

# Desenvolvimento de aerobarco de baixo custo para a agricultura familiar<sup>1</sup>

## Development of low-cost airboats for family farming

Daniel Albiero<sup>2\*</sup>, Antonio José da Silva Maciel<sup>3</sup>, Leonardo de Almeida Monteiro<sup>2</sup>, Carlos Alessandro Chioderoli<sup>2</sup>  
e José Antonio Delfino Barbosa Filho<sup>2</sup>

**RESUMO** - A principal via de transporte dos ribeirinhos amazônicos são os rios. Neste universo um grande problema são os meios de locomoção disponíveis: quando as embarcações são modernas têm alto custo; quando são mais rústicas não oferecem segurança nem desempenho. O objetivo deste trabalho foi propor um aerobarco de baixo custo de aquisição e manutenção, que possa ser construído pelos próprios ribeirinhos, sendo operado com segurança. Foi utilizada a metodologia de projeto naval da espiral de projeto. Como resultado foram obtidos os desenhos conceituais do aerobarco e possíveis simulações de carregamento, sendo concluída a viabilidade técnica da embarcação, assim como o pouco custo de fabricação.

**Palavras-chave:** Ribeirinhos amazônicos. Logística agrícola. Projeto naval.

**ABSTRACT** - The principal means of transportation for the riverside populations of the Amazon are the rivers. In that area, one big problem is the available type of transportation: if the boats are modern, they are costly; if they are more rustic, they are unsafe and inefficient. The aim of this study was to propose an airboat of low-cost acquisition and maintenance, and which can be built and operated safely by the riverside populations themselves. Design spiral methodology was used in the ship design. As a result, a conceptual design for the airboat and possible load simulations were obtained, together with completion of the technical feasibility of the vessel and low manufacturing costs.

**Key words:** Riverside Amazon populations. Agricultural logistics. Ship design.

---

\*Autor para correspondência

DOI: 10.5935/1806-6690.20160095

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 19/07/2013; aprovado em 09/12/2015

Pesquisa financiada pelo CNPq e FUNCAP

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Ceará/CCA/UFC, Campus do Pici, Bloco 804, Caixa Postal 12.168, 60.450-760, Fortaleza-CE, Brasil, daniel.albiero@gmail.com, aiveca@ufc.br, ca.chioderoli@ufc.br, zkdelfino@gmail.com

<sup>3</sup>Faculdade de Engenharia Agrícola/FEAGRI, Av. Cândido Rondon, 501, Barão Geraldo Campinas/SP, Brasil, 13.083-875, amaciel@feagri.unicamp.br

## INTRODUÇÃO

A bacia amazônica brasileira abrange uma área de mais de 615 milhões de hectares, que podem ser distribuídos em dois grandes ecossistemas: as várzeas e as terras firmes. Em geral as terras firmes têm solos pobres, enquanto as várzeas, devido ao acúmulo de nutrientes provenientes dos rios, têm ótima fertilidade. Segundo o IBGE (2000), a Amazônia tem uma população rural de cerca de 6,71 milhões de pessoas, sendo que destas, 600 mil são agricultores familiares ribeirinhos que vivem no ecossistema de várzeas (SOUZA, 2006), além de pescadores ribeirinhos (LIMA; BATISTA, 2012; PAZ; FRÉDOU; FRÉDOU, 2011). Segundo Bastos (2006) e Morgado *et al.* (2013), A principal via de transporte dos brasileiros rurais amazônicos são os rios. Assim pode-se afirmar que o transporte aquático faz parte da cultura amazônica (BARROS, 2012; RODRIGUES, 2012; TRINDADE; TRINDADE JÚNIOR, 2012). A sustentabilidade deve ser considerada também em termos de indicadores relativos ao transporte (ANDRADE, 2007). Neste universo os meios de locomoção disponíveis são grandes problemas (KUWAHARA; LAGO NETO; ABENSUR, 2012). Em geral, embarcações modernas e seguras de pequeno e médio porte são demasiado onerosas, tanto em preço de aquisição como manutenção e consumo, tornando-se inacessíveis à maioria da população. Como exemplo, o preço médio de um motor de popa de 10 HP girava em torno de 10 a 15 mil reais em 2009, portanto o motor exclui praticamente todos os ribeirinhos, a situação piora se considerarmos o casco, que sendo de liga de alumínio náutico custa em torno de 200 a 300 reais por metro quadrado.

Os ribeirinhos usam canoas chamadas Montarias ou Ubás, de pouco ou nenhum custo, construídas por eles mesmos. Para aumentarem a eficiência destas Montarias e Ubás instalam motores usados no centro da embarcação (BASTOS, 2006), tendo um eixo tipo cardan que atravessa a canoa no sentido de ré, chegando à popa onde aciona uma hélice. Segundo Bastos (2006), esta adaptação é a maior causa de acidentes fluviais com pessoas na Amazônia, já que o cardan não tem proteção, e muitas pessoas são escalpeladas pelo enrolamento do cabelo no eixo, principalmente as mulheres, fato confirmado por Magno *et al.* (2012), Beckman e Santos (2004) e Britto *et al.* (2004).

O objetivo deste trabalho foi propor um aerobarco de baixo custo de aquisição e manutenção, que possa ser construído pelos próprios ribeirinhos, com desempenho compatível com as necessidades amazônicas, tendo capacidade de navegar em ambiente de florestas inundadas (várzeas com tocos submersos) e que evite os escalpelamentos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Burgos (2008) descreve a metodologia para o projeto preliminar de embarcações, em que a cada volta de uma espiral está marcada o tipo de análise que deve ser feita para cada subsistema componente de uma embarcação; assim nesta metodologia, os requisitos operacionais do aerobarco foram: 1-Utilização de materiais recicláveis (garrafas PET) para construção do casco de deslocamento; 2-Carga paga compatível com as necessidades dos ribeirinhos amazônicos; 3-Dimensões compatíveis com navegação entre e dentro de igapós e várzeas inundadas; 4-Capacidade de navegar em chavascais, e matas inundadas com tocos submersos; 5-Velocidade compatível com as distâncias a serem percorridas; 6-Autonomia compatível com a realidade amazônica; 7-Grupo motopropulsor leve, de baixo custo de aquisição, baixo custo de manutenção e com pouco consumo de combustível; 8-Estrutura metálica do berço do motor e mastro da hélice de fácil construção e leve; 9-Estrutura principal de madeira passível de ser construída *in-locus* pelos ribeirinhos (SANTOS; COELHO-FERREIRA, 2012; TELLES, 2012); 10-Hélice de propulsão de madeira passível de ser gerada e construída *in-locus* pelos ribeirinhos; 11-Custo total do aerobarco inferior a R\$ 4000,00.

Uma embarcação que gere um deslocamento em torno de 700 kg pode ser considerada ideal para as necessidades dos ribeirinhos, pois fazendo uma interpolação grosseira seria capaz de levar uma família de 5 pessoas, mais o piloto. Considerando as características dos aerobarcos (pequeno calado, casco com maior parte em corpo paralelo e sem quilha, ou quilha plana), foram escolhidas as seguintes dimensões principais: Comprimento entre perpendiculares de  $L = 3,45$  m; Boca de  $B_c = 1,29$  m; calado de projeto  $H = 0,262$  m, e borda livre de  $BL = 0,05$  m. Estas dimensões foram escolhidas principalmente pela requisição de projeto de capacidade de navegar por entre os igapós e várzeas. Interpretando os resultados de Ayres (2006) em um ambiente de restinga baixa, tem-se uma área média entre árvores de  $37 \text{ m}^2$ , o que subentende um espaço entre árvores aproximadamente, de um quadrado com lado de 6 m, em restinga alta está área cai para  $4 \text{ m}^2$ , o que impossibilita a navegação com o aerobarco definido; no entanto, 85% da área florestal da várzea (AYRES, 2006) pertence a categoria de restinga baixa, indicando a viabilidade destas dimensões para o aerobarco. Já em relação aos igapós, tem-se uma área de  $18 \text{ m}^2$ , definindo um quadrado em torno de cada árvore com lado de 4,3 m, indicando a possibilidade de navegação com o aerobarco.

Outra requisição do projeto é usar garrafas PET como corpo principal do casco, o que subentendeu um arranjo geométrico específico, baseado em estruturas cristalinas de metais, tais como a estrutura CCC (cúbicas

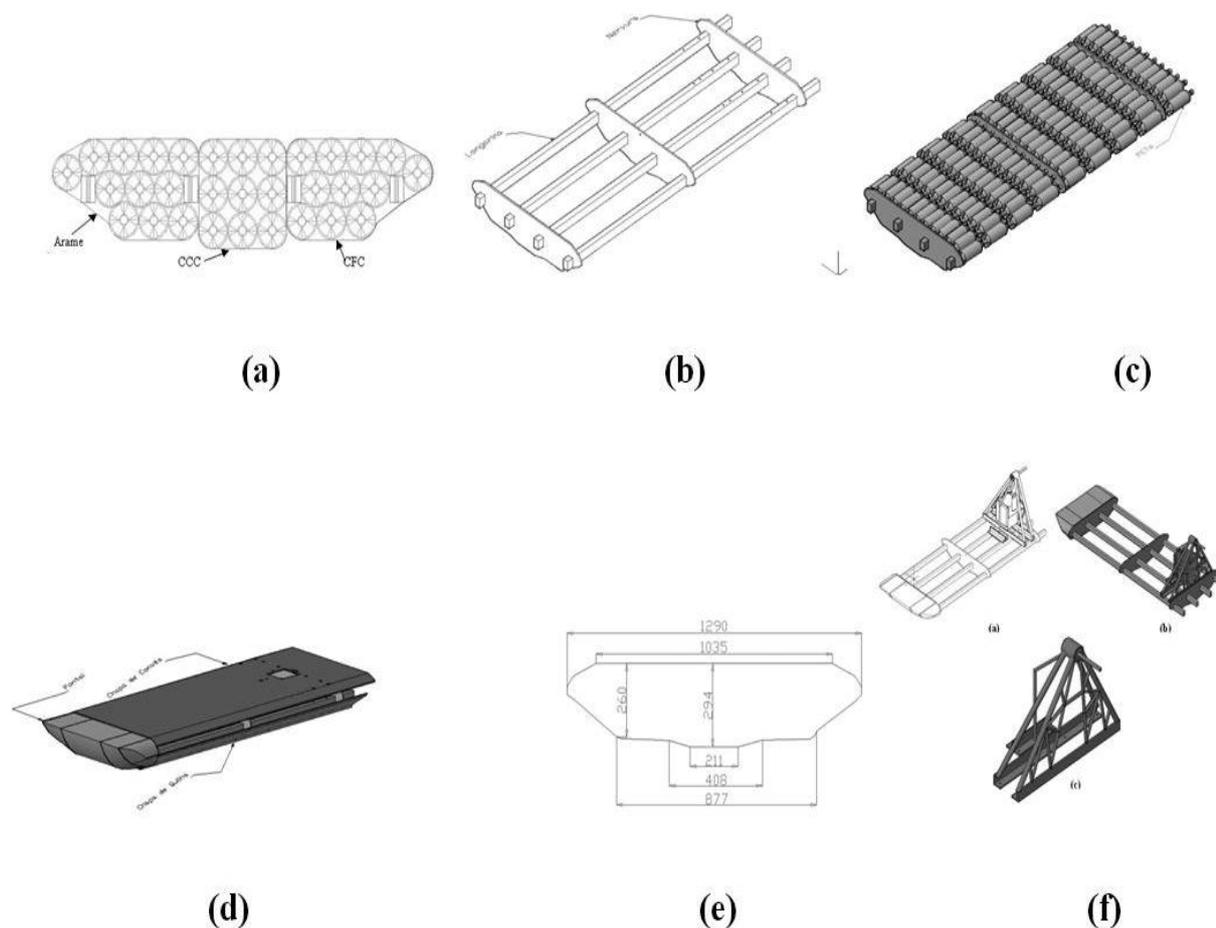
de corpo centrado) e CFC (cúbicas de face centrada). Os dois bordos da embarcação foram configurados como CFC e o núcleo como CCC. Cada seção de garrafas PET, Figura 1, é constituída por 31 garrafas de 2 litros de volume que foram amarradas com arames; estas seções foram dispostas em longarinas de Fava-Tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke), madeira abundante na Amazônia brasileira (MAINIERI; CHIMELO, 1985). Foram utilizadas um total de 9 seções de garrafas PET, somando 279 garrafas, arranjadas entre 3 nervuras de Fava-Tamboril, com o objetivo de dar maior estabilidade a estrutura.

Para evitar danos nas garrafas PET devido a tocos ou pedras submersas, na parte inferior do casco foi projetada uma prancha de tábuas finas (1/4") de Fava-Tamboril que contorna as garrafas PET, já no convés, outra prancha de tábuas finas da mesma madeira foi

projetada para possibilitar um piso firme para a tripulação. O Pontal foi projetado com um perfil semi-esférico para facilitar os cálculos de resistência de ondas, sendo constituído de tábuas de Fava-Tamboril, Figura 1(d). Em função das dimensões definidas e da estrutura do casco com esta configuração, foi calculado o deslocamento do casco do Aerobarco, e obtiveram-se os seguintes valores: deslocamento em volume:  $\nabla = 0,699 \text{ m}^3$ , deslocamento em massa, considerando a densidade da água doce a 30 °C igual a  $995,7 \text{ kg/m}^3$ :  $\Delta = 696 \text{ kg}$ .

Villas Boas (2006) afirma que a estabilidade de um casco de embarcação pode ser avaliada pela altura metacêntrica (BM), definida como a distância entre o centro de gravidade (CG) e o metacentro (M) da embarcação (centro de empuxo). Esta grandeza pode ser negativa, nula ou positiva. Quando a altura metacêntrica é negativa, a embarcação é instável, quando é nula a

**Figura 1** - (a) Configuração estrutural das garrafas PET, (b) Estrutura de madeira Fava-Tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke), (c) Disposição das garrafas PETs no casco, entre as longarinas e nervuras, (d) Aspecto do pontal, convés e quilha do casco do aerobarco, (e) Seção mestra do casco do aerobarco, dimensões em milímetros, (f) estrutura do berço do motor e do mastro da hélice



estabilidade é neutra, e quando é positiva a embarcação é estável. Segundo Burgos (2008), a altura metacêntrica (BM) pode ser calculada pela divisão entre o momento de inércia da área do plano de linha da água em relação ao eixo passando pelo centro de gravidade da embarcação ( $m^4$ ) e o deslocamento em volume da água ( $m^3$ ).

A área da seção mestra é de  $A_x = 0,258 \text{ m}^2$ ; A área de flutuação é de  $A_w = 4,44 \text{ m}^2$ ; o centro de massa do casco foi calculado,  $CG = (1,815; 0,006; 0,188)$  em metros com a origem na linha base na popa do casco; a altura da carena  $KB = 0,165 \text{ m}$ ; o centro de flutuação está localizado em relação a origem  $CF = (1,706; 0; 0,188)$ ; a área molhada é  $S = 8,4 \text{ m}^2$ ; a altura metacêntrica transversal é  $BM = 0,831 \text{ m}$ ; a altura metacêntrica longitudinal é  $BMI = 6,86 \text{ m}$ ; tais alturas metacêntricas definem uma embarcação altamente estável.

Segundo Burgos (2008), a resistência a propulsão (R) de um corpo geometricamente liso e submerso, é igual em grandeza, à força propulsora (F) exigida para manter determinada velocidade de deslocamento do corpo ( $v_o$ ). No entanto, modelos matemáticos intrincados são aferidos a tal fenômeno e devem ser resolvidos por simplificações e algoritmos espec (ROCHA *et al.*, 2012). Esta resistência pode ser dividida em duas partes: resistência ao atrito viscoso do fluido ( $R_f$ ), e resistência residual (Rr). Alvarez (2008) em seu excelente trabalho afirma que uma hipótese de aproximação da resistência residual pode ser a resistência devido à formação de ondas ( $R_w$ ) pelo casco da embarcação. Lewis (1988) conduziu uma análise dimensional que resultou na expressão da resistência ao atrito:

$$R_f = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v_o^2 \cdot C_f \quad (1)$$

Onde:  $\rho$  é a densidade do fluido ( $\text{kg m}^{-3}$ ),  $S$  é a área molhada ( $\text{m}^2$ ),  $v_o$  é a velocidade de deslocamento do casco ( $\text{m/s}$ ),  $C_f$  é um coeficiente de atrito.

Alvarez (2008) sugere para o cálculo da resistência devido a geração de ondas um modelo baseado em integrais não triviais, sendo suas soluções possíveis somente por métodos numéricos avançados, porque estes são muito dispendiosos e complexos, sendo assim Tuck (1997) propôs a resolução destas integrais em três etapas, que Alvarez (2008) menciona:

1- Cálculo para todas as balizas  $x$  e valores  $\theta$  da integral:

$$F(x, \theta) = \int \frac{\partial \zeta(x, z)}{\partial x} e^{k \cdot z \cdot \sec^2(\theta)} dz \quad (2)$$

Onde:  $k = (g/v_o^2)$ ;  $F(x, \theta)$  é a integral variando da linha da água mais baixa até a linha da água de projeto;  $\partial \zeta(x, z)/\partial x$  é a derivada no ponto  $(x, \partial \zeta(x, z), z)$  em relação ao eixo longitudinal  $X$ ;  $\theta$  é o ângulo que as ondas generalizadas formam com o eixo longitudinal da embarcação;  $g$  é a aceleração da gravidade;  $z$  é a linha da água.

2- Cálculo das integrais:

$$P(\theta) = \int F(x, \theta) \cdot \cos(k \cdot x \cdot \sec \theta) dx \quad (3)$$

$$Q(\theta) = \int F(x, \theta) \cdot \sin(k \cdot x \cdot \sec \theta) dx \quad (4)$$

3- Cálculo da resistência de ondas:

$$R_w = \frac{4 \cdot \rho \cdot g^{4\pi/2}}{\pi \cdot v_o^6} \int_0^{\pi} (p^2 + Q^2) \sec^5(\theta) d\theta \quad (5)$$

Para o cálculo destas integrais Alvarez (2008) utilizou o método numérico de integração denominado método de Simpson.

Considerando a metodologia de Lewis (1988) para o cálculo da resistência devido ao atrito viscoso da água, tem-se: densidade da água a  $30 \text{ }^\circ\text{C} = 995,7 \text{ kg m}^{-3}$ ; área molhada de  $8,4 \text{ m}^2$ ;  $v_o = 20 \text{ km h}$  ( $5,5 \text{ m/s}$ ); esta velocidade foi considerada em função das distâncias amazônicas e das velocidades normais desenvolvidas por embarcações pequenas motorizadas;  $C_f$  em função da metodologia ITTC (1957) citada por Alvarez (2008), com a viscosidade cinemática  $= 8,009 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}$ ; comprimento da linha da água  $= 3,4 \text{ m}$ . Tem-se portanto  $R_f = 32,89 \text{ kgf} = 328,9 \text{ N}$ .

Considerando a metodologia de Tuck (1997) para o cálculo da resistência devido à geração de ondas, tem-se que 90% do casco do aerobarco é de perfil homogêneo, igual à seção mestra e paralela em relação ao comprimento, portanto não contribui para a geração de ondas; assim a resistência devido às ondas é gerada no pontal, que tem um perfil de quadrante esférico na frente e cilíndrico chanfrado nas laterais para facilitar os cálculos. As principais dimensões do pontal são comprimento  $x = 0,3 \text{ m}$ ; largura  $y = 1,2 \text{ m}$  e altura  $z = 0,31 \text{ m}$ , calado de  $H = 0,265 \text{ m}$ . Segundo Newman (1992), as ondas geradas por cascos de deslocamento formam um ângulo entre o casco de  $19^\circ$ . Assim têm-se os valores calculados pelo software Matlab 5.0 das integrais:  $F(x, \theta) = -0,2816$ ;  $P(\theta) = -0,0844$ ;  $Q(\theta) = -0,0043 \rightarrow R_w = 1,88 \text{ kgf} = 18,8 \text{ N}$ .

A resistência total então é  $R_T = 328,7 + 18,8 = 347,7 \text{ N} \approx 350 \text{ N}$ .

Com a solicitação necessária a ser vencida para o aerobarco desenvolver  $20 \text{ km/h}$ , foram realizados o cálculo e projeto da hélice capaz de fornecer tal força. A condição de contorno do sistema hélice propulsora define: 1- que a pressão atmosférica é a mesma na seção de entrada e saída do fluxo de ar, portanto se anula na equação ( $P_{atms} = P_{atme} = 0$ ); 2- que a energia potencial gravitacional antes e depois da seção da hélice também não se altera, pois a seção de saída e entrada estão na mesma altura ( $h_e = h_s = 0$ ) e 3- que a força de propulsão é proporcional a diferença de pressões entre a seção de entrada e saída ( $\Delta P$ ). Pelo teorema de Bernoulli tem-se que a diferença de

pressões entre as faces do propulsor se dá na face posterior à uma distância infinita e na face anterior à uma distância infinita também. Esta simplificação é possível porque o único ponto onde uma força externa atua no sistema é exatamente no propulsor, sabendo que  $F = R_f + R_w$ , chegue-se a velocidade do fluxo de ar de saída do volume de controle (m/s) que é dada pela equação 6:

$$c_s = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot (R_f + R_w)}{A \cdot \rho}\right) + c_e^2} \tag{6}$$

Onde:  $c_s$  é a velocidade do fluxo de ar de saída do volume de controle (m/s);  $c_e$  é a velocidade do fluxo de ar de entrada do volume de controle (m/s);  $R_f$  é a resistência de atrito viscoso entre o casco e o fluido (N);  $R_w$  é a resistência da geração de ondas (N);  $A$  é a área do disco formado pela hélice em rotação (m<sup>2</sup>);  $\rho$  é densidade do fluido.

Considerando um aerofólio Gottingen 625, a variação de pressão gerada pela hélice, a velocidade periférica das pás, Eck (1973) define que os principais parâmetros do aerofólio são calculados por fórmulas que consideram a equação do *momentum*, que determina que a velocidade meridional do ar (cm) no plano da hélice é

metade da velocidade de descarga ( $c/2$ ). Neste trabalho a velocidade de descarga é considerada como a velocidade do fluxo de ar de saída do volume de controle ( $c_s$ ). Então a variação de pressão gerada pela hélice, a velocidade periférica das pás, o ângulo de incidência do fluxo, a velocidade do fluxo de ar, a corda do aerofólio e o aumento de ângulo de saída foram calculados. Os parâmetros são apresentados na Tabela 1 e os dados para a hélice com perfil Gottingen 625 são mostrados na Tabela 2.

Segundo Jeracki e Mitchell (1981), as hélices aeronáuticas são limitadas a terem velocidades periféricas inferiores a 87% da velocidade do som devido a perdas por compressibilidade que estão intimamente ligadas ao fenômeno da quebra da barreira do som. Albiero et al. (2012b) afirmam que especial cuidado deve ser tomado ao se analisar dados quando os mesmos sofrem influência de vários fatores; assim pela equação de Bernoulli, encontrou-se a velocidade de descarga do ar de uma hélice de diâmetro de disco 1,5 m, o que gera uma área de disco de 1,76 m<sup>2</sup>, considerando a densidade do ar a 30 °C de 1,165 kg m<sup>-3</sup>, respeitando a limitação imposta por Jeracki e Mitchell (1981), tem-se  $c_s = 19,25$  m/s.

O projeto da hélice é apresentado na Figura 2.

**Tabela 1** - Parâmetros de projeto de hélices e dimensões padronizadas do aerofólio Gottingen 625, dimensões em milímetros, Eck (1973)

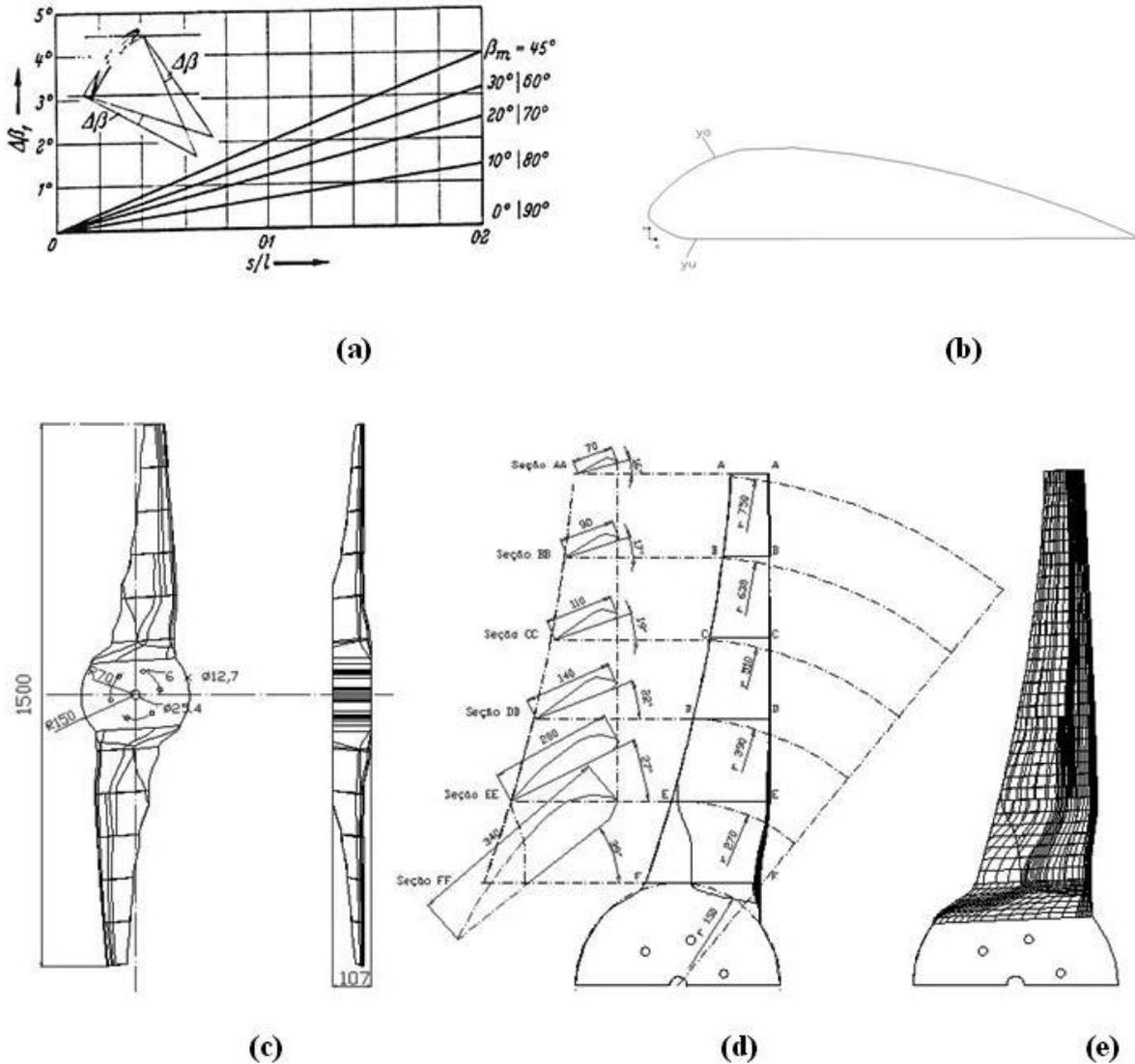
Varição de Pressão (N/m <sup>2</sup> )	Velocidade Periférica (m/s)	Ângulo de Incidência (graus)	Velocidade do fluxo incidente (m/s)	Aumento do ângulo de saída (graus)	Corda do aerofólio (m)	Passo da hélice (m)	Potência necessária para a hélice (W)										
$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c^2$	$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}$	$\Delta \beta = \Delta \beta_1 \left(\frac{l}{t}\right)^2$	$w_\infty = \frac{c}{2 \cdot \text{sen} \beta}$	$\Delta \beta = \Delta \beta_1 \left(\frac{l}{t}\right)^2$	$l = \left(\frac{2 \cdot \Delta p \cdot t}{\eta \cdot \mu \cdot \rho \cdot w_\infty}\right) \cdot \frac{1}{c_a}$	$p = \pi \cdot d \cdot \tan(\alpha)$	$pot = \frac{\Delta p \cdot V}{\eta}$										
Dimensões Padronizadas GO 625 (mm)																	
x	0	1,25	2,5	5,0	7,5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100
y <sub>o</sub>	5,5	9,0	10,8	13,3	14,9	16,3	18,2	19,3	20,0	19,0	17,3	15,5	12,1	8,6	4,75	2,25	0,65
y <sub>u</sub>	5,5	3,3	2,35	1,25	0,75	0,4	0,15	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Onde:  $\rho$  é a densidade do fluido (m<sup>3</sup>/s),  $c$  é a velocidade de descarga (m/s),  $\Delta p$  é a variação de pressão (N/m<sup>2</sup>);  $u$  é a velocidade periférica da pá (m/s),  $d$  é o diâmetro da hélice (m),  $n$  é a rotação da hélice (RPM);  $\beta$  é o ângulo de incidência do fluxo de ar (graus);  $w_\infty$  é a velocidade do fluxo de ar incidente (m/s);  $t$  é a distância perimetral entre as pás (m),  $\eta$  é a eficiência do aerofólio (%/100),  $c_a$  é o coeficiente de sustentação do aerofólio (adimensional),  $l$  é a corda do aerofólio (m);  $\Delta \beta$  é o aumento de ângulo de saída ao longo da pá (graus),  $\Delta \beta_1$  é o fator de aumento, obtido da Figura 2,  $l$  é a corda do aerofólio (m),  $t$  é a distância perimetral entre as pás (m);  $p$  é o passo da hélice (m),  $\alpha$  é o ângulo de ataque da hélice (graus);  $\Delta p$  é a variação de pressão (N/m<sup>2</sup>);  $V$  é a vazão (m<sup>3</sup>/s), calculada considerando a área do disco da hélice pela velocidade de descarga;  $\eta$  é a eficiência da hélice;  $x$  é a ordenada da Figura 2b e  $y_o$  e  $y_u$  são as abscissas da Figura 2c

**Tabela 2** - Seções transversais do aerofólio Gottingen 625, para a hélice propulsora

Raio (m)	Vel. Descarga		Vel. Periférica	Vel. do fluxo	Corda l (m)	Espessura	Ângulo incidente	Ângulo Ataque	$\alpha + \beta$ (graus)	Aumento Saída	Ângulo Final
	$c_s$ (m/s)	$u$ (m/s)	$u$ (m/s)	$w^\infty$ (m/s)	máxima s (m)		$\beta$ (graus)	$\alpha$ (graus)		$\Delta \beta$ (graus)	(graus)
SecaoFF	0,15	19,25	18,85	21,17	0,34	0,06	27,06	10	37,06	2,50	39,56
SecaoEE	0,27	19,25	33,93	35,27	0,20	0,04	15,84	10	25,84	1,50	27,34
SecaoDD	0,39	19,25	49,01	49,95	0,14	0,03	11,11	10	21,11	1,20	22,31
SecaoCC	0,51	19,25	64,09	64,81	0,11	0,02	8,54	10	18,54	1,00	19,54
SecaoBB	0,63	19,25	79,17	79,75	0,09	0,02	6,93	10	16,93	0,80	17,73
SecaoAA	0,75	19,25	94,25	94,74	0,07	0,01	5,83	10	15,83	0,50	16,33

**Figura 2** - (a) Gráfico de obtenção do fator de aumento de ângulo de saída,  $s$  é a espessura máxima do aerofólio,  $l$  é a corda do aerofólio,  $\beta_m$  é o ângulo de incidência do fluxo de ar na raiz da pá (cubo da hélice) (ECK, 1973), (b) Perfil do aerofólio Gottingen 625,  $y_o$  é a curva de extra-dorso, e  $y_u$  é a curva de dorso. (c) Desenho técnico da hélice propulsora, (d) projeto das seções, (e) parametrização da superfície, dimensões em milímetros



O passo da hélice foi calculado como:  $P = 3,05$  m. Com estes valores médios foi possível calcular a potência necessária para operar tal hélice, considerando eficiência da hélice de 87% tem-se **Pot = 8359 W = 11,20 HP**.

Pelos cálculos, nenhum componente de velocidade se aproxima da velocidade do som a 30 °C (Mach 1 a 30 °C: 348 m/s), e que a hélice opera a máxima eficiência (87%), pois a velocidade periférica das pás está bem abaixo do limite de Mach 0,7 (243 m/s) (JERACKI; MITCHELL, 1981).

Em função da solicitação de força propulsora e da hélice projetada, foi selecionado um motor

estacionário à gasolina: Toyama TF150FEX1, com partida elétrica; este motor desenvolve 15 HP de potência a 3600 RPM, pesando 34 kg + 2,5 kg de bateria. O consumo específico deste motor à carga de 11 HP é 260 g/kWh, ou seja 2,83 l/h (ALBIERO *et al.*, 2011a). Considerando a rotação do projeto da hélice de 1200 RPM, foi projetado um sistema de polias para reduzir a rotação. Para o berço do motor e suporte do mastro da hélice foi projetada uma estrutura em liga de alumínio ASM 6061-T6.

A estrutura do berço do motor e do mastro do cubo da hélice foi projetada e configurada como

um estrutura treliçada espacial com tubos de liga de alumínio ASM 6061 e cantoneiras da mesma liga, com a seção principal do berço do cubo da hélice reforçada por barra circular de liga de alumínio ASM 7075. A estrutura principal é suportada por cantoneiras de ASM 6061, parafusadas a estrutura de madeira Fava-Tamboril por parafusos de aço, Figura 1(f).

Considerando a resistência oferecida ao casco pela água, e o empuxo gerado pela hélice, foi realizado o cálculo da estrutura. Foram considerados os seguintes valores de propriedades mecânicas para as ligas de alumínio e para a madeira Fava-Tamboril (MAINIERI; CHIMELO, 1985; MARTINEZ; MOURA JÚNIOR; BRIENZA JÚNIOR, 2010): Liga de alumínio ASM 6061-T6 (temperada), módulo de elasticidade de 72 GPa, tensão ao escoamento de 275 MPa, módulo de poisson de 0,32, densidade de 2800 kg m<sup>3</sup>; Liga de alumínio ASM 7075-T6, módulo de elasticidade de 72 GPa, tensão ao escoamento de 505 MPa, módulo de poisson de 0,32, 2800 kg m<sup>3</sup>. Madeira Fava-Tamboril (*Entorolobium maximum* Ducke), módulo de elasticidade de 8.9 GPa, resistência a flexão de 68,8 MPa, módulo de poisson de 0,34, 405 kg m<sup>3</sup>.

Foi realizado o cálculo estrutural com o software Ansys 9.0 ED, para solicitação normal de operação (350 N), e em situação extrema de impacto (3500 N). A situação de impacto foi simulada considerando que por algum motivo desconhecido e absurdo o piloto direcionou o aerobarco para uma barranca de rio com altura maior de 1 metro à potência máxima em direção perpendicular à barranca. O cálculo de tensão máxima de von Mises e de tensão de flexão máxima na simulação de operação normal mostrou que Fava-Tamboril suporta facilmente as exigências estruturais com pessoas embarcadas e carga paga. Em situação de impacto a máxima tensão de von Mises é de 42 MPa, e a tensão máxima a flexão é de 65 MPa, portanto a estrutura chega quase a seu limite de flexão (68 MPa), mas suporta o impacto. Em relação a estrutura de alumínio em situação normal, a estrutura suporta as solicitações. Em situação de impacto, a máxima tensão de von Mises é de 479 MPa, e a tensão máxima a flexão é de 335 MPa, estas tensões são localizadas no berço do cubo da hélice, o que determinou a opção por um berço de barras redondas de liga ASM 7075T6, que possui uma tensão ao escoamento de 505 MPa.

Considerando as estruturas projetadas, o motor selecionado, os acessórios do casco, a massa do piloto, a massa das estruturas de proteção e dos comandos foi realizada a estimativa geral do peso da embarcação.

$M_{total} = M1 + M2 + M3 + M4 + M5 + M6 + M7 + M8 + M9 + M10 + M11.$

Onde: M1 é a massa da estrutura de madeira do casco, 29 kg; M2 é a massa da estrutura de alumínio dos berços, 6 kg; M3 é a massa das tábuas da quilha e do convés, 22,7 kg; M4 é a massa do motor + bateria + acessórios, 40 kg; M5 é a massa das estruturas de proteção, 5 kg; M6 é a massa dos acessórios do casco, 10 kg; M7 é a massa do piloto, 90 kg; M8 é a massa dos comandos, 4 kg; M9 é a massa da hélice, considerando a madeira Freijó (*Cordia goeldiana* Huber), que segundo Mainieri e Chimelo (1985) é muito utilizada para a confecção de hélices de aviões, e de larga ocorrência na Amazônia (densidade de 590 kg m<sup>3</sup>), 6 kg; M10 é a massa do combustível (considerando a densidade da gasolina de 0,735 kg/l, 100 litros = 73,5 kg e M11 é a massa das garrafas PET 6 kg.

$M_{total} = 292,2 \text{ kg.}$

Levando-se em conta a densidade d'água doce à 30 °C como 995,7 kg m<sup>3</sup>, tem-se ao calado de projeto um deslocamento de  $\Delta = 696 \text{ kg}$ . Assim a capacidade de carga paga do aerobarco é de 403,8 kg, sendo estimada uma velocidade de deslocamento do aerobarco sem correnteza de 20 km h. Considerando o consumo de combustível do motor Toyama em torno de 3 litros/hora, tem-se uma autonomia de 33,33 horas de navegação, à velocidade de 20 km h com um alcance do aerobarco é de cerca de 666 km, sem correnteza. Se considerarmos uma velocidade de correnteza de 5 km h, tem-se um alcance a favor da correnteza de 825 km, e contra a correnteza, de 495 km.

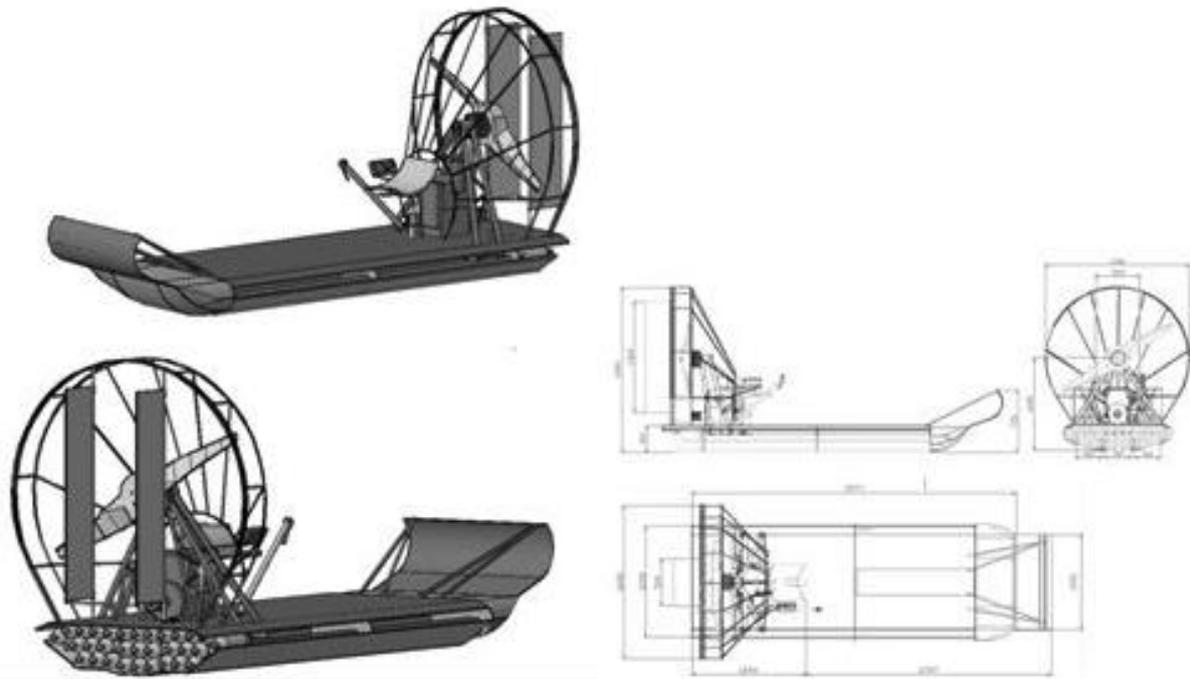
O governo do aerobarco deverá ser realizado por dois lemes aéreos de cerca de 0,5 m<sup>2</sup> cada, dispostos na estrutura de proteção da hélice e comandados por uma alavanca à direita do piloto; nesta alavanca é disposto também o gatilho do acelerador do motor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto preliminar do aerobarco de baixo custo de aquisição e fácil construção foi estabelecido em função dos requisitos operacionais, dos cálculos e estimativas realizados, sendo apresentado na Figura 3. Albiero *et al.* (2012a) afirmam que todo o projeto inicia-se em uma fase conceitual, portanto este trabalho apresenta os desenhos conceituais do aerobarco. Nome para a embarcação: *AeroPET*.

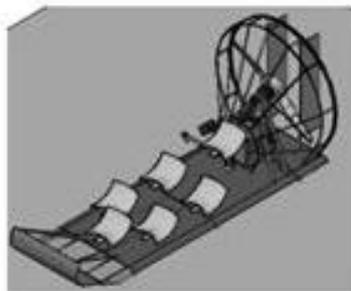
O aerobarco possui carga paga de 403 kg, portanto pode transportar qualquer carga que seja adequada à área do convés e se limite a este peso, como simulações de carregamento, foram consideradas: 1-Transporte de 5 pessoas com 80 kg; 2-Transporte de 6 sacos de adubo de 60 kg; 3-Transporte de 2 pessoas de 80 kg e 4 sacos de 60 kg de produtos da floresta, Figura 3 (a, b e c).

**Figura 3** - (a) Desenho conceitual do aerobarco, (b) Desenho técnico do aerobarco, dimensões em milímetros, (c) simulações de carregamento

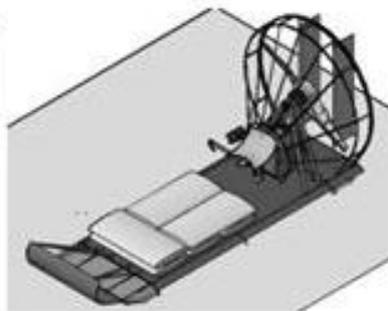


(a)

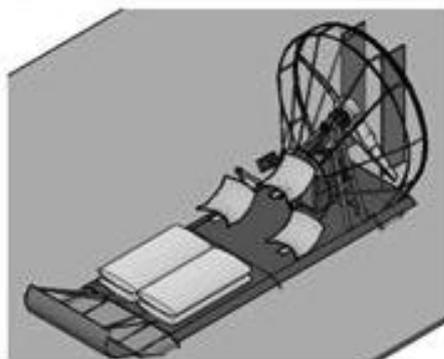
(b)



(a)



(b)



(c)

Com uma velocidade média de 20 km/h, é possível atingir portos variando de 400 km a 800 km, dependendo do sentido e velocidade da corrente (5 km/h); distâncias adequadas considerando-se que se trata região amazônica (BASTOS, 2006). O motor selecionado tem uma excelente relação peso/potência, que combinada com o projeto otimizado da hélice propulsora possibilita baixo consumo de combustível, e pouca manutenção. O projeto da hélice é de fácil construção, pois utiliza a madeira Freijó, abundante na Amazônia (LIMA; SANTOS; HIGUCHI, 2004), sendo passível de ser gerada na floresta por qualquer pessoa que saiba modelar um casco de embarcações ribeirinhas, tais como a Montaria ou Ubá (RODRIGUES, 2011). As estruturas de liga de alumínio são de fácil construção e baixíssimo peso com alta resistência mecânica, bastando um soldador de nível médio para as realizar. A estrutura principal do aerobarco é de madeira, sendo recomendado o uso da Fava-Tamboril, de larga ocorrência na região amazônica; sua conformação é

de muito fácil construção, o que torna possível sua construção *in locus* na floresta.

Têm-se como componentes do custo de fabricação do aerobarco: o motor e seus acessórios, a bateria eletroquímica, os tubos e cantoneiras de ligas de alumínio, o cubo da hélice, as polias, a chaparia de aço do escudo de proteção frontal e dos lemes, os parafusos de aço, e a mão de obra de solda/usinagem, Tabela 3.

Pelo projeto apresentado percebe-se que nas estimativas iniciais o aerobarco atende as necessidades dos ribeirinhos amazônicos. Pois as dimensões são compatíveis com a navegação por entre matas inundadas (AYRES, 2006), a capacidade de navegar em chavascas e águas com obstáculos também pôde ser atingida devido ao pequeno calado da embarcação, além de ter maior segurança em regiões com tocos submersos, devido as garrafas PET “estanques”. As várzeas amazônicas têm assegurado a

**Tabela 3** - Lista de materiais não gratuitos do aerobarco

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)	Fonte
Tubo de alumínio ASM 6061-T6 Ø 1”	4 m	275,00 barra	183,35	9
Tubo de alumínio ASM 6061-T6 Ø ¾”	4 m	218,00 barra	145,35	9
Tubo de alumínio ASM 6061-T6 Ø 3/8”	20 m	114,00 barra	380,00	9
Barra redonda ASM 7075-T6 Ø ¾”	20 polegadas	680,00/barra de 6 metros	56,70	9
Chapa de aço 1020x1/8”	1,5 m <sup>2</sup>	209,40 m <sup>2</sup>	313,50	8
Toyama TF150FEX1	1	1507,00	1507,00	4
Bateria Tudor 25 Ah/12V	1	100,00	100,00	1
tacômetro, combustível, luzes	1	100,00	100,00	1
Cabo acelerador	1	24,00	24,00	2
Tarugo para Cubo da hélice de Liga de Alumínio 6061-T6	150 mm	43,48	43,48	9
Tubo para polia maior, Ø219mmx1/8”	100 mm	503,00 barra	8,40	8
Tubo para polia menor, Ø100mmx1/8	100mm	400,00 barra	6,70	8
Cantoneira de liga de alumínio ASM 6061-T6 Ø 2”x2”x1/4”	4,5 m	324,50 barra	243,40	9
Eixo da hélice de 1” de aço 1020	300mm	136,50 barra	6,82	8
Parafusos ½”	12	0,73	8,76	5
Pregos aço, 19mmx39mm	1	6,70 kg	6,70	7
Arame de inox, 1 mm x 350 metros	1	50,00	50,00	7
Banco de trator MF290	1	140,00	140,00	3
Correias goodyear de 1”x1”x 2,5m	3	30,00	90,00	7
Mão de obra de solda	0,5 hora	60,00 hora	30,00	6
Mão de obra de corte e dobra	0,25 hora	35,00 hora	8,75	6
Mão de obra de usinagem	1 hora	95,00 hora	95,00	6
Total			3547,91	

**Fontes:** 1-www.shopcar.com.br – cotação em 01/3/2012; 2-Leandro Rogério Scuziatto-ME, 1/9/2012; 3- Castelo tratores, 12/12/2012; 4-agraupe.com, 30/01/2012; 5-Casa dos parafusos 6/6/2012; 6-Hibrema, 6/6/2012; 7- www.buscape.com.br; 8- Fercamp, 03/03/2012; 9-www.onlinemetals.com, 10/02/2012. **Todos os valores já acrescidos dos impostos**

sobrevivência de grupos humanos, desde os primórdios de sua ocupação, que remonta a milhares de anos (LABARTA, 2007; RAPOZO, 2011; RIBEIRO; TOURINHO; SANTANA, 2004;). O aerobarco possibilitará uma maior eficiência nas operações de transporte dos ribeirinhos, principalmente nestas áreas que são de difícil acesso para embarcações com hélices aquáticas.

Uma característica interessante do aerobarco com casco composto por garras PET é a sua capacidade de sobreviver a danos no casco. Pode-se considerar as garrafas PET como seções estanques, ou seja, se alguma é furada ou destruída, somente haverá perda de fluabilidade relativa ao volume restrito a garrafas PET (2 litros por garrafa PET, aproximadamente 2 kg de deslocamento), assim tem-se uma estrutura formada por 279 seções estanques, o que deveras é seguro em termos de fluabilidade frente a avarias. Esta característica é uma grande vantagem com relação a aerobarcos convencionais que possuem o casco formado por chapas de alumínio, principalmente em se considerando o ambiente de matas submersas amazônicas, onde tocos inteiros de árvores de grande porte ficam submersos e escondidos devido à cor das águas, um impacto nestes obstáculos facilmente abre um rombo no casco, que não é estanque, causando o naufrágio da embarcação (BASTOS, 2006). Outra vantagem é o projeto de fluabilidade do aerobarco, onde a rigidez do mesmo se deve ao esqueleto (longarinas e nervuras) e o empuxo principalmente as garrafas PET, assim a chapa de madeira da quilha pôde ser projetada com espessura fina (1/4" - 6,3 mm), diminuindo o peso da embarcação.

Se considerarmos que as garrafas PETs podem ser obtidas gratuitamente nos grandes centros, que a madeira da estrutura do aerobarco e da hélice podem ser obtidas sem custos nas redondezas das residências dos ribeirinhos (sempre considerando um manejo madeireiro sustentável) e que a mão de obra para a montagem da estrutura principal, da confecção da hélice, do acabamento e montagem final do aerobarco podem ser realizadas sem custo pelos próprios ribeirinhos (BILSBORROW; BARBIERI; PAN, 2004), tem-se um projeto de fácil construção, e baixo custo.

Albiero *et al.* (2007) e Albiero *et al.* (2011a) consideram essencial para a região amazônica o desenvolvimento de novos equipamentos que atendam as exigências ambientais e sociais recorrentes (SILVA; ALMEIDA, 2011). Neste contexto não há nenhuma restrição à navegabilidade e segurança, desde que o envelope da embarcação seja respeitado (BASTOS, 2006), (400 kg de *payload* à 20 km/h) e o motor estacionário possibilita um alcance compatível com a região amazônica (400-800 km).

## CONCLUSÕES

1. O custo final do projeto ficou R\$ 3547,91, abaixo do teto estabelecido de R\$ 4000,00, o que caracteriza um projeto acessível economicamente;
2. A construção do aerobarco pode ser perfeitamente realizada por ribeirinhos que tenham o mínimo conhecimento em construção de canoas;
3. O desempenho operacional previsto da embarcação se mostrou adequado à realidade de grandes distâncias amazônicas. A navegação por entre várzeas com obstáculos perigosos é possível, além da configuração do aerobarco evitar os escalpelamentos.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de Doutorado e pela bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora e à FUNCAP pelo auxílio financeiro relativo ao Programa Jovem Pesquisador.

## REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D. *et al.* Proposta conceitual de colhedoras autopropelidas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) para a Região Amazônica. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 82-389, 2012a.
- ALBIERO, D. *et al.* Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para a agricultura familiar. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 337-346, 2007.
- ALBIERO, D. *et al.* Motores de combustão interna de ignição por compressão movidos a biodiesel. **Varia Scientia Agrárias**, v. 2, n. 1, p. 165-195, 2011b.
- ALBIERO, D. *et al.* Gráficos de probabilidade normal para avaliação de mecanismos de distribuição de sementes em semeadoras. **Semina**, v. 33, n. 2, p. 507-518, 2012b.
- ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S.; GAMERO, C. A. Desenvolvimento e projeto de colhedora de babaçu babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para agricultura familiar nas regiões de matas de transição da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 3, p. 57-68, 2011a.
- ALVAREZ, R. L. P. **Otimização das formas de cascos de deslocamento em relação a sua resitência ao avanço**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- ANDRADE, A. L. M. Indicadores de sustentabilidade na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Piranha, Manacapuru, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 401-412, 2007.

- AYRES, J. M. **As matas de várzea do Mamirauá**. Belém: Sociedade Civil Mamirauá, 2006. 123 p.
- BARROS, F. B. Etnoecologia da pesca na reserva extrativista Riozinho do Anfrísio-Terra do Meio, Amazônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 4, n. 2, p. 286-312, 2012.
- BASTOS, M. M. R. D. **Geografia dos transportes: trajetos e conflitos nos percursos fluviais da Amazônia Paraense: um estudo sobre acidentes em embarcações**. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.
- BECKMAN, K. A. F.; SANTOS, N. C. M. Terapia ocupacional: relato de caso com vítima de escarpelamento por eixo de motor de barco. **Caderno de Terapia Ocupacional**, v. 12, n. 1, p. 26-34, 2004.
- BILSBORROW, R. E.; BARBIERI, A. F.; PAN, W. Changes in population and land use over time in the Ecuadorian Amazon. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 2, p. 635-647, 2004.
- BRITTO, C. B. L. *et al.* Escarpelamento na população amazônica. **Revista Paraense de Medicina**, v. 18, n. 1, p. 30-35, 2004.
- BURGOS, D. F. S. **Técnica de otimização multiobjetivo aplicada ao projeto preliminar de navios petroleiros**. 2008. 242 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- ECK, B. **Fans**. Oxford: Pergamon Press, 1973. 592 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 1996**. 2000. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric>>. Acesso em: 15 ago. 2008.
- JERACKI, R. J.; MITCHELL, G. A. **Low and high speed propellers for general aviation: performance potential and recent wind tunnel test results**. Cleveland: NASA Lewis Research Center, 1981. 32 p.
- KUWAHARA, N.; LAGO NETO, J. C.; ABENSUR, T. C. Modelagem de previsão de navegabilidade em rios da Amazônia: ferramenta web de suporte aos usuários do transporte aquaviário. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 1, p. 60-89, 2012.
- LABARTA, R. A. La agricultura en la Amazonia ribereña del río Ucayali: una zona productiva pero poco rentable? **Acta Amazonica**, v. 37, n. 3, p. 177-186, 2007.
- LEWIS, E. V. **Principles of naval architecture**. New York: SNAME, 1988. 530 p.
- LIMA, J. R. A.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Situação das indústrias madeireiras do Estado do Amazonas em 2000. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 4, p. 125-132, 2004.
- LIMA, L. G.; BATISTA, V. S. Estudos etnoicitológicos sobre o pirarucu *Arapima gigas* na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4, p. 337-344, 2012.
- MAGNO, L. D. P. *et al.* Escarpelamento nos rios da Amazônia: um problema de saúde pública. **Revista Paraense de Medicina**, v. 26, n. 3, p. 230-236, 2012.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1985. 418 p.
- MARTINEZ, G. B.; MOURA JÚNIOR, M., BRIENZA JÚNIOR, S. Seleção de ideótipos de espécies florestais de múltiplo uso em planícies fluviais do Baixo Amazonas, Pará. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 2, p. 65-74, 2010.
- MORGADO, A. V.; PORTUGAL, L. S.; MELLO, A. J. R. Acessibilidade na Região Amazônica através do transporte hidroviário. **Journal of Transport Literature**, v. 2, n. 2, p. 97-123, 2013.
- NEWMAN, J. N. Marine hydrodynamics. Massachusetts : MIT Press, 1992. 402 p.
- PAZ, A. C.; FRÉDOU, F. L.; FRÉDOU, T. Caracterização da atividade pesqueira em Vila do Conde (Barcarena, Pará), no estuário amazônico. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 6, n. 1, p. 307-318, 2011.
- RAPOZO, P. A renda da água: trabalhadores da pesca e as redes de comercialização na Amazônia brasileira. **Revista Espaço de diálogo e Desconexão**, v. 4, n. 1, p. 1-22, 2011.
- RIBEIRO, R. N. S.; TOURINHO, M. M.; SANTANA, A. C. Avaliação da sustentabilidade agroambiental de unidades produtivas agroflorestais em várzeas flúvio marinhas de Cametá-Pará. **Acta amazonica**, v. 34, n. 4, p. 490-515, 2004.
- ROCHA, P. A. C. *et al.* Estudo de um algoritmo paralelo em frentes de propagação líquidas para solos do Ceará usando o método de diferenças finitas. **Semina**, v. 33, p. 2959-2972, 2012. Suplemento 1.
- RODRIGUES, A. L. C. A complexidade da cultura amazônica e seus reflexos para a organização de representação da informação. **Novas Práticas em informação e conhecimento**, v. 1, n. 1, p. 10-25, 2012.
- RODRIGUES, L. G. Estaleiros artesanais: homens e barcos na construção de uma economia das águas. **Estação Científica**, v. 1, n. 1, p. 85-97, 2011.
- SANTOS, R. S.; COELHO-FERREIRA, M. Estudo etnobotânico de *Mauritia flexuosa* L. f. (Arecaceae) em comunidades ribeirinhas do Município de Abaetetuba, Pará, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4, p. 1-10, 2012.
- SILVA, C. N.; ALMEIDA, O. A atuação das instituições governamentais na atividade pesqueira e uso de geotecnologias na Amazônia. **Revista Formação Online**, v. 18, n. 2, p. 214-237, 2011.
- SOUZA, I. S. F. **Agricultura familiar na dinâmica da pesquisa agropecuária**. Brasília: Embrapa, 2006. 434 p.
- TELLES, R. S. Design ergonômico de embarcações de pesca: experiência de ação participativa no desenvolvimento de projetos de produto. **Ação Ergonômica**, v. 7, n. 2, p. 45-54, 2012.
- TRINDADE, G. O.; TRINDADE JÚNIOR, S. C. C. A ver navios, barcos e canoas: vivências urbanas e relação Cidade-

Rio na Amazônia Ribeirinha. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 18, n. 2, p. 35-53, 2012.

TUCK, E. O. **Wave resistance of thin ships and catamarans**. Adelaide: University of Adelaide, 1997. 47 p.

VILLAS BOAS, F. **Desenvolvimento de uma ferramenta de CAD aplicada ao projeto de hélices para veículos aquáticos não tripulados**. 2006. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.