

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

Diego Tonin

diego.tonin@gmail.com

Gustavo Partel Young

gustavo@oempreiteiro.com.br

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.

Palavras chave: *Flutuadores, Remo Adaptável, Paraolimpíada*

1. Introdução

Apesar de o remo ser um esporte antigo, a modalidade adaptável, destinada aos portadores de deficiências ou limitações físicas tem história recente. Essa modalidade apenas foi incluída no Campeonato Mundial de 2002 na Espanha e o Brasil apenas iniciou sua participação internacional na modalidade a partir de 2004.

Devido às deficiências dos atletas os barcos devem ser adaptados para possibilitar a acessibilidade dessas pessoas. Infelizmente o flutuador, uma dessas adaptações obrigatórias em competições, tem o custo muito elevado dentre outros motivos por não ser fabricado no país. Isso acaba restringindo o acesso dos atletas à esse dispositivos, tornando a prática do remo menos segura e inviabilizando a participação desses atletas em competições oficiais. A saída encontrada pelos clubes brasileiros têm sido a improvisação de dispositivos que atendam em partes as necessidades e que não tenham custos muito elevados. No caso específico do Esporte Clube Pinheiros, a solução encontrada foi a adaptação de canos de PVC fechados nas extremidades com cotovelos de PVC ou com fibra de vidro. As soluções, apesar de funcionais têm grande interferência no desempenho dos atletas por não apresentarem formatos hidrodinâmico e gerarem grande arrasto. Além disso, por terem sido feitos de maneira artesanal e sem qualquer dimensionamento, um dos flutuadores apresenta uma flutuação muito baixa, não impedindo que o barco emborque.

O presente projeto visa estudar as diversas possibilidades de forma e materiais para se maximizar o desempenho flutuadores e consequentemente dos barcos adaptados. A forma ideal será aquela que gerar o menor arrasto possível em comparação com os modelos já construídos pelo clube, e os disponíveis no mercado. 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 pelas entidades envolvidas.

Além do flutuador em si, o presente trabalho irá desenvolver um sistema de fixação com possibilidade de ajuste de posição e encaixe rápido. O ajuste de posição vertical serve para permitir que o mesmo flutuador seja utilizado por diversos atletas, independentemente de sua massa. 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.

2. Objetivos

O presente projeto tem por objetivos primordiais o desenvolvimento de flutuadores hidrodinâmicos para o remo adaptável que atenda a todas as necessidades apresentadas pelos atletas e pelo clube e a posterior construção de um protótipo. O flutuador desenvolvido deve ter um sistema de regulagem vertical para que o mesmo flutuador possa ser utilizado sem perda de rendimento por diversos atletas, independentemente de sua massa. Além disso, o sistema de fixação do flutuador ao barco deverá ser projetado de forma que sua montagem e desmontagem seja rápida e prática, pois os mesmos barcos utilizados pelos atletas do remo adaptado são utilizados pelos atletas do remo convencional.

O flutuador desenvolvido deverá evitar o emborcamento do barco, mesmo que o atleta (de até 100 Kg) penda sua massa para um dos lados do barco. O flutuador deverá ser feito de um material que possibilite minimizar o peso e o

custo. Os flutuadores desenvolvidos serão simulados em softwares específicos e terão seus desempenhos comparados aos flutuadores atualmente utilizados pelo clube.

Por fim, deverá ser elaborado um manual de construção do flutuador, para que os funcionários do clube possam eles mesmos construir um novo flutuador ou efetuar reparos sempre que necessário.

3. Metodologia

3.1. Pesquisa

O projeto iniciou-se com um trabalho de pesquisas. As pesquisas reuniram os dados fundamentais para o início do projeto. Como etapa inicial, foi feito contato com os respectivos responsáveis das entidades envolvidas neste trabalho. Em seguida, definiram-se os dados de referência, as necessidades, as restrições e os objetivos do projeto, com o auxílio das entidades envolvidas e dos atletas. Posteriormente, aprofundou-se o conhecimento sobre os dois dispositivos atualmente utilizados pelo proponente (fig. 1 e 2) e dos dispositivos disponíveis comercialmente (fig. 3). Além disso, neste ponto definiram-se quais softwares atenderiam aos requisitos para a simulação dos flutuadores, e os materiais possíveis de serem utilizados. Neste ponto, houve também um período de estudo sobre o uso do software escolhido, a fim de se empregá-lo da melhor maneira possível, considerando as devidas hipóteses para as simulações. Nessa etapa do trabalho também foram feitos estudos contemplando temas como construção de barcos, dimensionamento de cascos, dimensionamento do volume mínimo, elementos de fixação e seus dimensionamentos.



Figura 1. Primeiro Flutuador Desenvolvido no Clube Pinheiros.



Figura 2. Segundo Flutuador Desenvolvido no Clube Pinheiros.



Figura 3. Modelo de Flutuador Disponível Comercialmente (Wintech 7703)

3.2 Projeto

Nessa etapa do trabalho, foram feitas as definições, através do uso de matrizes de decisão, de quais as melhores alternativas de solução para os flutuadores a serem desenvolvidos. Foram definidos nessa etapa o formato do casco, o material e as definições referentes ao sistema de fixação. Além disso, foram elaboradas as especificações técnicas das necessidades, a análise sistêmica (fig. 4), os requisitos construtivos, operacionais e funcionais bem como os materiais e os requisitos da estrutura de fixação do flutuador. Seguem na Tab.(1) as definições do projeto e na Tab (2), a matriz de

decisão sobre a escolha de materiais, como exemplificação do método de escolha de alternativas, onde a ponderação dos diversos fatores foi feita com base no conhecimento adquirido durante as pesquisas e estudo das referências.

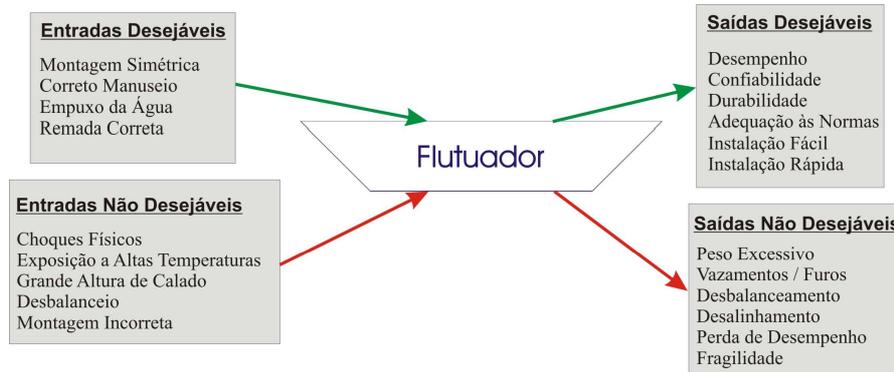


Figura 4. Análise Sistêmica do Projeto do Flutuador

Tabela1. Definições de Projeto

Variável	Escolha
Material	Fibra de Vidro
Resina	Poliéster Isofitálico
Formato do Fundo do Casco	Arredondado
Preenchimento	Oco
Ajuste Vertical	Tubo Quadrado Perfurado
Fixação ao Barco	Braçadeira Fendida

Tabela2. Matriz de decisão sobre escolha de 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

A Fig. (5) mostra o tubo quadrado perfurado, escolha da variável Ajuste Vertical e a Fig. (6) mostra a braçadeira fendida, escolha da variável Fixação ao Barco.

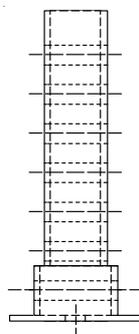


Figura 5. Ajuste Vertical – Tubo Quadrado Perfurado

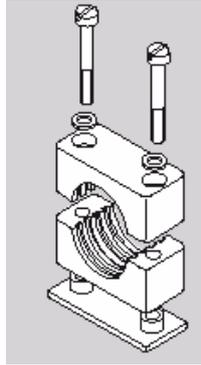


Figura 6. Fixação ao Barco – Braçadeira Fendida

Ainda na etapa de projeto, foi feito o dimensionamento das alternativas escolhidas, segundo hipóteses adotadas, que simulassem a condição mais adversa de aplicação do flutuador. Foram feitos os dimensionamentos da espessura da parede do flutuador através da teoria desenvolvida por Windenburg (1933), do volume mínimo para garantir a funcionalidade do flutuador utilizando-se do princípio de Arquimedes (287 – 212 AC) a respeito do empuxo e as dimensões estruturais dos dispositivos de fixação para que suportem as cargas de serviço.

Com todos os parâmetros definidos, pôde-se iniciar o modelamento do novo flutuador. Modelaram-se também os dispositivos utilizados pelo Clube Pinheiros, para que pudessem ser comparados no simulador com o novo modelo. A simulação serviu de medida para definir o design final do dispositivo projetado. A Fig. (7) mostra em vista tridimensional o perfil desenvolvido.

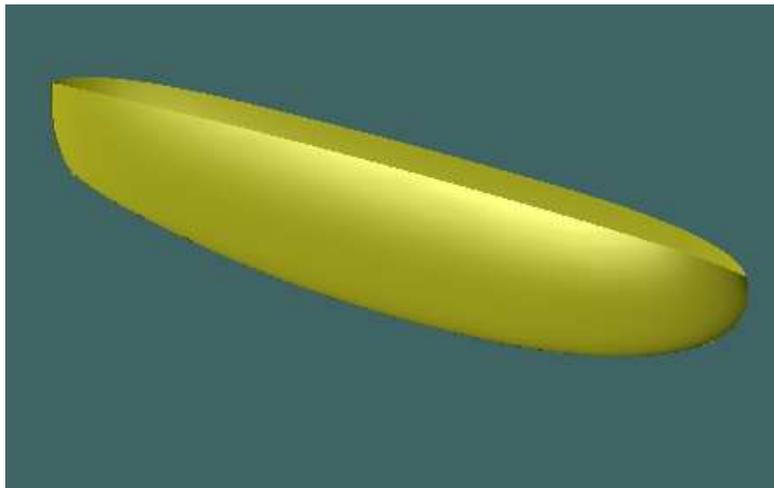


Figura 7. Perfil desenvolvido no software, baseado nas soluções definidas no Projeto Básico.

3.3 Construção

O trabalho como um todo foi desenvolvido com o enfoque na construção. Como requisito do projeto, era necessário que o flutuador fosse facilmente construído para que fosse possível sua construção e reparo no próprio clube, minimizando assim os custos. Dessa maneira, foi desenvolvido um guia detalhado de construção, para ser utilizado pelo proponente sempre que necessário.

A construção inicia-se 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. Essas seções plotadas serão transferidas para uma placa de EPS (isopor), também de 5mm de espessura que será recortada com auxílio de um estilete. As seções divididas e sobrepostas geradas pelo software podem ser observadas na Fig. (8) e as seções já recortadas e unidas em EPS são vistas na Fig. (9). O modelo foi finalizado com camadas de massa corrida PVA e lixamento.

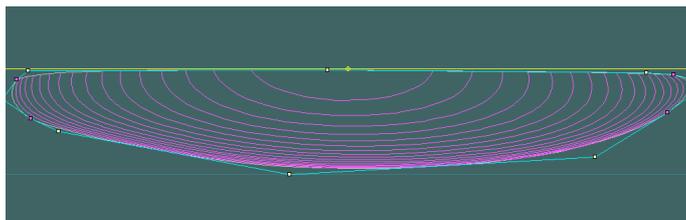


Figura 8. Seções do casco de 5mm de espessura geradas pelo software



Figura 9. Seções do casco de 5mm de espessura em EPS

A próxima etapa da construção é a confecção do molde. Esse foi constituído cobrindo-se o modelo com fibra de vidro. Após a retirada do molde do modelo, pode-se finalmente laminar o flutuador, com aplicação de fibra de vidro sobre o molde. O acabamento é feito com tinta especial, de uso naval. A Fig. (10) mostra o protótipo finalizado e a Fig. (11) mostra o detalhe do sistema de fixação ao barco.



Figura 10. Protótipo do Flutuador



Figura 11. Detalhe do sistema de fixação

Um diferencial do flutuador projetado no presente trabalho em relação aos disponíveis comercialmente é a existência de um dreno (fig. 12). O dreno, instalado na tampa superior do flutuador, possibilita a remoção de água que eventualmente penetre no flutuador. Dessa forma, evita-se que o flutuador torne-se mais pesado em função do peso da água, o que atrapalharia o rendimento.



Figura 12. Detalhe do dreno

4. Custos

Para uma estimativa de custos, foram elencados todos os materiais necessários para a construção do flutuador. Além disso, pesquisou-se os preços e mínimas quantidades de cada um deles, a fim de melhor definir os investimentos que serão necessários. Por fim, ainda se pesquisou por empresas que executassem o serviço, para se ter uma estimativa em caso de necessidade. O custo da construção, no caso em que a construção do modelo e do molde seja terceirizada, pode ser observada na Tab (3). Na Tab (4) podemos verificar a tabela de custos, no caso em que a construção do flutuador, em todas suas etapas, inclusive a construção do modelo e do molde, sejam realizadas no clube.

Tabela3. Tabela de Custos (caso terceirizado)

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

Tabela4. Tabela de Custos (construção no clube)

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 17m ² /l)	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 latex	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	

5. Resultados e Conclusões

Em relação a análise dos flutuadores já utilizados pelo Clube Pinheiros, o ponto mais relevante foi a constatação de que o flutuador atual, o qual seria uma evolução do primeiro cilindro, não possui volume interno suficiente para impedir o emborcamento dos barcos, ou seja, não cumpre o requisito básico que é a própria razão da existência do mesmo. Com este fato em mãos, a comparação de desempenho com este modelo foi mantida em caráter de curiosidade, já que este não cumpria os requisitos funcionais mínimos.

Com o novo modelo, obteve-se melhora de desempenho de 57% e 27% em relação ao modelo antigo e o atual, respectivamente. As simulações foram feitas dentro de uma faixa de velocidades de 0 a 5m/s, sendo que a resistência total foi comparada na velocidade de 3m/s, velocidade média atingida pelos barcos a remo nas competições. A fig. (13) mostra o gráfico obtido para o novo casco

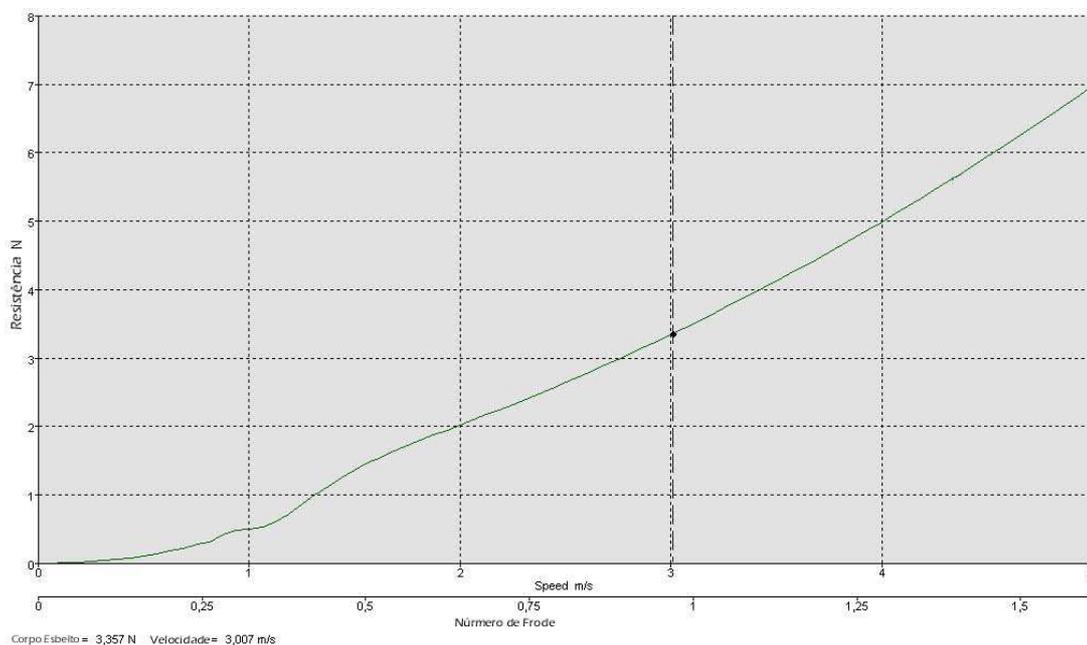


Figura 13. Gráfico de resistência ao avanço em função da velocidade do novo flutuador

Outro comportamento obtido foi uma curva de resistência em função da velocidade de evolução suave, sem variações bruscas, o que é desejado para um dispositivo em que se quer minimizar os efeitos do arrasto. Pode-se observar na Fig. (14) da simulação do dispositivo utilizado atualmente, que há descontinuidades no valor da resistência, podendo gerar um comportamento inesperado do dispositivo quando em uso.

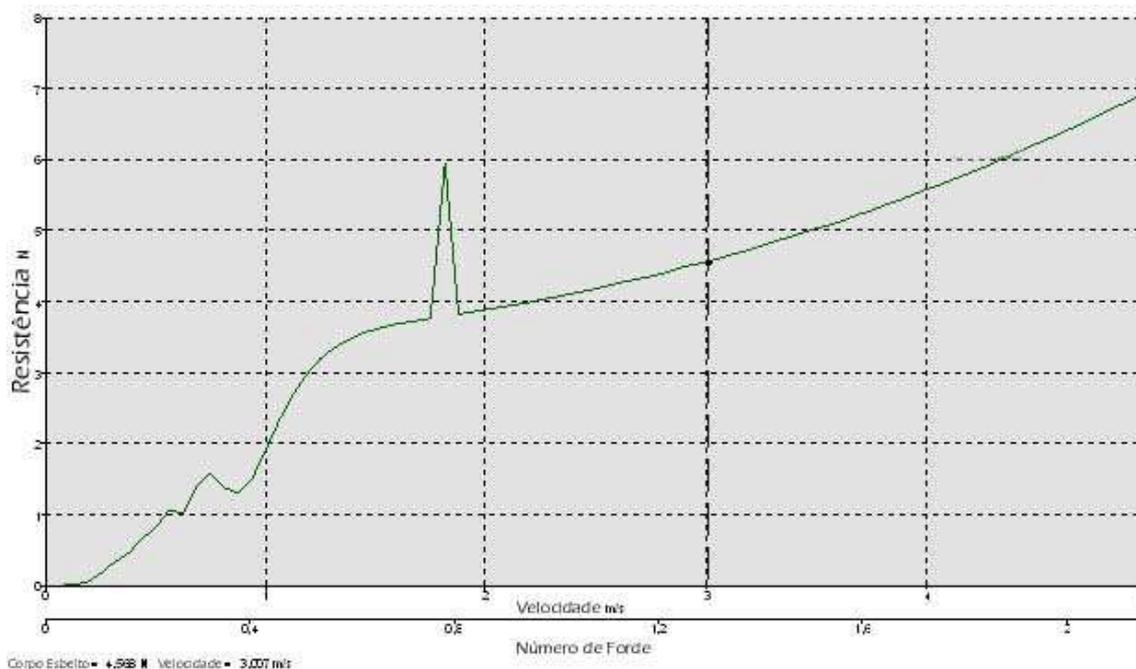


Figura 14. Resposta da simulação do dispositivo em uso atualmente, e que mostra variações bruscas na medida da resistência

Com o protótipo do flutuador pronto, pode-se realizar os testes de funcionamento, adequação e desempenho com os atletas da seleção brasileira de remo adaptável, na Raia Olímpica da USP. Na montagem do flutuador no barco (fig. 15)

ficou constatado a adequação do sistema de fixação baseado na braçadeira fendida, que funcionou corretamente, sendo inclusive considerado pelos usuários como um ponto forte do projeto.



Figura 15. Protótipo montado no barco (vista frontal)

Nos testes como o flutuador na água (fig. 16), ficou constatada a sua funcionalidade, no que se refere à sustentação e segurança do atleta. Ainda nesses testes, segundo os atletas, o flutuador apresentou elevado desempenho, superior ao dos modelos anteriormente utilizados e também ao dos modelos importados.



Figura 16. Teste do protótipo na Raia Olímpica da USP

A necessidade do de um flutuador para substituir os modelos artesanais utilizados no Clube Pinheiros 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 um flutuador 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, fato que ficou comprovado pelas simulações computacionais e nos testes práticos realizados.

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.

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.

6. 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 Bernarndo 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.

7. Referências

- 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.

8. Direitos Autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

PROJECT, SIMULATION AND CONSTRUCTION OF LOW COST HIDRODYNAMIC PONTOONS FOR ADAPTIVE ROWING

Diego Tonin

diego.tonin@gmail.com

Gustavo Partel Young

gustavo@oempreiteiro.com.br

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.

Keywords. Pontoon, Adaptive rowing, Para-olympics