

CONSTRUÇÃO DO BARCO SOLAR PORQUÊ DA EQUIPE LEVIATÃ - UEA

Jhordan Oliveira de Vasconcelos Dias, Fábio Abidon Wesen, Israel Félix de Moura Torres,
Carlos Venício Albuquerque Rodrigues Chirano, Renato Allan de Souza Oliveira, Igor Muniz Sampaio

Escola Superior de Tecnologia
Universidade do Estado do Amazonas

RESUMO

Neste trabalho, é apresentado o projeto de construção de um barco solar de pequeno porte. A embarcação é do tipo catamarã, construído pela Equipe Leviatã da Universidade do Estado do Amazonas com o objetivo de participar do Desafio Solar Brasil 2016, uma competição universitária que consiste em um rali de barcos movidos exclusivamente a energia solar. A competição visa promover e desenvolver o uso de fontes renováveis de energia na propulsão de embarcações tripuladas buscando obter uma boa eficiência energética. A embarcação é totalmente elétrica e possui painéis fotovoltaicos que recarregam as baterias que por sua vez alimentam um motor elétrico responsável pela propulsão. O projeto será descrito de forma completa, abordando as partes da elétrica, mecânica e naval. No final são comentados os resultados obtidos na competição.

Palavras Chaves: Barco Solar, Catamarã, Desafio Solar Brasil, Energias Renováveis, Eficiência Energética.

CONSTRUCTION OF THE SOLAR BOAT “PORAQUÊ” OF TEAM LEVIATÃ - UEA

ABSTRACT

In this article, a small solar boat construction project is presented. The vessel is a catamaran, built by Team Leviathan, of the University of the State of Amazonas, with the goal of participate in the Brazil Solar Challenge in 2016, a university competition consisting of a rally of boats powered exclusively by solar energy. The competition aims to promote and develop the use of renewable energy sources in the propulsion of manned vessels seeking to get a good energy efficiency. The vessel is fully electric and has photovoltaic panels recharging the batteries, which feeds an electric motor responsible for propulsion. The project will be described fully, covering parts of the electrical, mechanical and naval projects. In the end the results obtained in the competition are commented.

Keywords: Solar Boat, Catamaran, Brazil Solar Challenge, Renewable Energy, Energetic Efficiency.

I. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, o consumo de energia elétrica e a sua dependência vem crescendo devido ao uso de equipamentos elétricos tanto industriais quanto domésticos acarretados pelo desenvolvimento econômico mundial, devido a isso novas formas de geração e gerenciamento de energia vêm sendo estudadas com o intuito de desenvolver tecnologias sustentáveis que possam diminuir o impacto ambiental de forma a garantir o não esgotamento dos recursos naturais existentes (CABRAL et al, 2014).

A energia solar vem crescendo muito nos últimos anos e vem se mostrando uma alternativa viável para a geração de energia elétrica, não somente para o uso residencial para também para ser utilizada em veículos elétricos, aumentando a sua autonomia.

A substituição a propulsão à combustão por um sistema puramente elétrico é uma alternativa menos agressiva ao meio ambiente, mas que possui um custo inicial maior, mas com o avanço da tecnologia de semicondutores, baterias e painéis solares, espera-se mudar esse cenário em breve. Embarcações elétricas podem ser utilizadas em inspeções e

fiscalizações em área litorâneas e para visitação turística em áreas fluviais ou marítimas de proteção ambiental (FUERBACK et al, 2013).

Eventos como o Desafio Solar Brasil possuem grande importância para inserir o país no cenário mundial de tecnologias renováveis, pois funcionam como forma de divulgação e incentivo à pesquisa e desenvolvimento de tecnologias alternativas ao combustíveis fósseis. Sendo assim, este trabalho descreve o projeto do Barco Poraquê construído pela equipe leviatã da Universidade do Estado do Amazonas para a participação no Desafio Solar Brasil 2016 que ocorreu no final de novembro na cidade de Búzios, no Rio de Janeiro.

II. FUNDAMENTAÇÃO

a. ENERGIAS RENOVÁVEIS

Energias renováveis são fontes que podem ser aproveitadas ao longo do tempo sem possibilidade de esgotamento com o decorrer do seu uso, como exemplos desse tipo de fonte são a energia solar e eólica. A existência desse tipo de energia em nossa região faz com que tenhamos uma maior atenção em

relação ao seu aproveitamento e assim procurar formas de utilizá-la.

A quantidade de radiação solar que o Sol emite anualmente para a Terra corresponde a dez mil vezes o consumo mundial de energia para o mesmo período, a radiação solar é radiação eletromagnética que se propaga na velocidade da luz, nela é encontrado o fóton, uma partícula que não contém massa, mas possui energia bem definida. O processo de conversão dessa energia na forma de luz em elétrica se dá pelo processo de Optoeletrônica que utilizam semicondutores para obter energia elétrica. Semicondutores são materiais sólidos com estrutura cristalina com propriedades de condutividade elétricas mais baixas que condutores e maiores que isolantes. O desenvolvimento da Optoeletrônica partiu da descoberta do Efeito Fotoelétrico que se dá pela emissão de elétrons por um material quando o mesmo é exposto a certos tipos de luz, no processo de absorção desse material por um certo tipo de luz os elétrons se elevam para a superfície do material, gerando uma corrente elétrica e deixando buracos de elétrons (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

b. DESAFIO SOLAR BRASIL

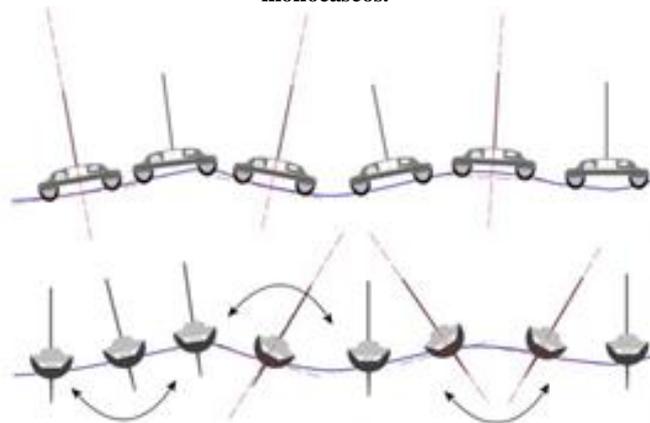
O Desafio Solar Brasil é uma competição, onde equipes de diversas universidades do Brasil participam projetando e construindo barcos movidos à energia solar, demonstrando a importância e vantagens do uso de energias renováveis como formas alternativas de aproveitar esse tipo de energia.

A existência de competições entre universidades desperta a busca e troca por conhecimento tanto científico quanto prático, além de desenvolver aspectos pessoais como trabalho em equipe e a rápida resolução de problemas. Como se trata de uma competição as equipes devem atender diversas especificações contidas no regulamento e também buscar superar os projetos apresentados pelos demais participantes. A proposta do Desafio Solar Brasil é que cada equipe possa apresentar um barco com sistema isolado de aproveitamento da energia solar fotovoltaica proporcionando às equipes a execução de projetos complexos, onde a escolha de equipamentos como bateriam controlador de carga e motor são de fundamental importância para o aumento da eficiência do barco. Esse tipo de evento é multidisciplinar e promove uma integração entre os diversos cursos de Engenharia, onde os participantes podem conhecer outros cursos de uma perspectiva diferente, do ponto de vista prático contribuindo da sua forma ao projeto (CABRAL et al, 2014).

c. CATAMARÃ

Por pré-definição da categoria almejada no DSB, foi construída uma embarcação do tipo catamarã. Os catamarãs consistem numa embarcação com dois cascos (informalmente chamados de "bananas"), com propulsão através de motores, velas, ou mesmo um híbrido entre os dois tipos. O grande diferencial deste modelo é sua elevada estabilidade em relação às embarcações de um único casco (monocasco), mesmo que em um comparativo entre as velocidades dos dois tipos geralmente ocorra que as embarcações de casco único levem vantagem. A Figura 1 mostra a comparação entre as perturbações em serviço nos dois tipos de cascos.

Figura 1 – Comparativo entre perturbações em catamarãs e monocascos.

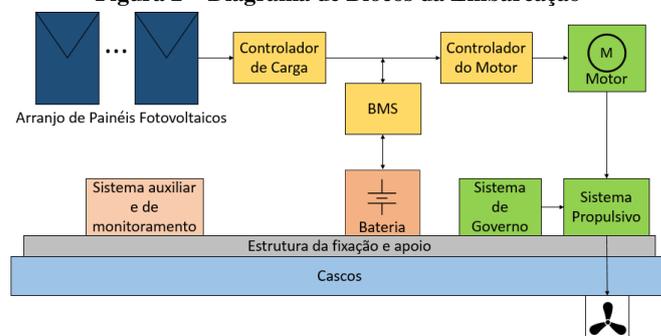


A origem deste modelo é alvo de dúvidas, pois alguns historiadores dividem-se entre a autoria de Nathanael Herreshoff (em meados do século XIX) e entre os polinésios, na época das Grandes Navegações. Modelos de catamarãs mais recentes destacam-se por sua extrema segurança, baseada em intensos cálculos específicos de estabilidade, por demasiado conforto em viagem e por não ocorrerem adernamentos em serviço, apenas “caturradas” (oscilações ocorrentes quando o barco imerge na popa ou na proa). Outra característica dos catamarãs é que caso emborquem não retornam naturalmente à sua posição inicial, ao contrário do que ocorre com os monocascos. No entanto o emborcamento total de um catamarã é um fenômeno extremamente difícil de ocorrer, sendo necessária uma falha grotesca no projeto da embarcação (STABILITY YACHTS, 2010).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A embarcação pode ser dividida em três partes: sistema elétrico, mecânico e naval. O sistema elétrico é formado pelos painéis solares, controlador de carga, bateria e motor elétrico, além do sistema auxiliar e de segurança. O sistema mecânico é formado pelas estruturas de fixação e apoio e pelo sistema de governo. O sistema naval é formado pelos dois cascos e pelo sistema propulsivo. A Figura 2 mostra o diagrama em blocos da embarcação:

Figura 2 – Diagrama de Blocos da Embarcação



- Painéis Fotovoltaicos - São dispostos na embarcação tendo como principal função a captação da energia solar e realizar o processo de conversão para energia

elétrica enviando essa energia para a próxima etapa do circuito que consiste na estabilização dos níveis de tensão no controlador de carga.

- MPPT (*Maximum power point tracking*) - É um tipo de controlador de carga que possui um conversor DC-DC onde têm como função o controle de tensão entregue ao banco de baterias, funcionando como proteção e controle dessa tensão de armazenamento além de extrair a máxima potência possível dos painéis.
- Baterias - São os elementos básicos do sistema, pois é onde será armazenada a energia que alimentará o motor dando a propulsão necessária à embarcação na ausência de sol ou em momentos em que se exigir mais potência no sistema.
- BMS (*Battery Management System*), Sistema de gerenciamento de bateria - É qualquer sistema eletrônico com função de controlar a bateria recarregável de modo a permitir que a mesma opere em sua região segura sem causar danos prolongando sua vida útil.
- Motor - É o equipamento responsável pela propulsão do barco, buscando sempre ter o maior rendimento possível para assim entregar o máximo de potência, visando movimentar a embarcação de forma eficiente e segura.
- Controlador do Motor - Para poder operar, o motor necessita de um circuito eletrônico que realiza a operação de chaveamento baseado na informação do posicionamento do rotor e também da montagem dos ímãs.
- Sistema auxiliar e monitoramento - É o conjunto de elementos que visam a segurança do piloto e o controle de alguns parâmetros que garantem o bom funcionamento do sistema como um todo.
- Sistema de governo - É baseado em cabos e polias de forma que o piloto da embarcação consiga mudar sua direção com precisão e segurança. Ao mover o timão para boreste a rabeta se direciona para bombordo. Cabos presos no cockpit transmitem o movimento.
- Sistema propulsivo - Composto por rabeta e hélice. A rabeta transporta a potência do motor elétrico para o hélice de forma eficiente e confiável, contando com uma redução, design hidrodinâmico e acoplamento na estrutura de fixação. O hélice é um conjunto de pás ligadas ao eixo da rabeta que converte a saída do motor em empuxo.
- Estrutura de fixação - Mantém ambos os cascos alinhados, suporta as cargas geradas pela água, acomoda a rabeta e acopla as placas solares de forma estável e segura.
- Cascos - Feitos de fibra de vidro, seguem os padrões determinados pela organização do evento.

a. PAINEL FOTOVOLTAICO

O painel ou módulo fotovoltaico é um conjunto de células fotovoltaicas montadas em uma estrutura rígida e conectadas eletricamente. Uma célula é o dispositivo básico que produz

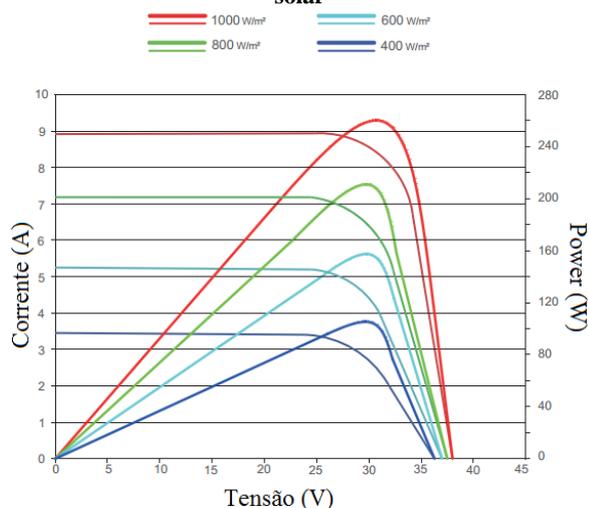
pouca energia e possui uma tensão elétrica muito baixa, por isso a necessidade de associação de várias células em série e paralelo para aumentar a tensão e a corrente elétrica respectivamente (VILLALVA & GAZOLI, 2012). A célula é formada por materiais semicondutores no qual pode-se destacar o silício, a geração de eletricidade ocorre pelo efeito fotovoltaico onde a excitação dos elétrons na presença de luz solar, gerando uma diferença de potencial entre as camadas P e N que ao fechar o circuito produz-se corrente elétrica (AGÊNCIA..., 2005). O painel solar que será utilizado no projeto é da marca JinkoSolar modelo JKM260P de silício poli cristalino doado para as equipes competidoras do Desafio Solar Brasil 2015, suas especificações são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações do painel fotovoltaico.

Fabricante	JinkoSolar
Modelo	JKM260P
Tipo de célula	Silício Policristalino 156x156 mm
Número de células	60 (6x10)
Dimensões	1650x992x40 mm
Massa	19,0 kg
Cabos de saída	TUV 1x4,0 mm ² , comprimento: 900 mm
Potência máxima (Pmax)	260 Wp
Tensão de máxima potência (Vmp)	31,1 V
Corrente de máxima potência (Imp)	8,37 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	38,1 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	8,98 V
Eficiência	15,58%
Temperatura de operação	-40°C~+85°C
Tensão máxima do sistema	1000 VDC
Corrente do fusível	15 A

O barco utilizará 4 painéis que totalizam 1040 Wp e serão ligados 2 em série que ficarão em paralelo com os outros 2 para obter uma tensão na ordem de 60V que permitirá carregar o banco de bateria em 57,6 V. Um módulo fotovoltaico não apresenta um comportamento linear como uma fonte de tensão contínua comum pois ele não possui uma tensão de saída constante, ela varia conforme a corrente elétrica que depende da carga conectada aos seus terminais (VILLALVA & GAZOLI, 2012). Na Figura 3 é mostrado as curvas I-V do painel solar que será utilizado para diferentes valores de incidência solar e suas respectivas curvas de potência.

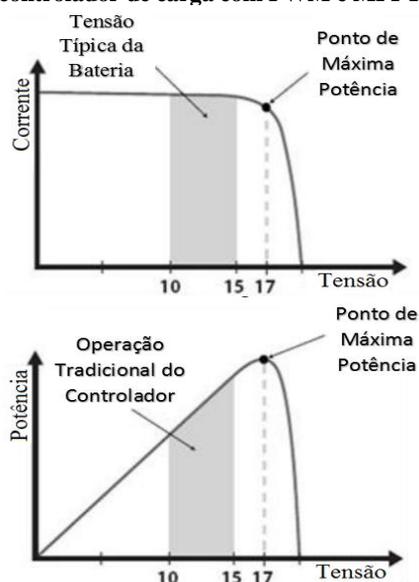
Figura 3 – Curvas Corrente-Tensão e Potência-Tensão do painel solar



b. CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é um dispositivo de grande importância em sistemas fotovoltaicos isolados pois faz uma conexão entre o painel fotovoltaico e o banco de baterias de modo que possa carregar de maneira adequada o banco de baterias protegendo-o contra sobrecargas ou descargas excessivas e prolongando a sua vida útil (PINHO & GALDINO, 2014). Existem dois tipos principais de controladores de carga: PWM (*Pulse Width Modulation* - modulação de largura de pulso) e MPPT (*Maximum Power Point Tracking* - rastreamento do ponto de máxima potência), ambos utilizam transistores e circuitos eletrônicos que fazem o controle preciso das correntes de carga da bateria por meio de chaveamento. Mas o MPPT possui um converso CC-CC que permite utilizar diferentes valores de tensão para a entrada e a saída fazendo com o painel trabalhe em seu ponto de máxima potência, melhorando a eficiência do sistema, mas possui um preço mais elevado que o PWM. A Figura 4 mostra a comparação das duas tecnologias.

Figura 4 – Curvas Corrente-Tensão e Potência-Tensão do controlador de carga com PWM e MPPT.



Devido a maior eficiência o controlador de carga do tipo MPPT foi a tecnologia escolhida para ser utilizada no projeto, o modelo que escolhido para compra será o IT4415ND da série ITracer da marca EPSolar, suas especificações são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Especificações do controlador de carga.

Fabricante	EPSolar
Modelo	IT4415ND
Tensão nominal do sistema	12/24/36/48 V automático
Corrente da bateria	45A
Tensão máxima de circuito aberto	150V
Máxima potência dos painéis	2400W (48V)
Terminais	25mm ²
Peso	4,6kg

c. SISTEMA DE BATERIAS

Baterias são dispositivos acumuladores de energia que consistem de uma ou mais células eletroquímicas. Estas células são compostas por dois eletrodos, sendo um positivo (catodo) e outro negativo (anodo), o meio onde ocorre a reação química, geralmente espontânea, é chamado de eletrólito.

Existem vários tipos de acumuladores, dentre os mais empregados está o de Chumbo-ácido (Pb-ácido) devido ao seu baixo custo em relação aos outros tipos mais modernos, como Níquel-Cádmio (NiCd), Níquel-hidreto metálico (NiMH), íon de Lítio (Li-ion), entre outros. Dos tipos de acumuladores citados o que apresenta mais vantagens é o de íon de Lítio, dentre suas principais características são: maior eficiência, maior densidade de energia, maiores ciclos de carga e descarga e maior profundidade de descarga, por outro lado tem um custo mais elevado (PINHO & GALDINO, 2014).

Para definir as baterias é levado em consideração o edital da competição do desafio solar brasil que tem como parâmetro principal a energia total do sistema de baterias da embarcação em 1,5kWh e tensão não superior à 60Vcc.

Levando em consideração os parâmetros descritos, o tipo de célula selecionada foi de LiFePO₄ (Lítio Ferro Fosfato) por apresentar melhores características em relação aos outros tipos de células, o modelo adotado foi: Headway 40152S. A Tabela 3 demonstra as principais características desta célula:

Tabela 3 – Especificações da célula de bateria.

Capacidade nominal de descarga (Ah)	15 @ 0.5C
Máxima descarga de corrente (contínuo)	5C
Máxima descarga de corrente de pico (30 segundos)	10C
Carregamento máximo	3C
Tensão máxima da célula (V)	3.65±0.05
Tensão nominal da célula (V)	3.2
Tensão mínima da célula (V)	2.0
Ciclo de vida (80%)	2000
Auto-descarga (30 dias)	2-3%

Resistência interna (mΩ)	<6
Temperatura de operação em carregamento (°C)	0 até 45
Temperatura de operação em descarregamento (°C)	-20 até 60
Densidade de energia (Wh/kg)	100
Massa (g)	480

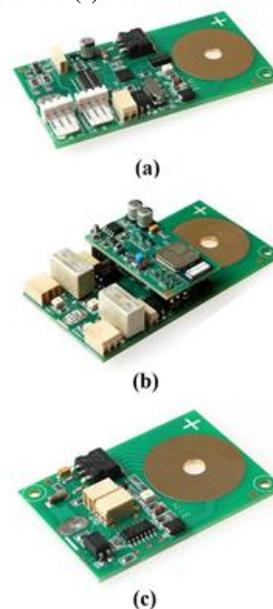
O arranjo de células que formará o banco de baterias é composto por 16 filas de células em série e 2 dessas filas em paralelo, em outras palavras, um arranjo 16S2P, quando células de baterias são colocadas em série a tensão resultante é a soma das tensões nominais de cada célula, com isso, o sistema terá uma tensão nominal de 51,2V. Quando células de bateria são colocadas em paralelo as suas capacidades nominais são somadas, então o arranjo final terá 30Ah. A capacidade de energia do arranjo é o produto da sua tensão nominal com a sua capacidade nominal, então tem-se que a capacidade de energia resultante é de 1536 Wh, ultrapassando o total regulamentado em 36 Wh, segundo o edital do Desafio Solar Brasil os participantes flagrados com uma bateria instalada com energia acima da capacidade permitida receberão um tempo de penalização. Esse tempo de penalização será de 1 minuto por etapa para cada ponto percentual de excesso em relação à energia máxima permitida, neste caso o excesso seria de 2,34% que representa uma penalidade 2 min e 20s por etapa. Para que a penalidade não seja aplicada, será realizada a limitação da energia e assim a sua adequação às regras da competição, isso será feito com auxílio do sistema de monitoramento de bateria (BMS).

d. BMS

BMS (*Battery Management System*) é um dispositivo de controle que faz o monitoramento das células individualmente, geralmente é empregado em baterias de Li-íon e tem como finalidade proporcionar segurança contra sobrecarga, descarga excessiva, sobrecorrente, curto-circuito, altas temperaturas e tensões elevadas (PINHO & GALDINO, 2014), tendo em vista que células do tipo Li-íon quando não monitoradas podem oferecer risco de explosão ou incêndio.

Para o monitoramento das células de bateria o BMS selecionado foi o modelo: GWL/Power 123 Smart BMS, onde o monitoramento é feito por meio de placas ligadas nos terminais das células e nos extremos do arranjo por placas de entrada e de saída, onde a de saída é equipada com um sistema de comunicação bluetooth, mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Placas do BMS: (a) Módulo de entrada, (b) Módulo de Saída e (c) Módulo Intermediário.



e. MOTOR

O motor elétrico é uma máquina capaz de converter energia elétrica em mecânica pelo princípio do eletromagnetismo, existem vários tipos de motores elétricos, de corrente alternada ou contínua e com ou sem escovas (*brushless*). Para o projeto foram estudados inúmeros tipos e modelos de motores utilizados em veículos elétricos e o que melhor se encaixou em nossos requisitos foi o motor de corrente contínua sem escovas (BLDC – *brushless direct current*) da marca Golden Motor modelo HPM5000B de 48V.

O motor BLDC possui um rotor de ímã permanente que elimina a necessidade de alimentação do mesmo e que estabelece o campo magnético principal da máquina e um estator bobinado e alimentado por 3 fases por meio de um controlador que faz um chaveamento eletrônico baseado na informação da posição do rotor por meio de sensores de efeito Hall. O fluxo magnético gerado pelo ímã permanente do rotor interage com o fluxo criado pelas correntes nas bobinas do estator buscando se alinhar com o mesmo e assim gerando um torque eletromecânico que faz o eixo girar, o controlador inverte a polaridade dessas correntes ao longo de sua operação em uma ordem sequencial de acordo com a posição angular do rotor garantindo assim um conjugado constante (SIQUEIRA & ANDRADE, 2008).

Devido à ausência de escovas, o motor exige uma manutenção periódica menos frequente e diminui o risco de falhas, diminui também o ruído, elimina a presença de faíscas e arcos elétricos e possui uma vida útil prolongada (VALLE, 2013). Ele também possui uma eficiência bastante elevada por não haver gasto de energia para a excitação do rotor e nem perdas por fricção eliminando também as interferências eletromagnéticas de baixa frequência, com o seu volume reduzido e facilidade de refrigeração esse motor se torna a melhor escolha para a propulsão da embarcação. Mas em contrapartida há um custo elevado devido principalmente à necessidade de um sistema de controle caro e complexo e

dificuldade de encontra-lo no mercado nacional. Na Tabela 4 há algumas especificações do motor.

Tabela 4 – Especificações do motor.

Fabricante	Golden Motor
Modelo	HPM5000B
Tensão	48V
Potência Nominal	5kW
Eficiência	91%
Resistência por fase	6,2mΩ
Indutância por fase	68μH
Peso	11kg

f. CONTROLADOR DO MOTOR

O controlador do motor é um dispositivo eletrônico que realiza o controle de potência do motor por meio da variação da corrente elétrica que alimenta as bobinas do estator. Este controle é realizado por meio de chaveamento eletrônico de MOSFETS de alta potência comandados por um microprocessador de acordo com a posição do rotor que é determinado pelos sensores de feito hall. O controlador escolhido é feito especialmente para os motores da Golden Motor e modelo é VEC300-48, suas especificações são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Especificações do controlador do motor.

Fabricante	Golden Motor
Modelo	VEC300 - 48
Tensão	48V
Corrente máxima	200A
Potência máxima	10kW
Modo de controle do motor	FOC
Peso	2.5kg
Método de operação	Controle Direto de Torque

O controlador da Golden Motor utiliza o método FOC (*Field Oriented Control/ Sine Wave* – controle de campo orientado com onda senoidal) que consiste em orientar o campo magnético do estator para ficar perpendicular com o campo do rotor maximizando o torque do rotor, ele utiliza um algoritmo que faz que sejam produzidas correntes trifásicas com ondas senoidais. Esse controlador possui o controle direto de torque, partida suave, freio regenerativo, excelente performance de aceleração principalmente em baixa velocidade e é bastante silencioso. É possível programá-lo para monitorar e controlar diferentes parâmetros de acordo com as necessidades, como velocidade de cruzeiro e rotação máxima no eixo.

g. SISTEMA AUXILIAR E DE MONITORAMENTO

O regulamento da competição exige alguns dispositivos que irão garantir a segurança do piloto, um dos principais é o *Dead Man's Switch*. Conhecido também como chave corta corrente é um equipamento que fica preso ao colete do piloto, e caso ele saia do barco voluntariamente, ou não, é desconectado, acionando o relé e desligando o motor imediatamente.

Outros desses dispositivos são as bombas de porão e os *float switches*. De acordo com o regulamento, estes devem ser colocados nos compartimentos onde hajam equipamentos elétricos e também na cabine do piloto. Podem ser ligadas a uma bateria extra e também devem ter uma capacidade de bombeamento mínima de 1500 litros por hora. As bombas podem ser acionadas manualmente, no painel do piloto, mas também precisam ligar automaticamente por meio dos *float switches*, que serão ativados assim que a água nos compartimentos chegar a uma certa altura, o dispositivo flutua, acionando o relé que liga as bombas.

Também é regulamentado um sistema de ventilação para as baterias com uma capacidade mínima de 0,3 m³/min. Este deve estar operante a todo momento desde a conexão da bateria à embarcação e seu objetivo é não permitir o aquecimento do banco de baterias e a evacuação de gases proveniente da mesma.

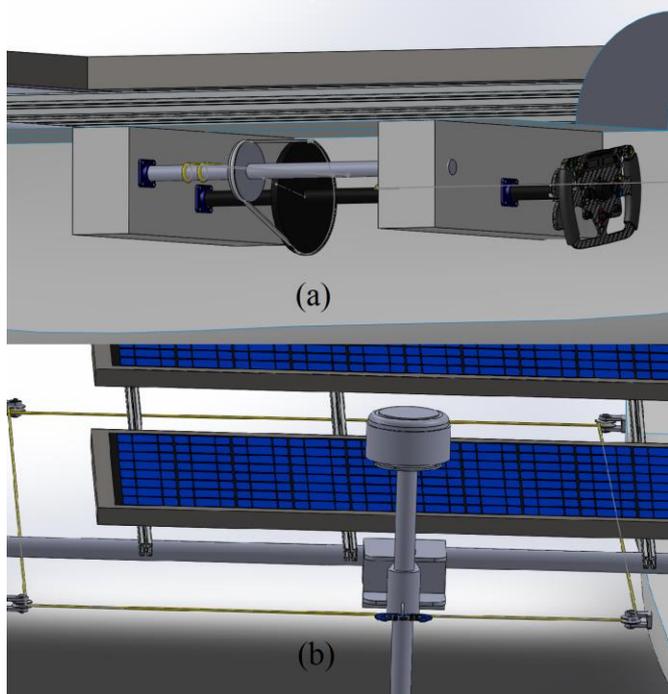
No painel do piloto haverá um tablet com o aplicativo do BMS que estará conectado ao mesmo via bluetooth, onde será possível monitorar em tempo real o estado de carga das baterias, a potência fornecida pelos painéis solares e a potência consumida pelo motor. Junto com a distância percorrida e a velocidade que serão fornecidos pelo GPS a bordo, serão feitos cálculos em terra buscando determinar a potência adequada do motor para que se possa completar a prova no menor tempo possível sem descarregar as baterias por completo.

h. SISTEMA DE GOVERNO

O sistema de governo promove ao piloto total controle da direção e velocidade da embarcação, com manobrabilidade ergonômica, suave e precisa. O sistema conta com um timão pequeno, um mecanismo amplificador de rotação, um mecanismo de transmissão de movimento corda-polia e por fim a amarração na rabeta. Este foi ainda, inteiramente projetado para ser realizado em baixo custo.

O timão de fabricação caseira é acoplado a um eixo principal instalado em rolamentos esféricos. Fixado ao eixo principal encontra-se a coroa maior do sistema de amplificação que é composto de dois eixos, duas coroas e uma corrente. A coroa maior rotaciona na mesma velocidade angular que o volante, no entanto uma correia transmite o movimento à segunda coroa, de raio menor e fixada ao eixo secundário, que por sua vez, terá uma velocidade angular superior. Também fixadas ao eixo secundário estão duas cordas de comprimento rígido, cuja amarração ao eixo caracteriza o sentido do movimento transmitido ao direcionamento da rabeta. As cordas são presas em sentidos opostos na rabeta e amarradas no eixo secundário de modo que, quando o eixo rotacionar no sentido horário, uma das cordas será tensionada enquanto a outra ficará folgada e vice-versa. Ambas as cordas são fixadas em uma alça na ponta da rabeta de modo que se proporcione giro durante os processos e tração e folga.

Figura 6 – (a) Volante e mecanismo amplificador de rotação. (b) Mecanismo de transmissão de movimento corda-polia e amarração na rabeta.

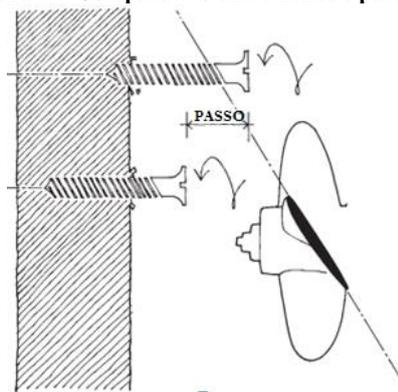


i. PROPULSORES

A origem dos hélices data-se do início do século 19, quando uma adequada forma de aproveitar potência (barcos à vapor) foi feita de forma a ser produzido um sistema propulsivo inovador para a época. O hélice converte a saída do motor em empuxo, pela rotação, e este se equilibra com a resistência da embarcação ao trafegar-se em determinada velocidade. Normalmente, as revoluções do motor são muito altas para diretamente acionar-se o hélice, e, portanto o RPM do motor deve ser reduzido através de um sistema precisamente projetado (HEPPERLE, 2003).

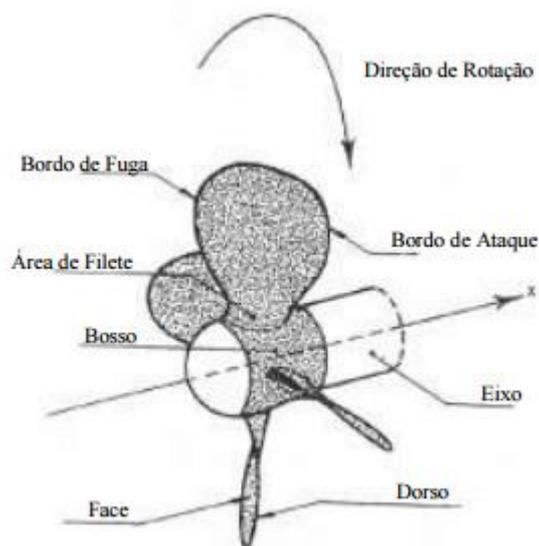
Um hélice constitui-se basicamente em um acoplamento ao eixo e uma série de lâminas que podem ser facilmente comparadas às asas de um avião. Para explicar os princípios, pode-se comparar a hélice com um parafuso de madeira padrão, vide Figura 7. Uma revolução do parafuso resulta num movimento para frente, o que se compara com a inclinação do parafuso. Analogamente, o hélice tem um passo que pode ser relacionado com o ângulo da sua pá, onde na figura tanto o hélice quanto o parafuso possuem o mesmo passo. Um hélice não vai funcionar em um meio sólido, a água, por exemplo, é um meio líquido. Um ventilador de mesa é um exemplo de um hélice, e permanece no lugar mesmo impulsionando ar para frente (PASSOS, 2013).

Figura 7 – Comparativo entre hélice e parafuso.



O hélice se move através da água com determinada velocidade média, mas o fluxo de água muda em certas partes do propulsor. Sabe-se que em regiões onde o fluxo de água recebe mais pressão, a velocidade é menor e vice versa. A Figura 8 mostra as partes de um hélice. No ponto de estagnação do bordo de ataque, o fluxo obrigatoriamente deve possuir menor pressão, já que a velocidade neste ponto do hélice deve ser mais elevada, tendo em vista que “cortar água” demanda rapidez no processo. No entanto, ao longo do corpo das pás do hélice o campo de pressão do escoamento varia de forma que no bordo de fuga a velocidade do fluxo não é tão elevada quanto a do bordo de ataque, gerando assim uma diferença de pressão ao longo do corpo da pá.

Figura 8 – Partes de um hélice.



Quando não são tomadas as devidas precauções, a mal-projetada combinação entre o passo do hélice e a quantidade de revoluções do mesmo pode fazer com que muitas bolhas de vapor (já que a temperatura necessária para a vaporização da água seja baixa em ambientes onde a pressão também é baixa se comparada ao nível do mar) se formem nas regiões com mais velocidade e vão viajando próximas ao corpo do hélice, finalmente implodindo ao serem submetidas a maiores pressões, como mostrado na Figura 9. Este fenômeno é chamado de cavitação, e devem ser feitos procedimentos afim de conhecer o quanto o hélice em questão cavitará, sendo esta análise feita após a obtenção dos dados do hélice através de

séries de ensaios previamente realizados. Pouquíssimos hélices na história da propulsão possuem zero cavitação, pois foram feitos para funções cirurgicamente precisas, operando em baixas rotações também, fator este que pode colaborar para a redução de cavitação, embora hajam modelos de baixa rotação que também cavitam. O objetivo da equipe era fazer com que este fenômeno ocorresse em taxas baixíssimas, respeitando os padrões que já existem na propulsão naval, jamais ultrapassando os 5% de cavitação.

Figura 9 – Processo de formação de bolhas na cavitação



Os dados geométricos do hélice foram obtidos através de leituras da série Wageningen B-Series (popularmente conhecidas como “Série B” ou “B-Troost”) e as análises de cavitação foram feitas utilizando o Diagrama de Burrill. Ao todo serão feitos cinco hélices: três para cada prova de percurso normal, uma para a prova de Sprint e um alternativo para casos de pouco sol. Tal diversidade em hélices permite que se tenha maior aproveitamento de energia em cada prova, já que cada hélice foi projetado para operar em velocidades pré-definidas, calculadas previamente.

j. ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO

As estruturas de fixação têm como objetivo: manter os dois cascos unidos de forma segura, evitar problemas de torção não desejados, servir de apoio para os painéis fotovoltaicos e acomodar a rabeta. O barco poraquê teve seu cálculo estrutural dimensionado para suportar as mais adversas condições, tendo em vista a segurança do piloto. O número de barras que ligariam os cascos foi escolhido de forma a deixar o casco com menor massa e com estética visualmente melhor, mas sempre preservando a segurança.

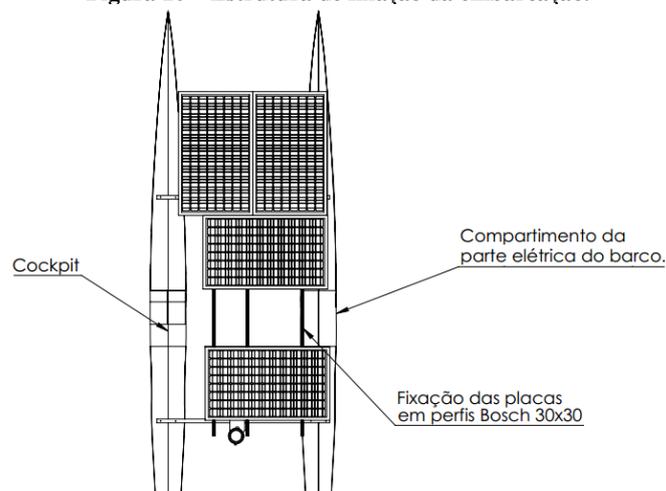
Primeiramente foram analisadas as forças que se seriam exercidas nas barras, para depois se analisar o perfil das mesmas e logo suas dimensões. Não é interessante para a equipe que ocorram grandes deslocamentos verticais entre os cascos, pois dessa forma, as estruturas sofreriam cargas maiores fragilizando a embarcação. É sabido que as estruturas também devem suportar compressões e trações que podem vir a ser causadas em enfrentamentos a ondas. Por último, é de grande destaque o momento torsor gerado pelo motor à medida que o hélice impulsiona o casco e este adquire velocidade. Como a equipe escolheu uma malha com duas barras de função primeiramente estruturais de ligação, e sendo uma delas o berço do motor, esta barra previamente posicionada a 1m da popa, deve aguentar um esforço cortante gerado pelo peso do motor e um esforço de torção.

Após a análise das cargas, foi constatado que o maior esforço, em condições normais, sofrido pelas barras será o

torque gerado pelo motor. Para resolvermos a problemática do torque, foi escolhido o perfil circular para as estruturas, após essa escolha, o próximo passo seria dimensioná-las de modo a suportarem os devidos torques e cargas que foram apresentadas no estudo. Sabemos que para um projeto bem-sucedido a escolha do material é algo crucial, logo a escolha criteriosa previa que este deve apresentar ótimos limite de escoamento, resistência máxima a cisalhamento e uma alta resistência a corrosão em água do mar. Após alguns cálculos, o alumínio naval (6261) com tempera t6 foi o material escolhido e suas dimensões seriam duas barras cilíndricas vazadas de 2 polegadas de diâmetro externo com 3 mm de espessura, a primeira barra teria comprimento de 2.10 metros e sua posição em relação a popa seria de 1m, a segunda barra se dispõe logo à frente do cockpit (4m em relação a popa). Todas as barras apresentam 4 parafusos de fixação com diâmetro de 10 mm, isso impede que estas saiam de posição.

Além dessas barras, existem pequenos reforços que são 4 cantoneiras perfil Bosch de 30x30mm de perfil, com 4 metros de comprimento cada, estas estão localizadas perpendicularmente as barras de fixação e sua função é primordialmente de apoio aos módulos fotovoltaicos, esses perfis foram escolhidos devido a facilidade de fixação do módulos, sem necessidade de fazer furos nos mesmos e ainda permitiram ágil troca de posicionamento durante as provas, precisando somente deslizadas os painéis pelo perfil. A Figura 10 mostra o projeto da estrutura de fixação.

Figura 10 – Estrutura de fixação da embarcação.



k. CASCOS

O catamarã “Poraquê” consiste num modelo com todos seus coeficientes de forma e aspecto geométrico pré-definidos pela organização do DSB e pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Aspectos do barco já estão presentes no memorial descritivo do modelo padrão, sendo a única variável a ser livremente modificada pela equipe é a boca máxima, ou seja, a distância máxima entre os lados externos entre ambas as bananas, sendo esta igual a 2,40 m. No caso específico do barco Poraquê, o qual possuía um deslocamento de aproximadamente 0,390 m³, foi-se utilizada uma distância total de 2.29 metros.

Uma reforma completa foi feita no casco, tendo em vista que trata-se de um modelo originalmente construído em

2009, afim de reparar imperfeições e numerosos desgastes. Feito isso, ocorreu um serviço de envelopamento (adesivagem) completo ao longo de todos os dois cascos, tornando-os assim prontos e em excelentes condições de competitividade novamente. A Figura 11 mostra os cascos após os reparos e envelopamento.

Figura 11 – Cascos do barco Poraquê.



IV. RESULTADOS

O barco Poraquê obteve um bom desempenho no Desafio Solar Brasil 2016, ficando na sexta posição de doze embarcações da classe catamarã, atingindo uma velocidade de 9 nós com vento a favor. Devido a problemas técnicos, a equipe completou apenas duas provas, ficando em primeiro na prova de 5,7 milhas náuticas e em segundo lugar na prova de 4 milhas náuticas. Além disso a embarcação ficou mais pesada que o esperado devido à utilização de baterias de chumbo ácido em vez de LiFePo4 e por causa das caixas de madeira utilizadas para abrigar os componentes do sistema elétrico. O sistema propulsivo foi o fator limitante na velocidade máxima da embarcação, pois a rabeta adquirida pela equipe limitava o hélice em 20 cm de diâmetro, inferior ao projetado para atingir velocidades superiores à 10 nós. Além disso o consumo não passava de 2,5 kW, metade da potência nominal do motor. A Figura 12 mostra o barco Poraquê durante a prova que ficou em segundo.

Figura 12 – Barco Poraquê no DSB 2016.



V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de construção do Barco Solar da equipe Leviatã iniciou no final de 2014 e após um ano de planejamento e construção da embarcação, a equipe participou do Desafio Solar Brasil 2015. O desempenho da equipe foi muito bom considerando que foi a primeira participação da equipe, a embarcação conseguiu completar seis das sete provas e terminou na nona posição na classe catamarã a frente de duas outras embarcações. Além disso a equipe ganhou os prêmios de melhor banner, melhor vídeo promocional e equipe mais guerreira. A embarcação obteve uma velocidade média de aproximadamente 3 nós, considerada a velocidade mínima para completar as provas, devido ao peso elevado da embarcação e a baixa potência do motor.

A equipe conseguiu superar uma série de desafios para se tornar a primeira equipe da região norte a competir no Desafio Solar Brasil, além de ter construído a primeira embarcação universitária movida inteiramente por energia solar da história do Amazonas. Com a dificuldade em se conseguir patrocínio a equipe teve que fazer eventos para arrecadar dinheiro além de tirar aporte financeiro do próprio bolso por meio de mensalidades. A logística foi bastante complicada devido à distância de 4000 km, exigindo que o barco fosse desmontável para ser transportado de avião.

O projeto propiciou a interdisciplinaridade entre os alunos dos cursos de engenharia e permitiu o desenvolvimento acadêmico e técnico dos envolvidos, além disso durante a competição ocorreu uma grande troca de conhecimento e experiências que foram enriquecedoras e permitiram o crescimento não apenas profissional dos participantes, mas também o pessoal.

Em sua segunda participação a equipe ganhou novamente os prêmios de melhor banner e melhor vídeo, além do prêmio de Equipe Darwin, devido à evolução que a equipe obteve em um intervalo de um ano, sendo capaz de triplicar a sua velocidade máxima. Para o ano de 2017 pretende-se melhorar o sistema propulsivo, utilizar as baterias de LiFePo4 e utilizar materiais mais leves e resistentes para reduzir o peso da embarcação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade do Estado do Amazonas e as empresas QLuz Solar, IonTech, BA Elétrica e Comercial IDM, além da Família Toledano pelo apoio ao projeto.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de energia elétrica do Brasil. 2 ed. Brasília: ANEEL, 2005. 243 p, il.
BRASÃO, L. C. et al. Acionamento do motor de corrente contínua a ímã permanente sem escovas em regime permanente utilizando estratégia a quarto chaves. Anais: XIX Congresso Brasileiro de Automática. Campina grande: UFCG, 2012.

- CABRAL, A.S. et al. Desafio Solar Brasil 2013: Ferramentas de Ensino e Promoção de Fontes Renováveis de Energia. Anais: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Juiz de Fora: UFJF, 2014.
- DANIELAK, S. et al. INDIANA UNIVERSITY, Purdue University Fort Wayne. Bidirectional DC-DC Converter Drive System for Electric Vehicle, 2014.
- EPSOLAR. Operation Manual - ITracer Series.
- FUERBACK, A.L. ET AL. Sistema elétrico de propulsão para barcos de pequeno porte. Anais: VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. Rio de Janeiro: ANEEL, 2013.
- HEPPERLE, Martin. Timetable: Development of the Propeller, 2003. Disponível em: <<http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/prophist.htm>>. Acesso em: 27 de ago. 2016.
- HOHM, D. P.; ROPP, M. E. Comparative study of maximum power point tracking algorithms - Progress in Photovoltaics: Research and Applications. IEEE Transactions on Power Electronics, v. 11, pp. 47–62, 2003.
- JINKO SOLAR. Poly Crystalline Module. S.l., 2015.
- PASSOS, Rafael. SELEÇÃO DE PROPULSORES EM SITUAÇÕES GENÉRICAS DA ENGENHARIA NAVAL. UFRJ, 2013. Disponível em <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005688.pdf>>
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. 1 ed. Rio de Janeiro: CEPTEL, 2014. 530 p.
- SILVA, G.G. et al. Desenvolvimento do barco solar da IFSC. Revista Ilha Digital, v.4, p. 91-96, 2013.
- SIQUEIRA, D. S; ANDRADE, D. A. Projeto e simulação da operação de um motor de corrente contínua sem escova. Anais: XII – Seminário de Iniciação Científica. Uberlândia: UFU, 2008.
- VALLE, R. L. UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. Acionamento de um motor síncrono de ímãs permanentes sem escovas visando aplicação em veículos elétricos, 2013. 146p, il. Dissertação (Mestrado).
- VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações. 1 ed. Érica, 2012. 224 p.
- YACHTS, Stability. Catamarans history, [2005-2008]. Disponível em: <<http://www.stabilityyachts.com/Catamarans.html>>. Acesso em: 26 de ago. 2016.