

SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA NAVAL: O DESENVOLVIMENTO DA EMBARCAÇÃO MONOCASCO SOLAR DA EQUIPE BABITONGA.

RESUMO

Com o objetivo de alcançar bons resultados no Desafio Solar Brasil, a Equipe Babitonga, formada em sua maioria por estudantes do curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina, desde o retorno às atividades presenciais pós pandemia, concentrou seus esforços no desenvolvimento de uma nova embarcação: um monocasco tripulado movido a energia solar. O projeto seguiu as restrições estabelecidas pela competição, como capacidade máxima da bateria e comprimento máximo da embarcação. A utilização da metodologia de engenharia sequencial, baseada em embarcações semelhantes e na Espiral de Evans foi uma ferramenta essencial para o início do desenvolvimento do projeto. Também foram realizadas etapas de análises de resistência ao avanço que possibilitou a escolha de um casco com menor arrasto. Além disso, a distribuição de pesos e centros, a instalação de flutuadores e o sistema elétrico, incluindo painéis solares, controladores de carga, bateria, motor e sistema de direção, foram cuidadosamente planejados. O projeto representa um avanço tecnológico e uma oportunidade de aprendizado e contribuição para um futuro mais sustentável na indústria naval.

Palavras Chaves: Embarcação, Desenvolvimento, Naval, Educação.

ABSTRACT

With the aim of achieving good results in the Solar Challenge Brazil, Team Babitonga, mostly composed of students from the Naval Engineering course at the Federal University of Santa Catarina, has focused its efforts on the development of a new solar-powered manned monohull boat since the return to in-person activities after the pandemic. The project followed the restrictions established by the competition, such as the maximum battery capacity and maximum boat length. The utilization of sequential engineering methodology, based on similar boats and the Evans Spiral, was an essential tool for initiating the project development. Resistance analysis stages were also carried out to enable the selection of a hull with reduced drag. Additionally, weight and center distribution, installation of floats, and the electrical system, including solar panels, charge controllers, battery, motor, and steering system, were carefully planned. The project represents a technological advancement and an opportunity for learning and contributing to a more sustainable future in the naval industry.

Keywords: Boat, Development, Naval, Education.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o meio ambiente e a busca por soluções sustentáveis têm impulsionado a inovação em diversas áreas, inclusive na indústria náutica. Nesse contexto, a Equipe Babitonga, orientada pelo professor Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, doutor em engenharia naval e oceânica, com vasto conhecimento em embarcações de fibra, direcionou seus esforços para o desenvolvimento de uma nova embarcação sustentável que também obtivesse uma boa performance nas provas do DSB.

Neste artigo, apresentaremos os principais aspectos do projeto da embarcação do monocasco, bem como dados, tabelas e figuras relevantes para ilustrar o processo de desenvolvimento da embarcação que seguiu as orientações estipuladas pela organização do Desafio Solar. O projeto da embarcação movida a energia solar da Equipe Babitonga representa não apenas um avanço tecnológico, mas também uma oportunidade de aprendizado e desenvolvimento para os estudantes envolvidos, que buscam contribuir para um futuro mais sustentável na indústria naval.

RESTRIÇÕES

Com o objetivo de desenvolver novas tecnologias na indústria náutica, a organização do Desafio Solar determinou algumas restrições e desafios que guiaram a equipe nesse novo projeto.

As principais serão listadas a seguir.

- * Capacidade máxima da bateria 2075 Wh;
- * Comprimento máximo da embarcação 6,0 m;
- * Boca máxima 2,4 m (acima da linha d'água);
- * Área Máxima de captação dos painéis solares 8 m².

Os tópicos descritos acima foram utilizados em uma primeira análise como parâmetros iniciais e transpostos para o desenvolvimento da embarcação.

2. METODOLOGIA

A metodologia proposta pela equipe Babitonga no projeto e desenvolvimento da embarcação do monocasco teve como base o método de embarcações semelhantes, onde as embarcações

modelos foram as que competiram no **Monaco Solar and Energy Boat Challenge**, sendo a principal inspiração o barco SR03 (São Rafael 03) da equipe portuguesa Técnico Solar Boat. Após essa etapa foi utilizado como sequência lógica a Espiral de Evans, que também pode ser denominada como Point-Based Design ou então, processo de engenharia sequencial. Essa proposta consiste em um processo iterativo para estabelecer parâmetros e aprimorá-los ao decorrer de todo o processo..

A escolha da engenharia sequencial se mostrou mais satisfatória que o Set-Based Design, ou engenharia simultânea, uma vez que o Set-Based trata o projeto como interdependente e necessitava que os setores da equipe estivessem interligados, o que nesse caso não procede.

Desta forma, a equipe desenvolveu uma matriz de influência listando todas as prioridades como descrito na tabela abaixo e quais etapas dentro do processo são influenciadas e dependentes entre si.

Figura 1 - Matriz de influência.

MATRIZ DE INFLUÊNCIA	Dimensões Principais	Geometria de Casco	Definição Pesos Preliminar	Arranjo Geral	Equilíbrio e Estabilidade	Resistência ao Avanço	Projeto Estrutural	Integração Casco Hélice	Comportamento no Mar	Motorização	Processo de Construção	Custo
Dimensões Principais	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geometria do casco	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Definição pesos preliminar	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arranjo geral	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Projeto estrutural	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Equilíbrio e estabilidade	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Resistência ao avanço	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Projeto estrutural	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Integração casco hélice	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Comportamento no mar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Motorização	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Integração casco hélice	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Comportamento no mar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Processo de construção	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Custo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Autor.

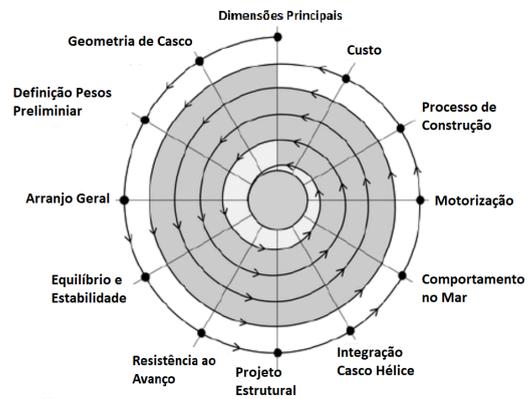
Com essa etapa concluída foi possível determinar uma ordem e posteriormente montar a espiral em si.

Figura 2 - Ordem na espiral.

Ordem na espiral	
1º	Dimensões principais
2º	Geometria do casco
3º	definição pesos preliminar
4º	arranjo geral
5º	equilíbrio e estabilidade
6º	resistencia ao avanço
7º	projeto estrutural
8º	integração casco hélice
9º	comportamento no mar
10º	Motorização
11º	processo de construção
12º	custo

Fonte: Autor.

Figura 3 - Espiral de Evans.



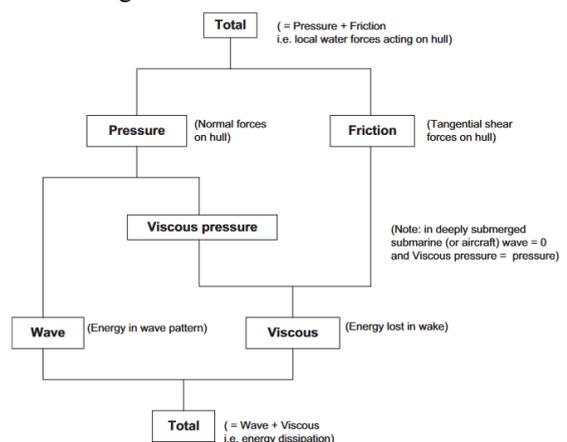
Fonte: Autor.

3. RESISTÊNCIA AO AVANÇO

A ideia inicial da equipe era projetar uma embarcação leve que desenvolvesse uma boa performance em provas de longa e curta duração. Para isso, era necessário uma baixa resistência ao avanço e um perfil hidrodinâmico que facilitasse a progressão de regime de deslocamento para plano.

Quanto à resistência, é possível dividi-la em parcelas, são elas: a parcela devido ao atrito água-casco, a parcela da diferença de pressão entre proa e popa enquanto o casco avança e a parcela de pressão devido às ondas, como mostra Molland na imagem 4.

Figura 4 - Divisão da resistência.



Fonte: Molland, 2011.

O primeiro passo do projeto foi determinar as geometrias. Fixou-se a dimensão comprimento que foi delimitada como 6 metros, a máxima da competição. Essa decisão foi consequência de uma série de fatores, sendo o principal deles o comprimento dos painéis solares. A equipe optou

por utilizar o casco para proteger os painéis de impactos que poderiam comprometer seu desempenho.

Uma pesquisa por embarcações similares foi realizada, usando os filtros: barco solar, monocasco, comprimento de até 1,5 do LOA escolhido. Dessa forma estudou-se aspectos dessas embarcações e com base nelas gerou-se 7 possíveis monocascos. Conforme pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 - Possíveis Monocascos.

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
LWL	5,993	5,992	5,971	5,971	5,971	5,971	5,971
B	0,830	0,718	0,719	0,719	0,719	0,802	0,737
D	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
H	0,099	0,089	0,088	0,099	0,099	0,08	0,113

Fonte: Autor.

Existem diferentes abordagens para o cálculo de resistência dependendo do regime da embarcação, velocidade e de seus padrões geométricos. Os monocascos projetados têm características de uma embarcação semi-deslocante, seu regime, assim como sua geometria, tornam sua estimativa analítica de resistência pouco confiável. Dessa forma a equipe estimou a resistência apenas para utilizá-la como uma ferramenta de comparação para escolha da geometria. Optou-se então, pelo método de Holtrop e Mennen que divide a resistência ao avanço de um barco em várias parcelas: resistência de fricção, resistência de apêndices, resistência de ondas, resistência de popa transom, resistência de bulbo e resistência de correlação modelo-navio. Seguindo a equação (1):

$$R_t = R_f(1 + k_1) + R_{app} + R_w + R_b + R_{tr}$$

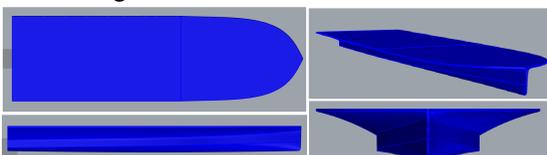
A embarcação que teve o menor arrasto em comparação foi o monocasco 01 mostrando-se promissor para seguir as iterações na Espiral de Evans. É possível ver as dimensões principais desta embarcação na tabela 2 e suas vistas na figura 5.

Tabela 2 - Dimensões principais.

LOA	5,99	m
Pontal	0,43	m
Boca	0,83	m
V máx	12,00	kt

Fonte: Autor

Figura 5 - Vistas Monocasco



Fonte: Autor.

A equipe minimizou a boca e pontal da embarcação, buscando minimizar sua resistência, entretanto esta escolha impactou negativamente na estabilidade transversal da embarcação, necessitando assim do uso de flutuadores.

4. PESOS E CENTROS

A disposição de pesos e centros¹ é ponto crucial em todas as embarcações, entretanto em embarcações que têm capacidade de planar, a disposição de pesos e centros precisa de um pouco mais de atenção. Isso porque existem efeitos, como o de porpoising, que podem ser anulados ou minimizados de acordo com a disposição de cargas. Em embarcações planantes procura-se sempre trazer o LCB e LCG mais a ré para evitar o porpoising, criando um pouco de trim negativo que pode facilitar o planeio e também para que os primeiros tanques fiquem vazios e assim o slamming não seja tão danoso a embarcação.

Os pesos mais críticos do monocasco 01 são o estrutural, piloto, bateria, motores e transmissão. É possível ver na tabela 3 a disposição desses objetos. Observa-se também o deslocamento total que é de 213,59 kg.

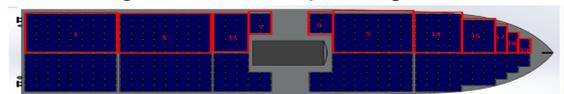
Na imagem 6 é possível ver a distribuição das placas do monocasco.

Tabela 3 - Distribuição dos pesos.

Item Name	Unit Mass (kg)	Unit Mass (t)	Long (m)	Trans.(m)	Vert. (m)
Casco	60,00	0,0600	2,787	0	0,288
Piloto	70,00	0,0700	2,720	0	0,257
Motor 1	4,90	0,0049	0,235	0	0,249
Motor 2	4,90	0,0049	0,365	0	0,249
Transmissão	5,00	0,0050	0,295	0	0,050
Bateria	8,00	0,0080	0,600	0	0,200
Peso Total (kg)	213,59	0,2136			
Volume deslocado =		0,208380488			

Fonte: Autor

Figura 6 - Distribuição das placas solares.



Fonte: Autor.

5. FLUTUADORES:

Devido à existência de instabilidade transversal no monocasco, fator responsável por tornar a

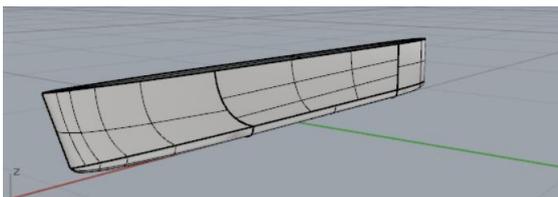
¹ A tabela com os pesos e centros pode ser vista nos anexos deste artigo.

embarcação mais suscetível a movimentos laterais como o roll, tem-se como consequência não só o aumento da dificuldade da manobrabilidade como também o maior risco de capotamento causado pela dificuldade de recuperação de inclinações laterais bem como a diminuição da eficiência operacional, comprometendo, desse modo, o desempenho do barco na competição e, assim, tornando necessário a instalação de flutuadores.

Os flutuadores têm como intuito fornecer fluviabilidade adicional à embarcação, aumentar a capacidade de carga, equilibrar o peso de maneira mais eficiente e aumentar a largura efetiva do casco, proporcionando, assim, maior estabilidade lateral. Esse fator constitui-se importante para o melhor desempenho do monocasco na competição.

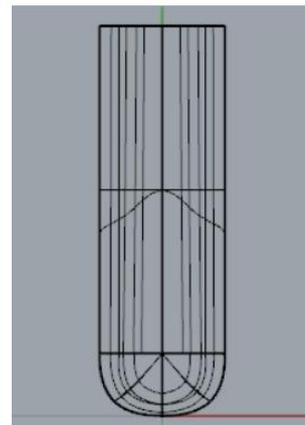
Portanto, foram confeccionados dois flutuadores por meio da usinagem de um molde de isopor com densidade de 35 kg/m^3 , seguindo o modelo projetado, conforme pode ser visto nas imagens 10 e 11. Obtendo-se, dessa forma, dois flutuadores preenchidos com isopor para evitar a entrada de água, cada um com um volume de 50 litros, e, após a usinagem, realizou-se a laminação dos mesmos com uma camada de fibra de vidro com densidade de 300 g/m^2 , a fim de torná-los impermeáveis e mais resistentes a impactos. Uma vez prontos, os flutuadores foram fixados a bombordo e boreste do monocasco por meio de uma haste com altura regulável solucionando, assim, o problema da instabilidade transversal.

Figura 7 - Vista em perspectiva do flutuador.



Fonte: Autor.

Figura 8 - Vista frontal do flutuador.



Fonte: Autor.

6. ELÉTRICA:

Uma evolução em relação às competições anteriores escolhida pela equipe foi a expansão da área de captação de luz solar por meio do aumento dos painéis e melhor posicionamento dos mesmos. Além de melhor explorar o metro quadrado disponível no barco, a utilização de placas solares com tecnologia monocristalina aumenta em 5,29% a eficiência em relação aos painéis utilizados anteriormente, de modo que se aproximem mais ao limite estabelecido pelo regulamento da competição. Portanto, apenas com essas otimizações, a potência gerada por m^2 dos painéis utilizados aumentou de $161,9 \text{ W/m}^2$, para $214,8 \text{ W/m}^2$.

Em nosso sistema de energia solar, empregamos três controladores de carga, cada um equipado com um microcontrolador MPPT (Maximum Power Point Tracking). A decisão de usar múltiplos controladores de carga decorre da necessidade de operar dentro de limites específicos de tensão impostos pelos regulamentos de competição. Como temos três placas em nossa configuração, conectá-las em série ultrapassa a faixa de tensão permitida. Portanto, optamos por conectar as placas de forma paralela, possibilitando alcançar o aumento de tensão desejado através dos controladores MPPT.

O objetivo principal dos controladores de carga é regular e otimizar o fluxo de energia entre os painéis solares e a bateria. Ao incorporar microcontroladores MPPT, podemos efetivamente rastrear e extrair a potência máxima disponível dos painéis solares sob condições climáticas e de irradiação variáveis. Assim como também elevar a tensão desejada (54V) para o carregamento da bateria.

Ao considerar o componente de bateria para nosso sistema de energia solar, avaliamos

cuidadosamente várias opções e, finalmente, decidimos utilizar uma bateria de lítio ferro fosfato (LiFePO4). Essa escolha foi baseada em vários fatores-chave, incluindo peso, densidade de energia e adesão aos requisitos da competição. As baterias de chumbo-ácido, embora amplamente utilizadas no passado, têm densidades de energia mais baixas e são relativamente mais pesadas. Ao selecionar uma bateria de fosfato de ferro e lítio, alcançamos um equilíbrio favorável entre capacidade de armazenamento de energia e peso.

Ao selecionar o motor, consideramos diversos fatores, decidindo finalmente utilizar o Golden Motor (HPM3000). Este motor destacou-se pela sua excepcional relação peso/potência, pesando apenas 8 kg e podendo utilizar até 10 Nm em torque nominal, com uma eficiência de 90,5%. Além disso, seu design refrigerado a líquido oferece alto nível de proteção, com classificação IP66, garantindo uma operação selada e confiável sem risco de falha.

No sistema de direção da nossa embarcação, decidimos optar por um mecanismo controlado eletricamente. Para isso, utilizamos um microcontrolador Arduino, que desempenha um papel central na leitura do sensor Hall. A escolha de um sensor Hall foi motivada por sua natureza magnética, reduzindo o risco de contato com a água. Através do Arduino, são enviados comandos usando modulação por largura de pulso (PWM) para controlar um servo motor, que, por sua vez, ajusta a posição da coluna de transmissão da rabeta.

O código utilizado, foi feito em linguagem c++, justamente por utilizarmos o arduino como microcontrolador, estando a seguir o código utilizado:

```

1 #include <Servo.h>
2
3 Servo servoMotor; // Cria um objeto do tipo Servo para controlar o servo motor
4 int sensorPin = 0; // Pino do Arduino conectado à saída do sensor Hall
5
6 void setup() {
7   servoMotor.attach(9); // Conecta o servo motor ao pino 9 do Arduino
8   pinMode(sensorPin, INPUT); // Define o pino do sensor Hall como entrada
9 }
10
11 void loop() {
12   int sensorValue = analogRead(sensorPin); // Lê o valor analógico do sensor Hall
13
14   // Mapeia o valor lido para o intervalo de 0 a 180 (ângulo do servo)
15   int servoAngle = map(sensorValue, 0, 1023, 0, 180);
16
17   // Define a posição do servo motor com base no ângulo calculado
18   servoMotor.write(servoAngle);
19
20   delay(0); // Pequeno atraso para evitar leituras rápidas e instáveis do sensor
21 }

```

Fonte: Autor.

Para garantir o desempenho ideal e o gerenciamento eficiente de energia durante os testes, criamos uma planilha que serve como uma ferramenta valiosa para analisar e planejar a utilização do nosso motor, bem como determinar a

hélice ideal com base em diferentes configurações de potência. Além disso, permite-nos criar estratégias e reservar a capacidade da bateria para os dias de teste subsequentes.

Um aspecto crucial é sua capacidade de avaliar o desempenho do motor em vários cenários de potência. Como nosso motor fornece diferentes dados para diferentes níveis de potência, é essencial identificar a hélice e a configuração de potência mais adequadas para cada prova em específico.

Outro fator crítico considerado na planilha é a estimativa da duração da bateria com base na porcentagem de energia retirada dos painéis solares. Há dados que demonstram que em dias de chuva, a eficiência dos painéis solares pode cair significativamente, chegando a 10% de sua eficiência total. Para contabilizar essas flutuações, nossa planilha permite mudanças dinâmicas nos níveis de eficiência, permitindo avaliar o desempenho da bateria sob condições climáticas variáveis.

Além disso, a planilha facilita a criação de vários gráficos, permitindo visualizar e analisar diferentes cenários. Por exemplo, podemos avaliar a duração da bateria quando os painéis solares estão operando com 90% de eficiência, usando uma potência de 4kW como demonstrado na imagem:

Figura 10 - Planilha de eficiência.

Placas	U(V)	I(A)	Potência (W)
	41	40,74	1499,27274

Bateria	U(V)	I(A)	Potência (W)
	51	40	2040

Eficiência em dias chuvosos	Eficiência do Dia
10 a 20%	90%

Fonte: Autor.

Assim, resultando nos seguintes resultados nas tabelas:

Tabela 4 - Resultados da planilha.

Modulo	U(V)	I(A)	torque(N*m)	RPM	Potência in (W)	Rad/s	Potência out (W)	N(%)
1	48	30.02	2.5	4396	1440.96	460.34	1150.870109	0.79682888
2	48	34.17	3	4396	1640.16	457.20	1371.619353	0.8382716763
3	48	38.39	3.5	4399	1842.72	454.37	1590.326561	0.8530321927
4	48	49.07	4.6	4267	2355.36	446.83	2056.460297	0.872673518
5	48	59.81	5.9	4200	2870.88	439.82	2594.95532	0.9038885401
6	48	71.96	7.3	4119	3454.08	431.34	3148.786901	0.9116137729
7	48	87.2	8.9	4017	4185.6	420.65	3743.867381	0.8944637283
8	48	94.31	10	3914	4526.88	409.07	4096.731215	0.9054207789

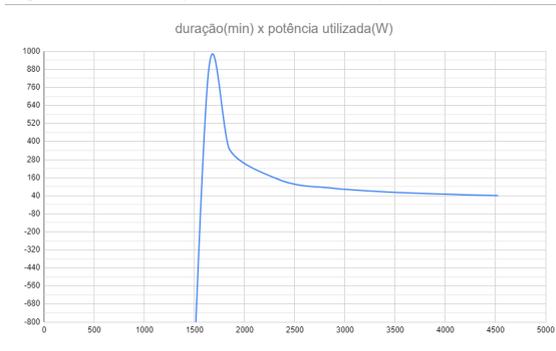
Modulo	Desgaste da bateria (W)	Tempo de descarga (hora)	(Minutos)
1	-58,31274	-34,98377884	-2099,026731
2	140,88726	14,47966267	868,7797605
3	343,44726	5,939776605	356,3865963
4	856,08726	2,382934656	142,9760793
5	1371,60726	1,487306213	89,2383728
6	1954,80726	1,043581146	62,61486874
7	2686,32726	0,7594011461	45,56406877
8	3027,60726	0,6737994148	40,42796489

Fonte: Autor.

Nos quais os tempos que estiverem com valor negativo significa que há mais energia suprindo a

bateria do que esvaindo (reabastecimento da placa).

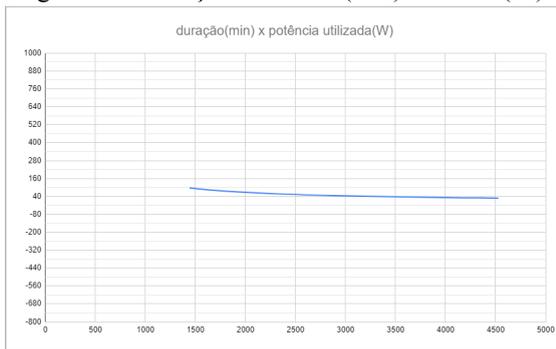
Figura 11 - Duração da bateria(min)/Potência(W).



Fonte: Autor.

Para utilização de valores pequenos, geramos uma tabela separada, denominada de “tabela de emergência” para casos de dias chuvosos, sendo assim, o motor trabalha com potências menores do que no plano inicial, sendo alterado no gráfico e nas tabelas caso mude para 10%.

Figura 12 - Duração da bateria(min)/Potência(W).



Fonte: Autor.

Tabela 5 - Tabela com menores valores.

Tabela de Emergência (Dias Chuvosos)									
Modelo	UV	UA	Incap(%)	RPM	Potência (W)	Modelo	Desgaste da bateria (h)	Tempo de descarga (horas)	(Wattos)
1	48	16,32	1	4450	817,35	1	440,77414	3,183642019	191,110247
2	48	19,91	1,4	4450	916,98	2	770,94914	2,268220071	155,116122
3	48	22,57	1,7	4445	1038,16	3	921,17414	2,213801376	132,816290
4	48	26,16	2,1	4420	1258,68	4	1080,04914	1,872100213	112,2881962

Fonte: Autor.

Com base nos dados obtidos da planilha anterior, desenvolvemos outra planilha com o objetivo específico de estimar a duração das provas com base na distância percorrida em várias velocidades. Esta nova planilha nos permite determinar o tempo necessário para um teste e estimar a carga restante na bateria após a conclusão.

Tabela 6 - Estimativa de duração das provas.

	21	10	5	2
Velocidade do barco (m/s)		6,1733		
RPM		4050		
Diâmetro (m)		0,15		
Torque (N/m)		7		
Potência (W)		2971,86		
Porcentagem da Bateria (%)	-9,136561213	48,03020895	74,01510447	89,60604179
Tempo pra completar a prova (h)	1,511887213	0,719946292	0,359973146	0,1439892584

Fonte: Autor.

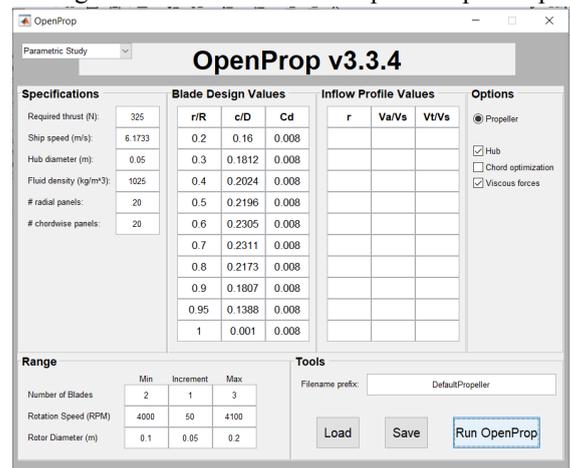
Ao incorporar dados da análise da hélice e considerar diferentes cenários de velocidade-distância com dados das provas anteriores, podemos calcular o tempo que levaria para cobrir uma determinada distância. Essa análise leva em consideração a eficiência do motor, as configurações de potência e as características da hélice, fornecendo informações valiosas para o planejamento e execução de testes.

Além disso, conhecendo o tempo necessário para um teste específico, podemos estimar a carga restante na bateria ao final do teste. Essa estimativa é crucial para gerenciar a capacidade da bateria e garantir energia de reserva suficiente para testes subsequentes ou necessidades de carregamento.

7. PROPULSOR:

Para o projeto/modelagem do propulsor a equipe utilizou uma extensão do Matlab, chamada OpenProp, que é um código open source, que fornece uma excelente ferramenta de design, análise e otimização de propulsor. O OpenProp pode ser utilizado de maneira mais intuitiva utilizando uma interface gráfica, onde a equipe setou como dados de entrada o empuxo necessário para deslocar a embarcação à uma determinada velocidade de operação, empuxo esse que foi calculado via Orca, para uma velocidade de 12 nós, o diâmetro do Hub da embarcação e a densidade da água, onde a equipe considerou 1025 kg/m³.

Figura 13 - Dados de entrada para o OpenProp.

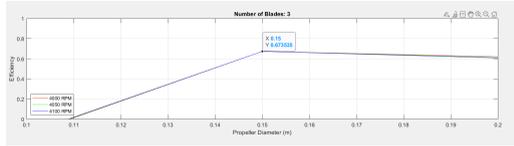


Fonte: Autor.

Após a entrada dos critérios o OpenProp fornece ao usuário uma tabela com os parâmetros estabelecidos e uma seção com a potência necessária para mover a embarcação na velocidade de operação. Visando um melhor desempenho na competição a equipe se ateu a essa informação, já que por se tratar de provas onde a eficiência energética é o ponto chave, a potência necessária em uma determinada velocidade é um fator

determinante para seleção de um propulsor assim como sua eficiência para um dado diâmetro como mostrado abaixo, onde o propulsor mostra uma eficiência de 67% à um rpm de 4100, com um diâmetro 0.15m.

Figura 14 - Gráfico Eficiência X Propulsor.



Fonte: Autor.

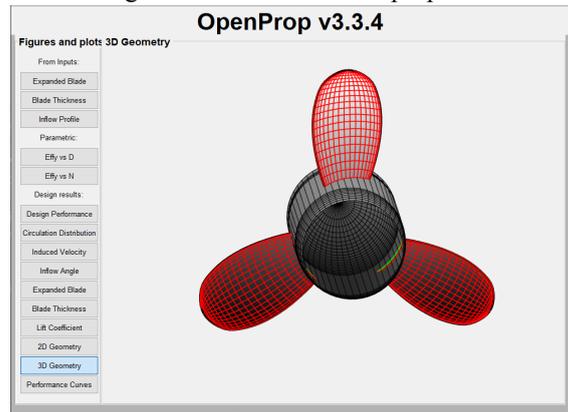
Figura 15 - Parâmetros estabelecidos pelo OpenProp.



Fonte: Autor.

Como demonstrado pela tabela acima e na planilha de autonomia, para uma velocidade de 12 nós, a embarcação necessita um consumo de 2971.86 W, que pela tabela e simulação gera uma autonomia (bateria totalmente descarregada) de 90 minutos, considerando provas curtas (2 milhas) a embarcação a essa velocidade completaria a mesma em cerca de 9 minutos, com um restante de 89,6% da bateria, considerando uma prova média de 5 milhas a embarcação levaria cerca de 22 minutos com um restante de 74% da bateria e considerando uma prova de 10 milhas a embarcação a uma velocidade média de 12 nós, levaria cerca de 44 minutos e com um restante de bateria de 48%, todas essas ponderações foram estipuladas considerando a geração dos três painéis solares com o sol a pico, condição essa que é a ideal para geração de energia solar. Com os parâmetros definidos e com a simulação de autonomia da embarcação simuladas, a equipe progrediu para modelagem do hélice, usando uma biblioteca do OpenProp a equipe gerou um modelo em 3d do propulsor.

Figura 16 - Modelo 3D do propulsor.



Fonte: Autor.

8. CONSTRUÇÃO:

O primeiro passo da construção do monocasco foi a criação de um plano de laminação específico para a embarcação. Para a elaboração dessa etapa utilizou-se a bibliografia do *GERR, The elements of boat strength*. Todo o processo foi feito em torno de uma embarcação de regata, portanto, visando sempre a redução do peso e levando em consideração os esforços localizados aos quais o projeto seria submetido.

Figura 17 - Plano de laminação.

Barco Solar Babilongo	
Monocasco	Revisão 03 – 08/05/2023
Plano de Laminação	
Casco Geral	
1. Skincoat – 1 x véu de superfície	
2. Fundo externo até o BLH – 3 x biax 300g/m ²	
3. Costado externo até o BLH – 2 x biax 300g/m ²	
4. PVC 10 mm 60g/m ²	
5. Geral interno – 2 x biax 300g/m ²	
Reforços Localizados	
1. Região da quilha e roda de proa (14 cm):	
a. externo – 2 x biax 300g/m ²	
b. interno – 1 x biax 300g/m ²	
2. Região dos chines (14 cm):	
a. externo – 1 x biax 300g/m ²	
b. interno – 1 x biax 300g/m ²	
3. Sob o piloto: interno 3 x biax 300g/m ²	
4. Sob baterias: interno 1 x biax 300g/m ²	
5. Bochechas: de 0 a 1600 mm: 3 tiras de PVC com 30 mm de altura da quilha ao sheer intercalado com as cavernas	
6. Cavernas a cada 600 mm com 100 mm de altura: PVC 100 mm + 2 x biax 300g/m ² (Flanges 50 mm)	
7. Trincanz: interno e externo (100 mm) – 1 x biax 300g/m ²	
8. Costado plano, de zero a 1500 mm com 300 mm a 110 mm de altura – externo 1 x biax 300g/m ² - vide Figura 01	

Fonte: Autor.

A laminação da embarcação foi feita visando uma melhor relação de fibra/resina. Sendo assim, a equipe estudou tanto o processo de laminação manual quanto o processo de laminação à vácuo, ambas apresentavam vantagens e desvantagens.

A laminação manual apesar de ter um custo menor, apresentava várias desvantagens, por exemplo, a necessidade de se utilizar “manta” de fibra de vidro entre as camadas do laminado para melhor adesão. A utilização dessa manta entre as camadas agregaria uma massa que não tem contribuição estrutural para a embarcação. Outro ponto é que por meio da laminação manual, o fator fibra/resina fica limitado à 40% fibra e 60% resina

que por sua vez apresenta uma contribuição estrutural irrelevante.

O processo de laminação a vácuo mesmo apresentando um custo mais elevado devido a necessidade de se trabalhar com resinas mais nobres, utilização de uma bolsa de vácuo e diversos materiais extras, gera um laminado com cerca de 50% do seu peso em resina e os outros 50% de fibra.

Analisando os fatores acima apresentados, a equipe optou por um processo de laminação a vácuo, utilizando uma resina Araldite LY 1564 e um catalisador Aradur 3489, que apresentavam um tempo de Gel-Time de cerca de 10 horas. Esse tempo de cura longo foi necessário para completar todo o processo de laminação, já que no processo de laminação a vácuo todas as camadas de laminado são dispostas e laminadas ao mesmo tempo para que apenas no final do processo seja colocado a bolsa de vácuo e ligado a bomba, que retira uma parte do excesso de resina do laminado melhorando, dessa forma, a relação de fibra/resina.

Figura 18 - Processo de laminação.



Fonte: Autor.

Figura 19 - Laminação a vácuo.



Fonte: Autor.

9. CONCLUSÃO:

Portanto, a equipe, orientada pelo professor Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, utilizou uma

metodologia baseada em embarcações semelhantes e a Espiral de Evans para projetar e desenvolver o monocasco movido a energia solar. Ainda, ao enfrentar as restrições e desafios impostos pelo DSB, o Babbitonga trabalhou de forma árdua para apresentar uma embarcação dentro dos parâmetros estabelecidos pela competição. Além disso, a análise de resistência ao avanço desempenhou um papel crucial no projeto, levando à escolha do monocasco 01 como a geometria mais promissora, visando baixa resistência e bom desempenho. No sistema elétrico, foram implementadas melhorias na captação de energia solar, com o aumento da área de captação e a utilização de painéis solares monocristalinos mais eficientes. Por fim, é importante destacar que o projeto da equipe representa não só um avanço tecnológico na indústria naval, mas também uma oportunidade de aprendizado e desenvolvimento para os estudantes envolvidos que tiveram a oportunidade de construir uma embarcação do zero e participar de todas as suas etapas de construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUNHA, L. V. Desenho Técnico. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 2010
- GERR, Dave. The Elements of Boat Strength – For Builders, Designers and Owners. International Marine / Mcgraw-HILL, 2000.

10. APÊNDICE:

Figura 20 - Planilha detalhada de pesos e centros.

Arranjo									
Item	Nome	Ordem no Bdg	Ordem no C/D	Long (cm)	Trans (cm)	Vol (L)	LCG (cm)	TWC (cm)	VCG (cm)
Part 1	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 2	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 3	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 4	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 5	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 6	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 7	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 8	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 9	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 10	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 11	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 12	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 13	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 14	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 15	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 16	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 17	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 18	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 19	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 20	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 21	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 22	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 23	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 24	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 25	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 26	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 27	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 28	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 29	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 30	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 31	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 32	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 33	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 34	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 35	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 36	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 37	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 38	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 39	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 40	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 41	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 42	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 43	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 44	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 45	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 46	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 47	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 48	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 49	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 50	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 51	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 52	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 53	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 54	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 55	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 56	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 57	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 58	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 59	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 60	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 61	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 62	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 63	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 64	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 65	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 66	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 67	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 68	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 69	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 70	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 71	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 72	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 73	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 74	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 75	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 76	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 77	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 78	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 79	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 80	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 81	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 82	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 83	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 84	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 85	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 86	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 87	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 88	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 89	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 90	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 91	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 92	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 93	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 94	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 95	5.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Part 96	5.13	0.000	0.000	0.000	0				