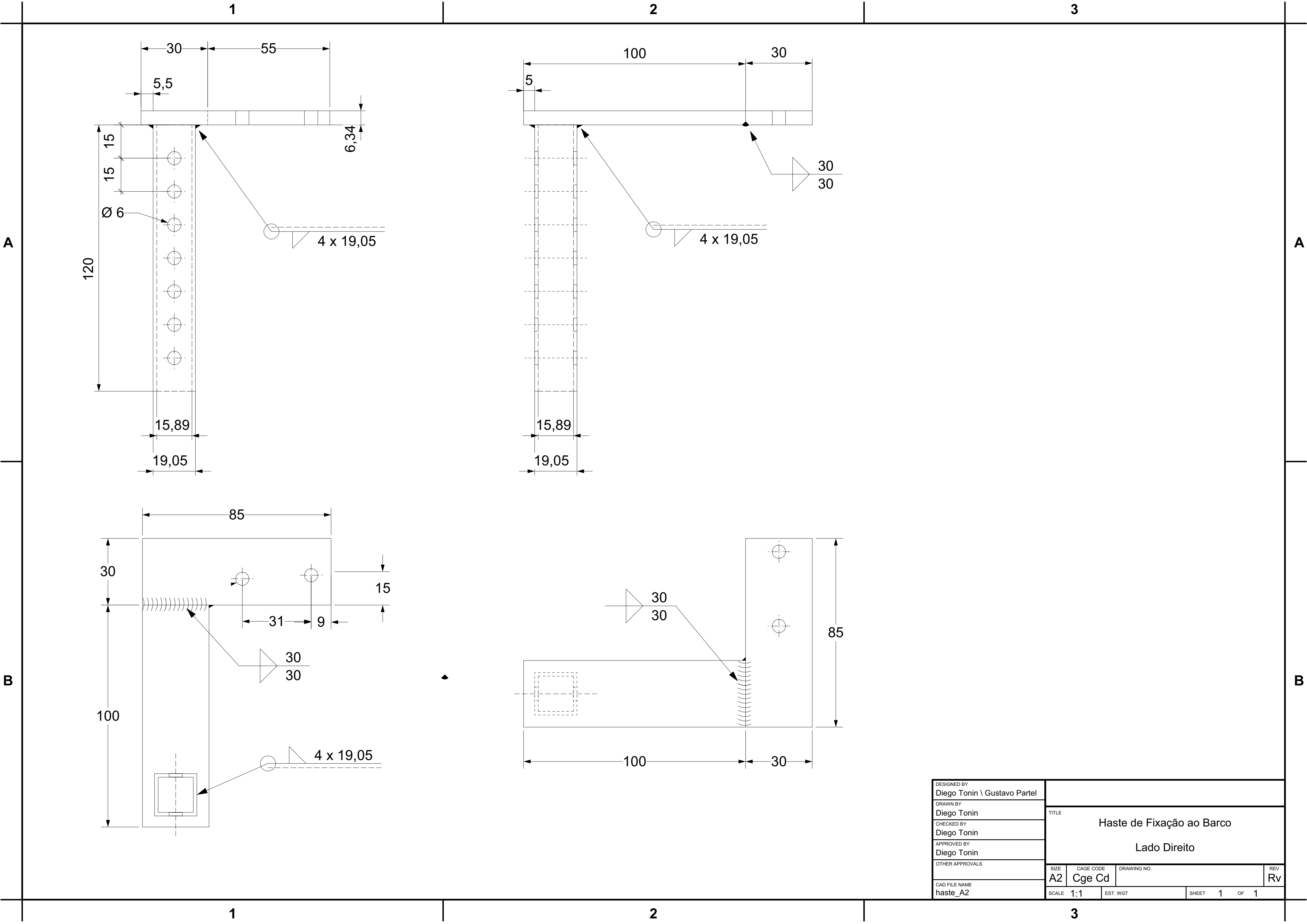


DESIGNED BY	Diego Tonin \ Gustavo Young
DRAWN BY	Diego Tonin
CHECKED BY	Diego Tonin
APPROVED BY	Diego Tonin
OTHER APPROVALS	
CAD FILE NAME	Base_A3

TITLE			
Base de Fixação			
SIZE	CAGE CODE	DRAWING NO.	REV
A3	Cge Cd	1	Rv
SCALE	1:1	EST. WGT	SHEET 1 OF 1



DESIGNED BY Diego Tonin \ Gustavo Partel	TITLE Haste de Fixação ao Barco Lado Direito			
DRAWN BY Diego Tonin				
CHECKED BY Diego Tonin	DRAWING NO.			
APPROVED BY Diego Tonin				
OTHER APPROVALS	SIZE A2	CAGE CODE Cge Cd	SHEET 1 OF 1	REV Rv
CAD FILE NAME haste_A2	SCALE 1:1	EST. WGT		



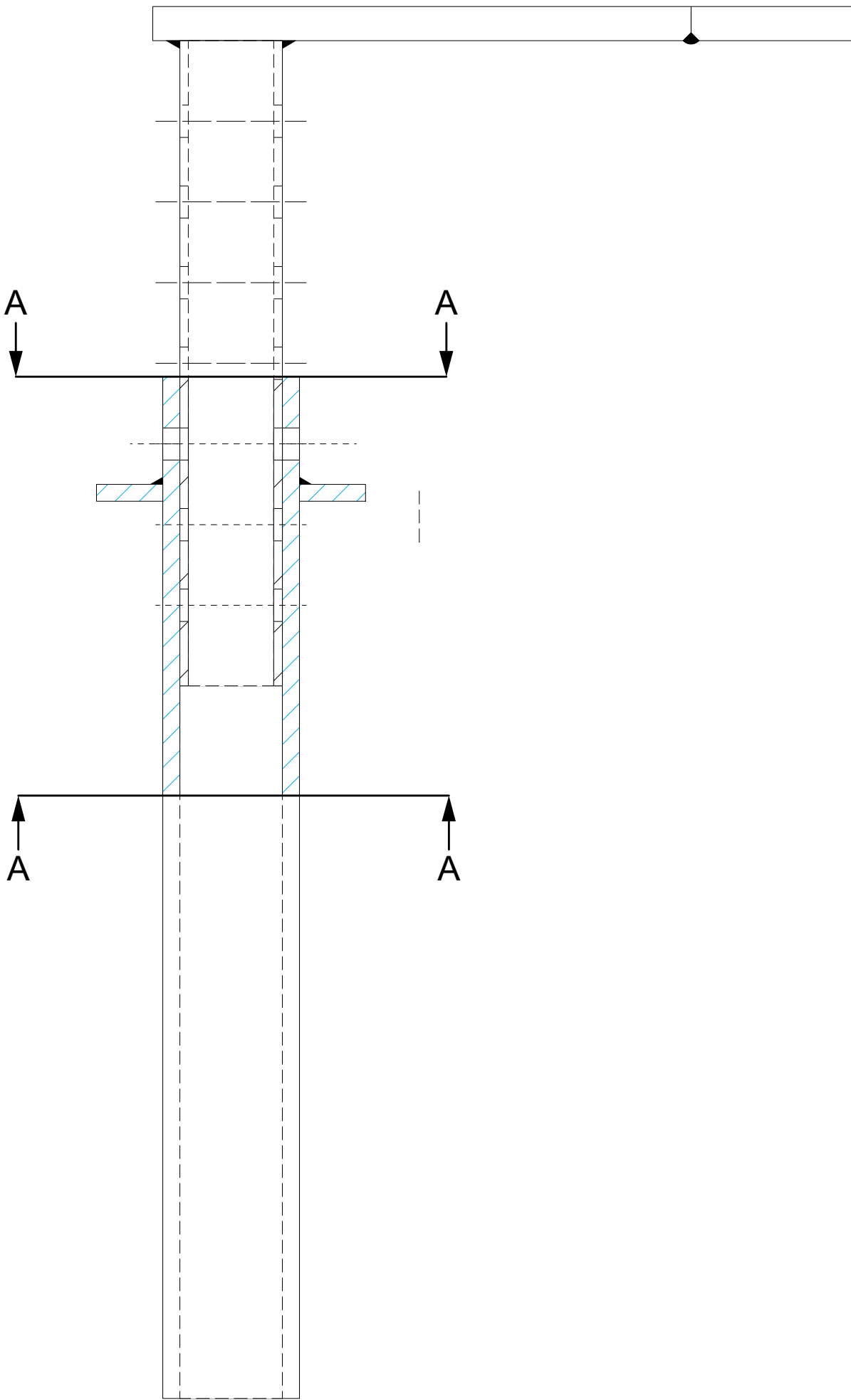
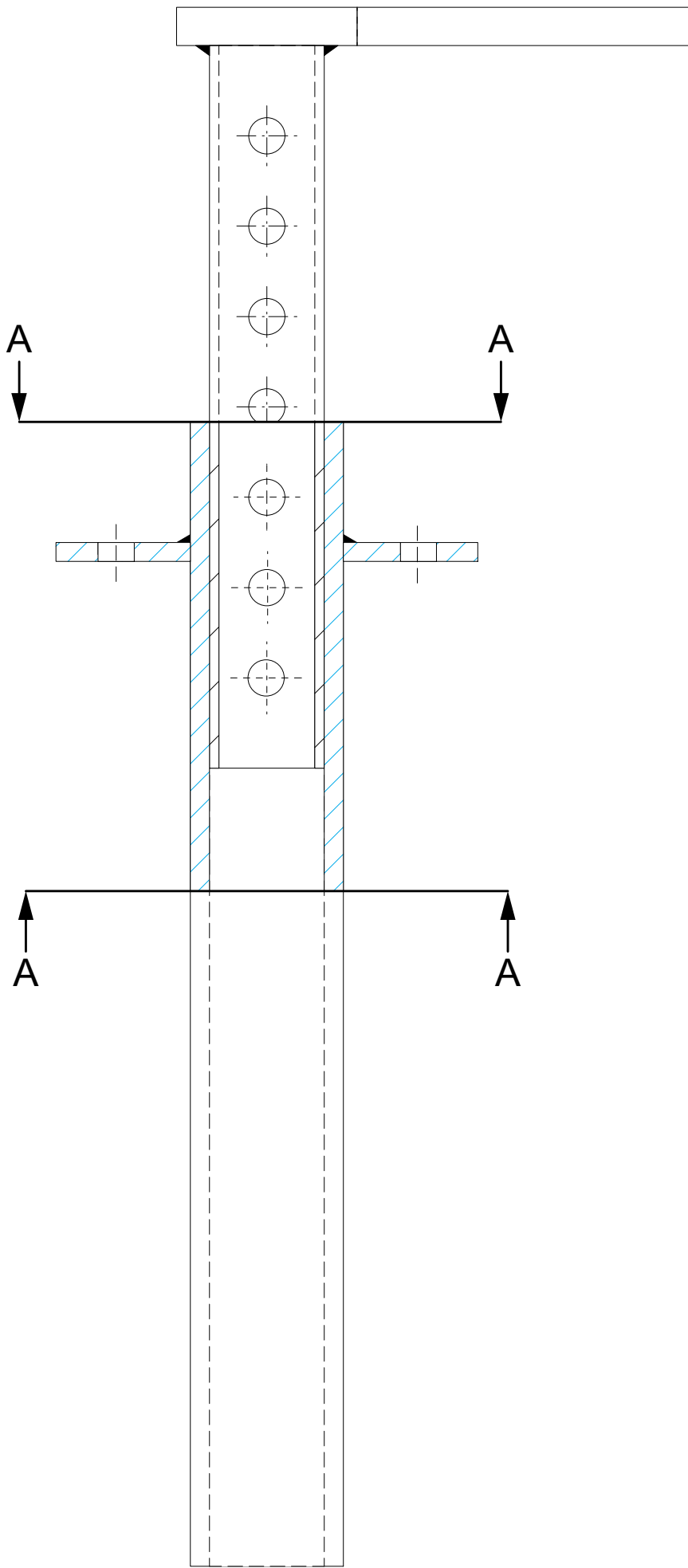
1

2

3

A

A



B

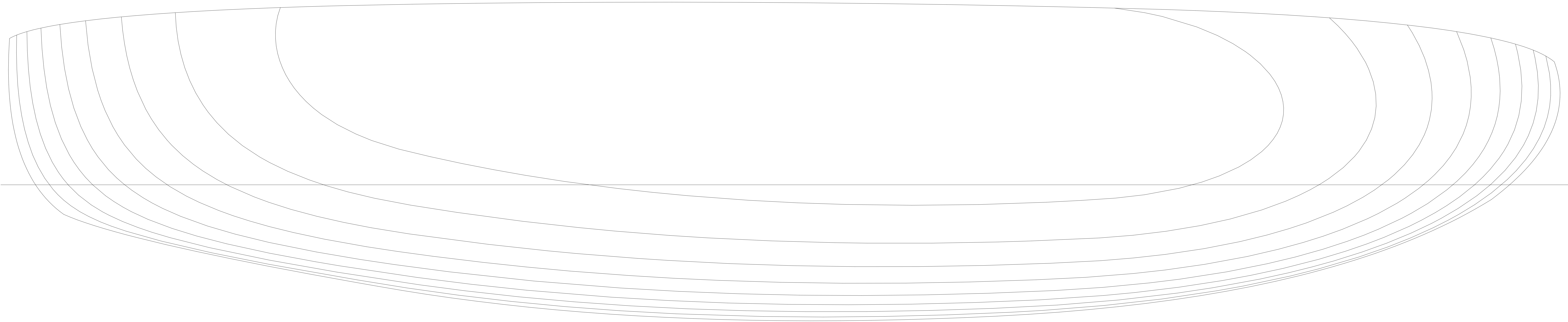
B

DESIGNED BY Diego Tonin \ Gustavo Young						
DRAWN BY Diego Tonin		TITLE Desenho de Montagem Fixação				
CHECKED BY Diego Tonin						
APPROVED BY Diego Tonin						
OTHER APPROVALS						
CAD FILE NAME montagem		SIZE A2	CAGE CODE Cge Cd	DRAWING NO.		REV Rv
		SCALE Scale	EST. WGT Weight	SHEET OF		

1

2

3



Profile View