

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

FÁBIO ABIDON WESEN

**DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO DE PREVISÃO E OTIMIZAÇÃO DE
DESEMPENHO DE UMA EMBARCAÇÃO SOLAR DO TIPO CATAMARÃ
VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Manaus/AM
2018

FÁBIO ABIDON WESEN

**DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO DE PREVISÃO E OTIMIZAÇÃO DE
DESEMPENHO DE UMA EMBARCAÇÃO SOLAR DO TIPO CATAMARÃ
VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Pesquisa desenvolvida durante a Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Dr. Daniel Guzmán Del Rio

Manaus/AM
2018

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

Cleinaldo de Almeida Costa

Vice-Reitor:

Cleto Cavalcante de Souza Leal

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Roberto Higino Pereira da Silva

Coordenadora do Curso de Engenharia Elétrica:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Banca Avaliadora composta por:

Data da defesa: 11/12/2018.

Prof. Daniel Guzmán Del Rio (Orientador)

Profª. Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Prof. José Nilson Cordeiro de Oliveira

CIP – Catalogação na Publicação

Wesen, Fábio Abidon

Desenvolvimento de um algoritmo de previsão e otimização de desempenho de uma embarcação solar do tipo catamarã visando eficiência energética / Fábio Abidon Wesen; [orientado por] Daniel Guzmán Del Rio – Manaus: 2018.

71 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas, 2018.

1. Embarcação elétrica solar. 2. Otimização. 3. Eficiência Energética. Rio, Guzmán Del.

FÁBIO ABIDON WESEN

DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO DE PREVISÃO E OTIMIZAÇÃO DE
DESEMPENHO DE UMA EMBARCAÇÃO SOLAR DO TIPO CATAMARÃ VISANDO
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Nota obtida: _____ (_____)

Aprovada em ____/____/____.

Área de concentração: Eficiência Energética

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Daniel Guzmán Del Rio, *Dr.*

Avaliador: Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo, M. Sc.

Avaliador: José Nilson Cordeiro de Oliveira, M. Sc.

Manaus 2018

Aos meus pais, por toda dedicação, apoio e carinho necessários.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Daniel Guzmán Del Rio pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço imensamente a todos os integrantes da Equipe Leviatã, os quais foram primordiais para que este trabalho tivesse sentido. Em especial aos meus grandes amigos: Jhordan Oliveira, Carlos Chirano, José Venícius, Juan Lennon, Daniel Braga e Tássia Carolina por sempre escutarem as mais extravagantes ideias e sempre apoiarem as mais possíveis.

Agradeço pela grande ajuda na parte Naval deste trabalho ao Renato Oliveira, por sempre se mostrar solícito.

Agradeço aos meus amigos do curso, especialmente ao Paterson Prado e Dayane Aguiar por durante grande tempo termos enfrentado os mais diversos desafios do curso.

Agradeço especialmente à professora Ingrid Gadelha por sempre se importar com os mais diversos problemas e sempre trabalhar na solução deles.

Agradeço à Ana Paula pela compreensão, apoio e parceria, muito importantes para a conclusão deste trabalho.

Agradeço ao Adam Kevin, David Moura, Fábio Nascimento, Marcelo Dibo e todos meus amigos pelos ótimos momentos passados.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um algoritmo de previsão e otimização de desempenho de uma embarcação solar do tipo catamarã visando eficiência energética. O algoritmo é baseado na análise teórica do desempenho de uma embarcação solar catamarã para vários regimes de velocidade e consumo de energia. Por meio da utilização do *software* de modelagem e simulação naval *marxsurf* a curva de resistência ao avanço foi obtida, assim será possível prever o comportamento da embarcação nos mais variados cenários. O algoritmo considera a curva gerada pelo *marxsurf* e trabalha com uma lógica recursiva para otimizar o desempenho da embarcação baseada na distância a ser percorrida por esta. Foram realizados testes práticos com a aquisição dos dados de velocidade, tensão do banco de baterias, corrente drenada pelo motor e posição geográfica da embarcação a fim de se obter dados práticos para posteriormente compara-los aos teóricos, o resultado foi que o algoritmo conseguiu prever aproximadamente o desempenho prático da embarcação, assim o teste serviu para validar o algoritmo e ainda fomentar o melhoramento deste.

Palavras-chave: Otimização. Eficiência Energética. Embarcação Solar Catamarã.

ABSTRACT

The present work has the objective of developing an algorithm of prediction and optimization of the performance of a solar vessel of the catamaran type, aiming at energy efficiency. The algorithm is based on the theoretical analysis of the performance of a solar catamaran vessel for various speed regimes and energy consumption. Through the use of naval modeling and simulation software, the resistance curve to progress was set up, as well as it will be possible to predict the vessel's behavior in several scenarios. The algorithm the algorithm considers the curve generated by marxsurf and works with a recursive logic to optimize the performance of the transport in order to be covered by it. Practical tests were carried out for the acquisition of speed data, battery bank voltage, current drained by the engine and geographical position of the vessel in order to obtain practical data and then compare them to theorists, the result was that the algorithm was able to predict approximately the practical performance of the vessel, so the test served to validate the algorithm still foment it's improvement.

Keywords: Optimization. Energy Efficiency. Catamaran Solar Boat

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1 REFERENCIAL TEÓRICO	13
1.1 DESAFIO SOLAR BRASIL	13
1.2 BARCO SOLAR	13
1.2.1 Painel Solar	14
1.2.2 Controlador de Carga	16
1.2.3 Bateria	16
1.2.4 BMS	16
1.2.5 Motor	17
1.2.6 Controlador do Motor	18
1.3 AMBIENTES DE DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO	19
1.3.1 MATLAB	19
1.3.2 <i>Visual Studio Code</i>	19
1.4 RESISTÊNCIA AO AVANÇO	20
1.5 MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO POLINOMIAL DE LAGRANGE	21
2 MATERIAIS E MÉTODOS	23
2.1 MÉTODO PROPOSTO	24
2.2 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO DE MODELAGEM E OBTENÇÃO DO ALGORITMO	24
2.2.1 Curva De Resistência Ao Avanço	24
2.2.2 Eficiências Do Sistema Propulsivo	29
2.2.3 Parâmetros Elétricos Do Algoritmo	32
2.2.4 Fluxograma Lógico Do Algoritmo	36
2.2.5 Sistema De Aquisição De Dados	37
3 RESULTADOS OBTIDOS	41
3.1 RESULTADOS TEÓRICOS	41

3.2 RESULTADOS PRÁTICOS.....	44
3.3 COMPARAÇÃO DOS DADOS TEÓRICOS COM OS PRÁTICOS.....	45
CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS.....	48
APÊNDICE A - PONTOS FORNECIDOS PELO MAXSURF RESISTANCE.....	51
APÊNDICE B - SCRIPT DE INTERPOLAÇÃO DA CURVA DE EFICIÊNCIA DO MOTOR.....	52
APÊNDICE C - ALGORITMO DE PREVISÃO E OTIMIZAÇÃO DE AUTONOMIA..	54
APÊNDICE D - CÓDIGO DE GERAÇÃO DE GRÁFICOS E DE VERIFICAÇÃO DO ALGORITMO	57
APÊNDICE E - DADOS PRÁTICOS DE DESEMPENHO	60
ANEXO A - Especificações Técnicas do Painel Fotovoltaico (260 Wp).....	65
ANEXO B - Folha de testes do motor HPM5000B	66
ANEXO C - Especificações Técnicas da célula de bateria.....	67
ANEXO D - Folha de dados do Optoacoplador 4N25	69
ANEXO E - 123SmartBMS data out protocol.....	70

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, mas também para ser utilizada em veículos elétricos, aumentando a sua autonomia. Eventos como o Desafio Solar Brasil buscam maneiras de incentivar o desenvolvimento e integração de formas renováveis de energia em embarcações elétricas.

A finalidade deste trabalho é apresentar um algoritmo capaz de automatizar cálculos de desempenho, autonomia e otimização de uma embarcação movida a energia solar que participa do Desafio Solar Brasil.

Tem-se como tema o desenvolvimento de um algoritmo de previsão e otimização de desempenho de uma embarcação solar do tipo catamarã visando eficiência energética.

O Desafio Solar Brasil é uma competição de barcos elétricos movidos a energia solar que tem como principal objetivo descobrir qual embarcação consegue melhor gerir sua energia a bordo da maneira mais eficiente possível e assim terminar as diversas provas da competição no tempo mínimo sem que a bateria seja drenada por completo. Conhecer os parâmetros do sistema propulsivo é essencial para prever o desempenho da embarcação nas várias situações da competição, uma vez que os circuitos desta não são definidos com grande antecedência. Por isso há a necessidade de automatizar os cálculos de desempenho para definição de uma estratégia que será utilizada pelo piloto baseado no regime de consumo energético da embarcação.

Adotou-se como hipótese a possibilidade de desenvolver, utilizando modelagem matemática, um algoritmo capaz de prever e discriminar o ponto ótimo de desempenho de uma embarcação elétrica movida a energia solar em

vários regimes de descarga da bateria.

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver um algoritmo de previsão e otimização através da modelagem matemática, que forneça o ponto de máximo desempenho de uma embarcação solar do tipo catamarã para diversos regimes de descarga da bateria visando eficiência energética e ótimo funcionamento.

Dentre os objetivos específicos pode-se destacar:

- a) Realizar o levantamento bibliográfico das áreas relacionadas a pesquisa;
- b) Estudar os parâmetros pertinentes ao funcionamento de uma embarcação solar do tipo catamarã;
- c) Realizar uma modelagem matemática de um barco solar do tipo catamarã;
- d) Desenvolver um algoritmo para previsão de desempenho de um barco solar do tipo catamarã;
- e) Obter os dados práticos da embarcação para diversos regimes de descarga da bateria visando eficiência energética;
- f) Realizar a comparação do desempenho obtido teoricamente com o desempenho prático da embarcação.

O principal motivo para o desenvolvimento deste trabalho foi a necessidade de conhecer os parâmetros de desempenho da embarcação Poraquê da equipe Leviatã e a partir disso ser capaz de conhecer a velocidade ótima em cada percurso da competição Desafio Solar Brasil, visto que o sistema possui uma quantidade de energia limitada pela competição e conseguir gerir esses recursos eficientemente é de fundamental interesse para que a equipe possa chegar a ter bons resultados.

Um outro motivo que estimulou sua elaboração foi a sua interdisciplinaridade, pois a necessidade de conhecer os parâmetros da embarcação não envolve apenas grandezas de engenharia elétrica, mas também de mecânica e naval o que contribui para o crescimento técnico dos integrantes da equipe Leviatã.

Para a exposição dos assuntos abordados, de forma clara e objetiva, este trabalho está dividido em 4 capítulos, além das referências.

Capítulo I - Referencial Teórico: apresenta os componentes fundamentais de barco elétrico movido a energia solar, além de abordar sobre os ambientes de desenvolvimento e as ferramentas matemáticas necessárias

para a modelagem da embarcação.

Capítulo II – Materiais e métodos: descreverá detalhadamente os parâmetros da modelagem da embarcação além dos procedimentos realizados durante a implementação do projeto.

Capítulo III – Resultados Obtidos: apresentará os resultados obtidos ao decorrer do desenvolvimento da pesquisa.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

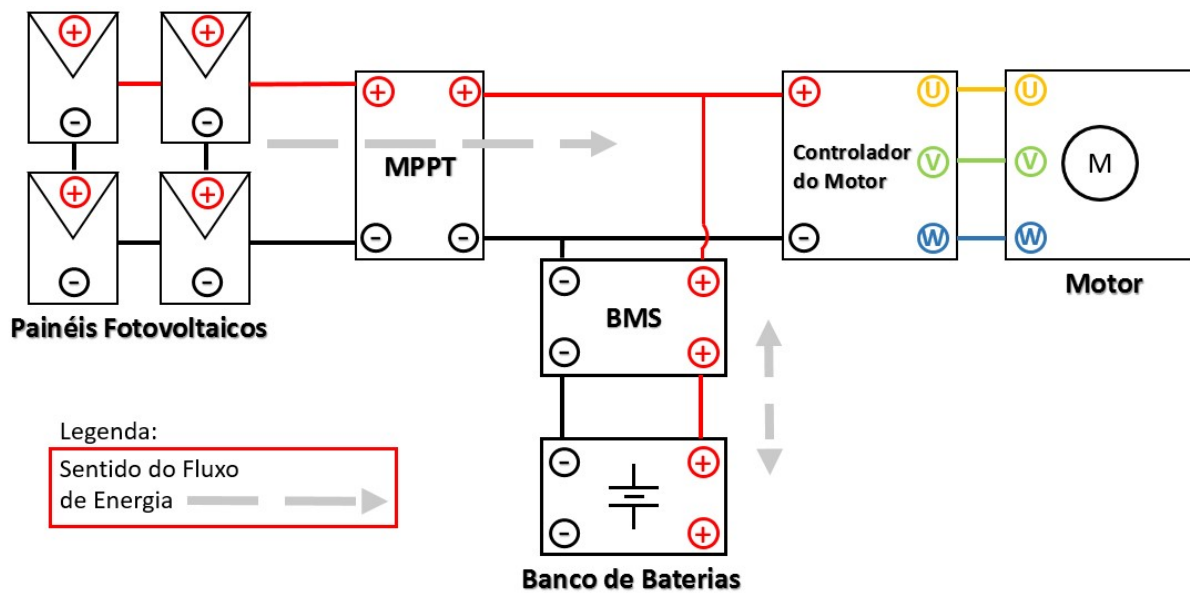
1.1 DESAFIO SOLAR BRASIL

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 e utilizar esse tipo de energia. A existência de competições entre universidades desperta a busca e troca por conhecimento tanto científico quanto prático, tendo como principal objetivo promover a integração entre alunos. Como se trata de uma competição as equipes devem atender diversas especificações contidas no regulamento e também principalmente 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, visando a eficiência do barco bem como o aproveitamento máximo de energia solar e seu armazenamento como na escolha das baterias, montagem do banco de baterias e escolha do motor. Esse tipo de evento promove uma integração entre os diversos cursos de Engenharia, onde os integrantes podem conhecer outros cursos de uma perspectiva diferente, do ponto de vista prático contribuindo da sua forma no projeto (CABRAL et al, 2014).

1.2 BARCO SOLAR

Um barco propulsionado por energia solar é formado por um conjunto de subsistemas e elementos que tornam possível a captura da energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos e seu armazenamento em elementos armazenadores específicos (SILVA, 2013). O diagrama de blocos do subsistema elétrico de uma embarcação solar pode ser observado na figura 1:

Figura 1- Subsistema Elétrico da embarcação



Fonte: Autor

Completando o sistema de uma embarcação ainda restam o subsistema mecânico que é responsável por transmitir a energia mecânica rotatória do motor até o hélice e o subsistema naval que é composto pela estrutura física da embarcação.

1.2.1 Painel Solar

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 há 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. O painel solar utilizado na embarcação é da marca JinkoSolar modelo JKM260P de silício poli cristalino doado para as equipes competidoras do Desafio Solar Brasil 2015, suas especificações, em condições padrões de teste, são mostradas na tabela 1.

Tabela 1 – Especificações do painel fotovoltaico em STC.

Fabricante	JinkoSolar
Modelo	JKM260P
Tipo de célula	Silício Poli cristalino 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 (P _{max})	260 Wp
Tensão de máxima potência (V _{mp})	31,1 V
Corrente de máxima potência (I _{mp})	8,37 A
Tensão de circuito aberto (V _{oc})	38,1 V
Corrente de curto-circuito (I _{sc})	8,98 V
Eficiência (η)	15,58%
Temperatura de operação	-40°C~+85°C
Tensão máxima do sistema	1000 VDC
Corrente do fusível	15 A

Fonte: Jinko Solar, 2014

Por meio das especificações fornecidas pelo fabricante é possível discriminar os principais parâmetros elétricos que caracterizam o módulo utilizado, as especificações completas do painel fotovoltaico utilizado estão no Anexo A. Segundo Pinho & Galdino (2014) os principais parâmetros de um painel fotovoltaico são:

- Tensão de potência máxima (V_{mp}): é a tensão elétrica que o módulo fornece quando está no ponto de máxima potência.
- Corrente de potência máxima (I_{mp}): é a corrente elétrica fornecida pelo módulo quando este trabalha no ponto de máxima potência. É considerada a corrente nominal do módulo fotovoltaico.
- Potência máxima (P_{max}): é a potência elétrica máxima que o módulo é capaz de fornecer ao sistema, ocorre apenas quando a irradiação solar é de 1000 W/m², distribuição espectral padrão para a massa de ar é de 1,5 e a temperatura da célula é de 25°C.
- Eficiência (η): É o parâmetro que define a efetividade do processo de conversão da energia solar em elétrica. Pode ser obtido a partir da razão entre a máxima potência da célula e o produto da área da célula com a irradiância solar incidente.

1.2.2 Controlador de Carga

O controlador de carga é um dispositivo de grande importância em sistemas fotovoltaicos isolados, pois é responsável pela 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: *Pulse Width Modulation* (PWM) - modulação de largura de pulso) e *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) - 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. O MPPT possui um algoritmo de rastreamento responsável por controlar um conversor CC-CC que permite utilizar diferentes valores de tensão fazendo com que o painel trabalhe em seu ponto de máxima potência, melhorando a eficiência do sistema.

1.2.3 Bateria

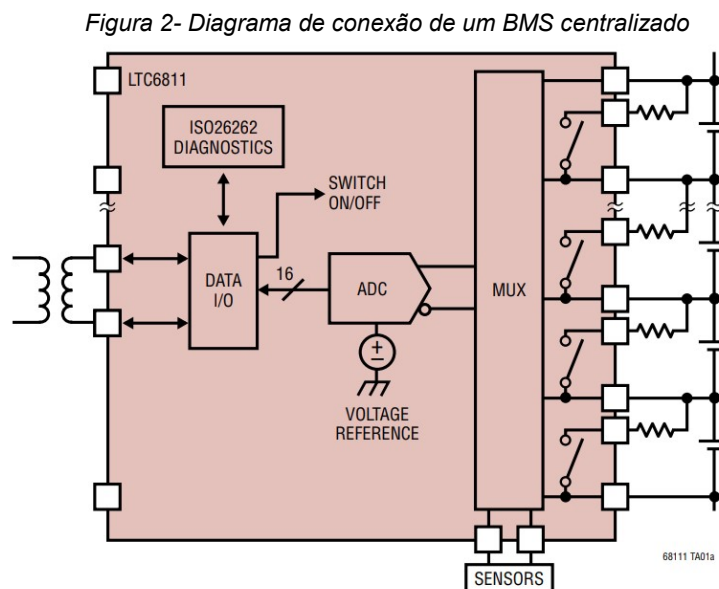
Baterias são dispositivos acumuladores de energia que consistem de uma ou mais células eletroquímicas. Estas células são compostas por dois eletrodos, sendo um positivo (catodo) e outro negativo (anodo), o meio onde ocorre a reação química, geralmente espontânea, é chamado de eletrólito.

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).

1.2.4 BMS

Battery Management System (BMS) é um dispositivo de controle que faz o monitoramento das células individualmente, geralmente é empregado em

baterias de Li-íon, pois estas oferecem risco de explosão ou incêndio quando não monitoradas, e tem como finalidade proporcionar segurança contra sobrecarga, descarga excessiva, sobrecorrente, curto-circuito, altas temperaturas e tensões elevadas (PINHO & GALDINO, 2014). A figura 2 mostra o diagrama de conexão de um BMS para um conjunto de 3 células em série.



Fonte: (LINEAR, 2016)

1.2.5 Motor

O motor elétrico é uma máquina capaz de converter energia elétrica em mecânica através do princípio do eletromagnetismo, existem vários tipos de motores elétricos, de corrente alternada ou contínua e com ou sem escovas (*brushless*). O motor utilizado na embarcação é o motor de corrente contínua sem escovas - *brushless direct current* (BLDC) da marca *Golden Motors* modelo HPM5000B de 48V.

O motor BLDC possui um rotor de ímã permanente o qual elimina a necessidade de definir seus polos magnéticos, assim necessita apenas de um estator bobinado e alimentado por 3 fases que são responsáveis pela movimentação do rotor, as bobinas são comandadas 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 2 há algumas especificações do motor.

Tabela 2 – Especificações do motor.

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

Fonte: (GOLDEN, 2017)

1.2.6 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 efeito hall (BROWN, 2014). O controlador utilizado é feito especialmente para os motores da Golden Motors, suas especificações são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – 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
Massa	2.5kg
Método de operação	Controle Direto de Torque

Fonte: (GOLDEN, 2017)

1.3 AMBIENTES DE DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO

Nesta subseção serão apresentados os ambientes de desenvolvimento tanto do algoritmo de otimização quanto para a obtenção dos parâmetros necessários para a modelagem matemática da embarcação e do sistema de propulsão.

1.3.1 MATLAB

O Matrix Laboratory (MATLAB) é um ambiente de computação numérico e uma linguagem de programação. Trata-se de uma linguagem de programação proprietária desenvolvida pela MathWorks, MATLAB possibilita manipulação de matrizes, plotar funções e dados, implementação de algoritmos, criação de interfaces gráficas e comunicação com programas escritos em outras linguagens (MELIN, 1996).

1.3.2 Visual Studio Code

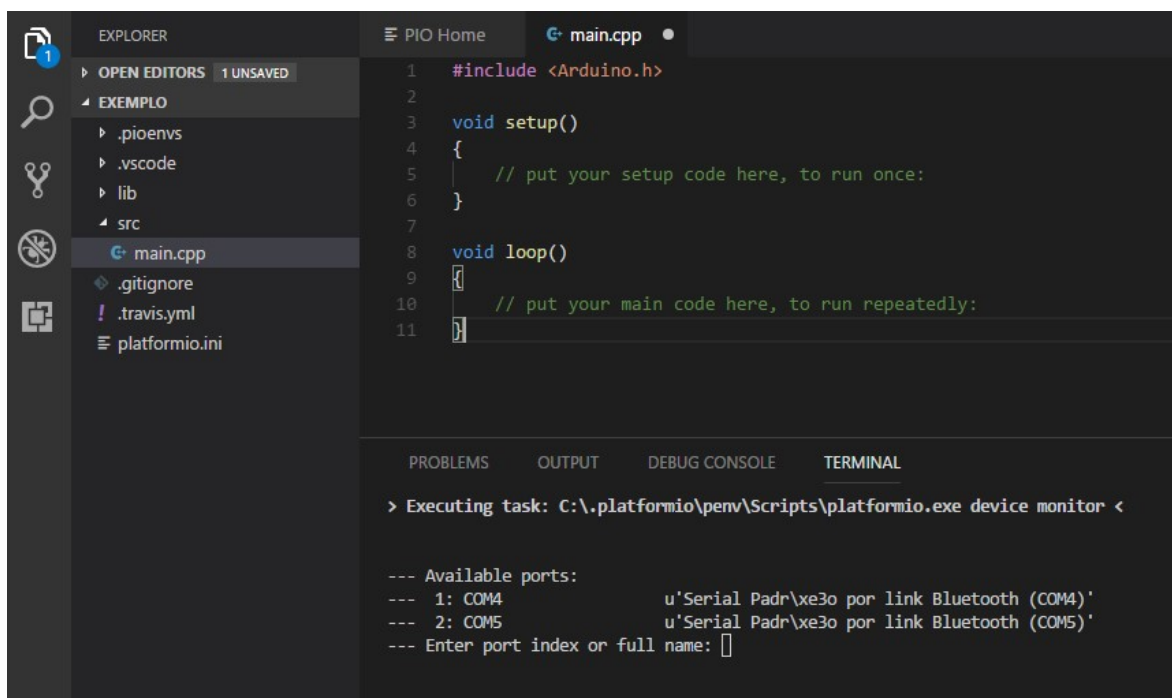
O *Visual Studio Code* é um programa de código aberto desenvolvido pela *Microsoft* e trabalha no *Windows*, *Linux* e *MacOS*. Ele inclui suporte a debug de códigos, realce de sintaxe, complementação inteligente de código, além de ser bastante customizável. Trata-se de um software livre e de código aberto e tem como diferencial uma grande gama de extensões para aumentar sua compatibilidade com as mais variadas sintaxes existentes.

Por meio do *Visual Studio Code* e utilizando a extensão *PlatformIO*, que é um sistema de *build*, *cross-platform* e que possui compatibilidade com uma grande gama de Microcontroladores como:

- Atmel AVR
- Atmel SAM
- Espressif (ESP8266)
- Freescale Kinetis
- Outros

Assim, o *PlatformIO* com sua grande compatibilidade é capaz de fornecer um grande suporte ao desenvolvimento de novos trabalhos (MINATEL, 2016). Por meio da figura 4 é possível observar o ambiente de desenvolvimento do *PlatformIO* no *Visual Studio Code*.

Figura 4 – Ambiente de desenvolvimento do *PlatformIO*



Fonte: Autor

1.4 RESISTÊNCIA AO AVANÇO

Obter a resistência ao avanço é fundamental para que se conheça o comportamento da embarcação em cada um dos regimes de velocidade e consumo de energia adotados.

A resistência ao avanço pode ser definida como a força necessária para rebocar uma embarcação a uma velocidade constante em águas calmas (TRINDADE, 2012). A resistência é usualmente representada por:

$$R_T = C_T \times \frac{1}{2} \rho S V^2 \quad (1)$$

Onde:

C_T é o coeficiente de resistência total;

ρ é a densidade do fluido (kg/m^3);

S é a superfície molhada do casco (m^2);

V é a velocidade de avanço (m/s);

Quando se deslocando em certa velocidade, o casco dissipa, por meio da resistência ao avanço, uma potência P_E , que é denominada potência efetiva e pode ser representada pela seguinte equação:

$$P_E = R_T \times V_S \quad (2)$$

Onde:

R_T é a resistência ao avanço total da embarcação (N);

V_S é a velocidade da embarcação (m/s).

1.5 MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO POLINOMIAL DE LAGRANGE

Interpolando uma função $f(x)$ consiste em aproximar essa função à uma função $g(x)$, de tal forma que $g(x)$ possa ser utilizada em substituição à primeira. (RUGGIERO e LOPES, 2000).

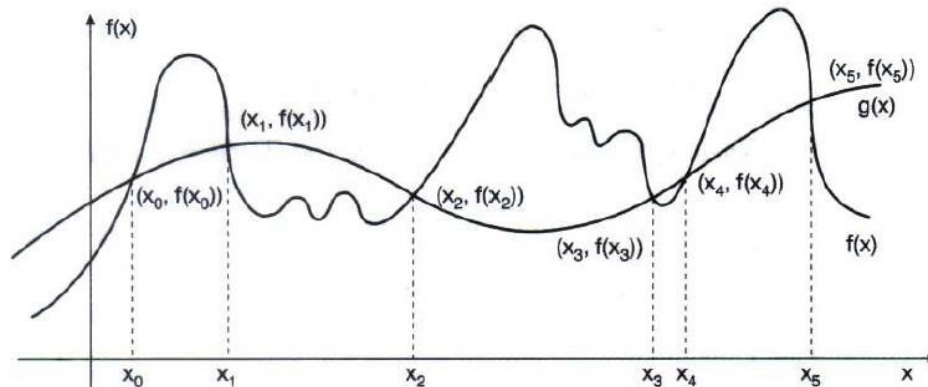
A principal necessidade de se efetuar essa substituição ocorre quando são conhecidos apenas os valores numéricos da função $f(x)$ em pontos específicos e se deseja conhecer o valor número desta função em pontos não fornecidos. As funções podem $f(x)$ e $g(x)$ se relacionam da seguinte forma:

$$\begin{cases} g(x_0) = f(x_0) \\ g(x_1) = f(x_1) \\ g(x_2) = f(x_2) \\ \quad \cdot \\ \quad \cdot \\ \quad \cdot \\ g(x_n) = f(x_n) \end{cases}$$

Os nós da interpolação são representados pelos pontos em que a função $g(x)$ assume o valor de $f(x)$ nos seus $n+1$ pontos. Se a função $g(x) = P_n(x)$, onde

P_n é um polinômio de grau n , então a interpolação é denominada interpolação polinomial. Na figura 5 é possível observar graficamente uma interpolação para 6 pontos.

Figura 5 – Exemplo de interpolação



Fonte: Ruggiero e Lopes, 2000

Segundo Ruggiero e Lopes (2000), há um teorema em que um polinômio único $p_n(x)$ de grau $\leq n$; tal que $p_n(x_k) = f(x_k)$, onde k varia de 0 a n , desde que $x_k \neq x_j$ e $j \neq k$.

O método de Lagrange permite interpolar a função $f(x)$ por meio da seguinte representação $p_n(x_i) = y_0L_0(x_i) + y_1L_1(x_i) + \dots + y_nL_n(x_i)$, onde i varia de 0 a n . Os polinômios $L_k(x)$ possuem grau n e podem ser definidos por meio da equação 3:

$$\frac{(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \dots (x - x_n)}{(x_k - x_0)(x_k - x_1) \dots (x_k - x_{k-1})(x_k - x_{k+1}) \dots (x_k - x_n)} \quad (3)$$

Onde:

$$L_k(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{se } k \neq i \\ 1, & \text{se } k = i \end{cases}$$

O polinômio interpolador de Lagrange e os polinômios auxiliares podem ser representados pelas equações 4 e 5:

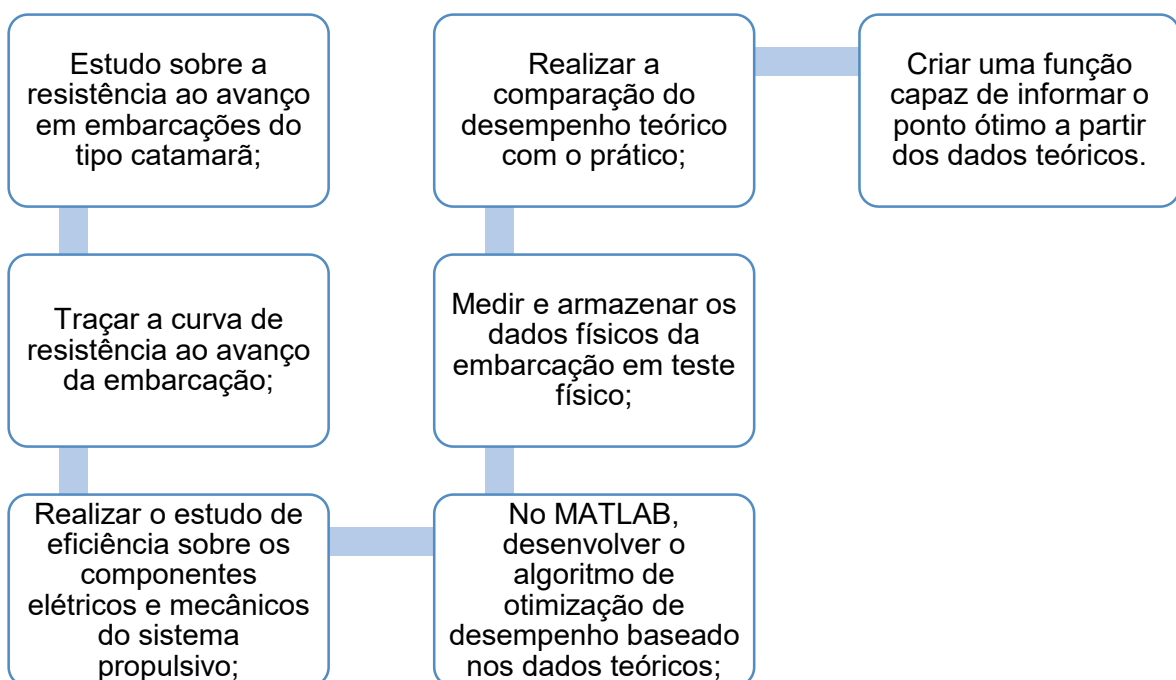
$$p_n(x_i) = \sum_{k=0}^n y_k L_k(x) \quad (4)$$

$$L_k(x) = \frac{\prod_{\substack{j=0 \\ j \neq k}}^n (x - x_j)}{\prod_{\substack{j=0 \\ j \neq k}}^n (x_k - x_j)} \quad (5)$$

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho apresentado é uma Pesquisa Aplicada, cujo objetivo é a realização de uma pesquisa descritiva e explicativa sobre o material bibliográfico e de parâmetros físicos adquiridos em teste prático. Os procedimentos técnicos a serem utilizados são os de pesquisa bibliográfica e experimental. Como método de abordagem, é utilizado o hipotético-dedutivo e a elaboração segue o método de procedimento monográfico. A coleta de dados será feita através de sensores com o uso de sistema microprocessados com a capacidade de armazenar os dados obtidos, sendo estes dados quantitativos e interpretados de forma global. A figura 6 demonstra a estratégia para realização deste trabalho.

Figura 6: Método para obtenção do algoritmo de otimização



Fonte: Autor

Inicialmente, serão realizadas pesquisas bibliográficas na área de resistência ao avanço, eficiência energética, microcontroladores mais

especificamente na utilização de sensores para obtenção dos parâmetros físicos para comparação com o modelo teórico.

2.1 MÉTODO PROPOSTO

Na implementação do projeto pretende-se inicialmente traçar a curva de resistência ao avanço fazendo uso de interpolação polinomial a partir de pontos coletados via o *software maxsurf*. Com a curva de resistência ao avanço será possível conhecer qual potência será necessária para dada velocidade, assim será realizado um estudo sobre a eficiência de cada um dos componentes do sistema propulsivo, posteriormente desenvolver-se-á um algoritmo de gerenciamento de previsão de desempenho e de gestão de energia deste.

Após concluída a etapa de previsão teórica de desempenho empregar-se-á sensores de corrente, tensão e velocidade a fim de se obter dados práticos de desempenho.

Após a captura dos dados práticos será realizado o procedimento de comparação com os dados obtidos teoricamente e assim será possível verificar a confiabilidade do método de desenvolvimento do algoritmo de previsão, se dados estiverem a uma margem de erro de mais de 20%, então far-se-á uma nova calibração dos parâmetros teóricos da embarcação, a fim de se conhecer quais pontos práticos podem ser melhorados na mesma.

2.2 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO DE MODELAGEM E OBTENÇÃO DO ALGORITMO

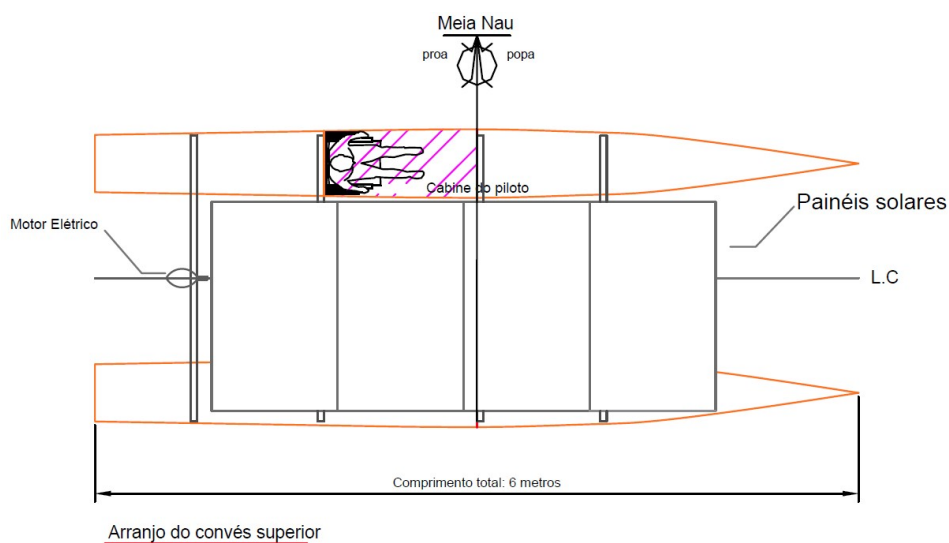
Neste subcapítulo será abordada a modelagem, o método de obtenção da curva de resistência ao avanço, a elaboração inicial do algoritmo de previsão e otimização de desempenho e posteriormente a sua comparação com a curva prática da embarcação.

2.2.1 Curva De Resistência Ao Avanço

Para traçar a curva de resistência ao avanço inicialmente é necessário que os parâmetros navais sejam conhecidos. O casco utilizado para estudo é

baseado no plano de linhas fornecido pela organização do Desafio Solar Brasil, esta disponibiliza um padrão a ser utilizado por todas as embarcações que irão competir em sua classe catamarã, que consiste em uma embarcação que conta com dois cascos interligados por barras de fixação. Por meio do *Software* de modelagem e simulação *Maxsurf* e utilizando o plano de linhas fornecido pela organização foi possível realizar a modelagem 3D do casco. A figura 7 (a) ilustra uma embarcação teórica da classe catamarã que compete no Desafio Solar Brasil, a figura 7 (b) demonstra uma embarcação real que também faz parte da competição:

Figura 7 (a) – Exemplo de embarcação classe catamarã que compete no Desafio Solar Brasil



Fonte: Autor

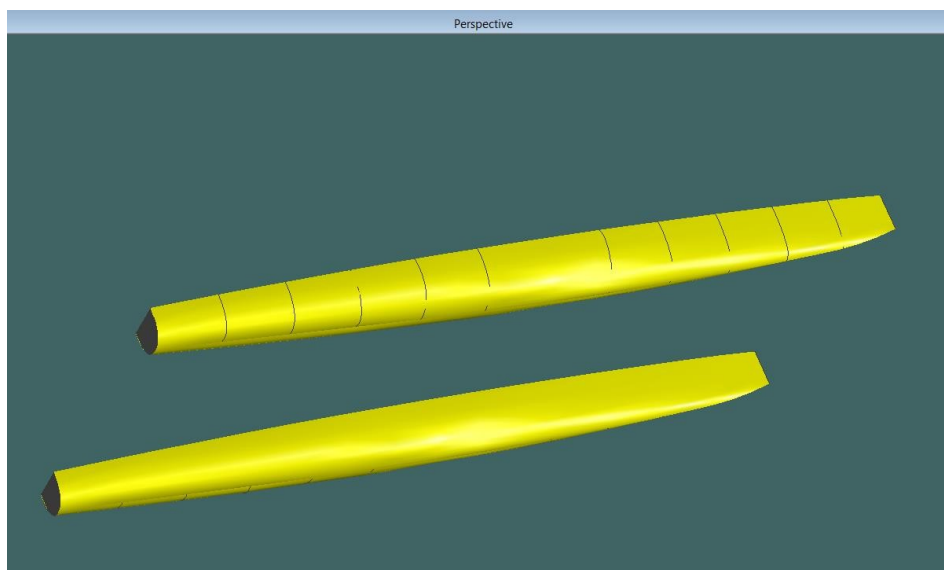
Figura 7 (b) – Exemplo de embarcação real da classe catamarã



Fonte: Autor

A figura 8 demonstra o casco já modelado no *software Maxsurf Modeler*:

Figura 8 – Casco Modelado no software Maxsurf Modeler



Fonte: Autor

Para se determinar o deslocamento é necessário conhecer a massa de todos os equipamentos que compõem a embarcação. A tabela 4 demonstra os equipamentos e as suas respectivas massas:

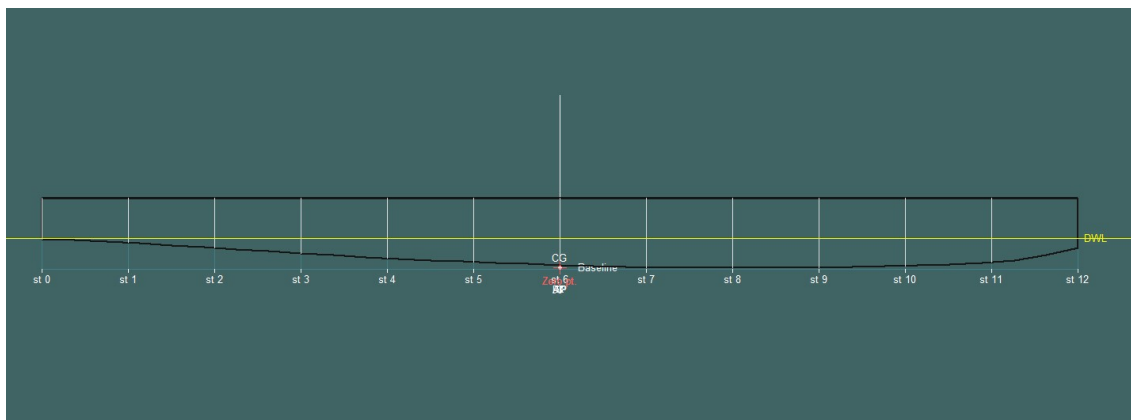
Tabela 4 – Itens que compõem a embarcação solar

Item	Massa (kg)
Cascos (Aproximado)	83
Motor Elétrico	11
Controlador de Carga MPPT	3,5
Sistema de transmissão vertical	14
Painéis Solares	76
Piloto	70
Banco de baterias	17,5
Controlador do motor	2,5
Estrutura de fixação dos painéis solares	8
Cabeamento elétrico (Aproximadamente)	11
Bateria do sistema secundário	2,5
Âncora	4
Sistema de governo	6
Barras circulares	8
Outros	13
Total	330

Fonte: Autor

Já com o deslocamento conhecido é possível se obter o calado da embarcação por meio do *Software Maxsurf Stability*, para 330 kg de deslocamento obteve-se um calado de 0,169 m, a figura 9 mostra a linha de calado da embarcação no *software maxsurf stability*:

Figura 9 – Linha de calado da embarcação



Fonte: Autor

Utilizando-se dos parâmetros descritos é possível gerar por meio de simulação a curva de resistência ao avanço da embarcação para uma eficiência de 100%, as perdas serão consideradas posteriormente. A figura 10 demonstra o casco modelado já com o deslocamento calculado.

Figura 10 – Casco modelado já com linha de calado da embarcação

Fonte: Autor

A figura 11 demonstra a curva de resistência ao avanço ideal:

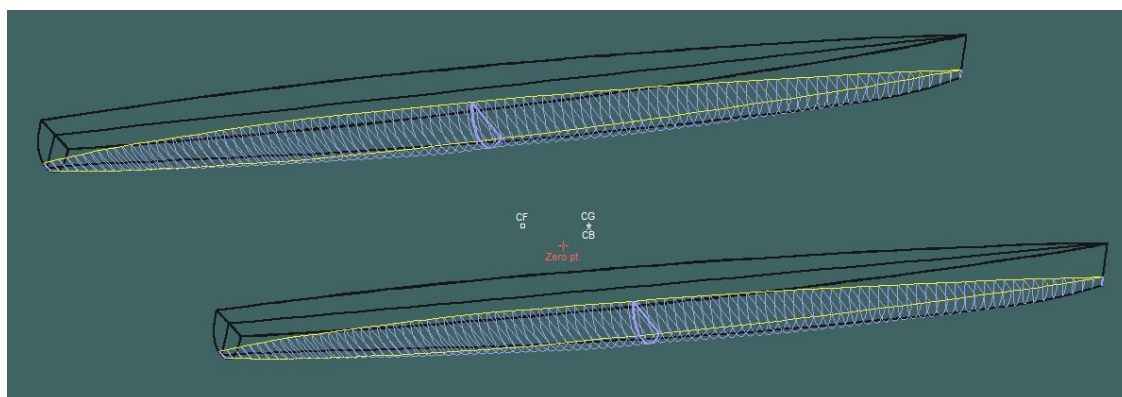
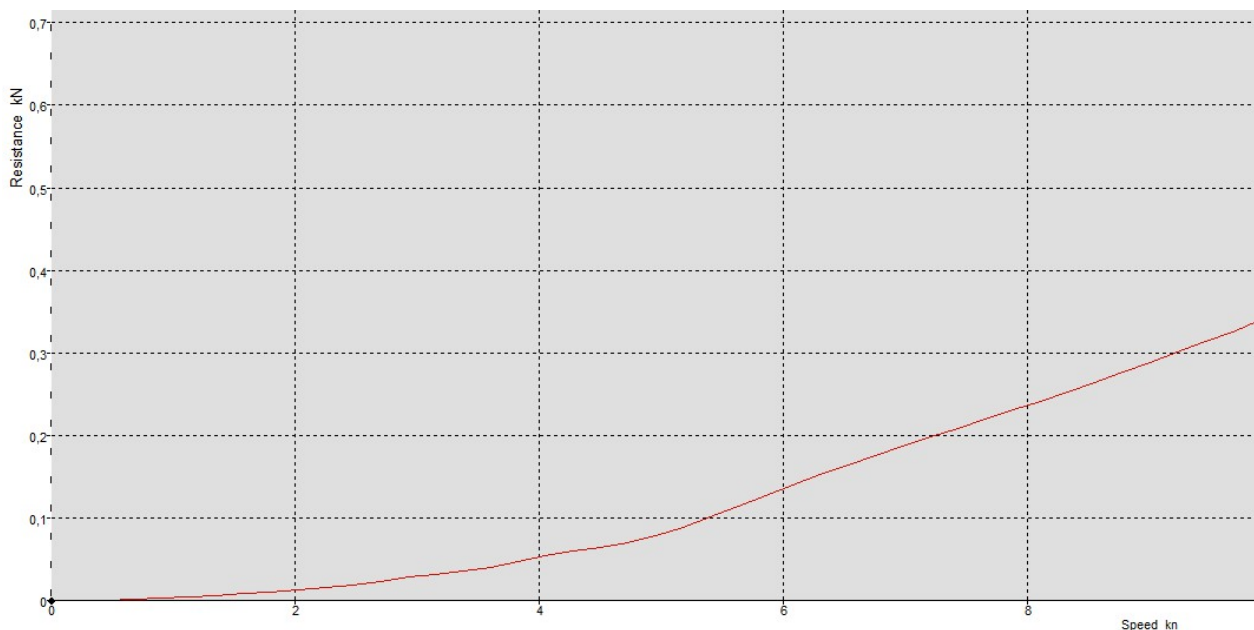


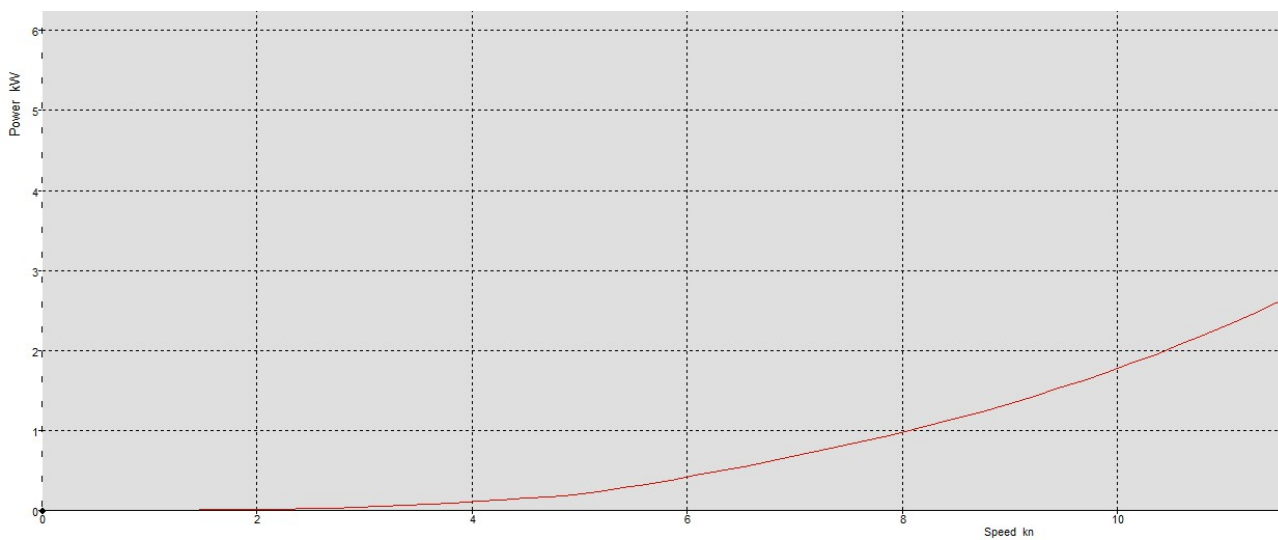
Figura 11 – Curva de resistência ao avanço ideal para 100% de eficiência

Fonte: Autor



A figura 12 demonstra a curva ideal da potência pela velocidade para os mesmos parâmetros descritos

Figura 12 – Curva ideal de potência pela velocidade para os parâmetros descritos



Fonte: Autor

Os pontos gerados pelo *Software Maxsurf Resistance* podem ser verificados no apêndice A. Os pontos foram interpolados e a equação polinomial que descreve a curva pode ser observada pela equação 6: que é a equação que a ser utilizada no algoritmo de otimização.

$$\begin{aligned}
 R(V_n) = & -0.000517059 \times V_n^{12} + 0.0200168 \times V_n^{11} - 0.336169 \times V_n^{10} + 3.21699 \\
 & \times V_n^9 - 19.377 \times V_n^8 + 76.5876 \times V_n^7 - 200.747 \times V_n^6 + 343.659 \\
 & \times V_n^5 - 366.642 \times V_n^4 + 222.28 \times V_n^3 - 53.9161 \times V_n^2 + 7.23809 \\
 & \times V_n
 \end{aligned} \quad (6)$$

Onde:

$R(V_n)$: Resistência ao avanço no ponto V_n (kN);

V_n : Velocidade da embarcação (nós).

2.2.2 Eficiências Do Sistema Propulsivo

O sistema alvo do estudo não se trata de um sistema ideal, assim há a necessidade de se explorar as eficiências de cada um dos itens responsáveis pelo sistema propulsivo da embarcação.

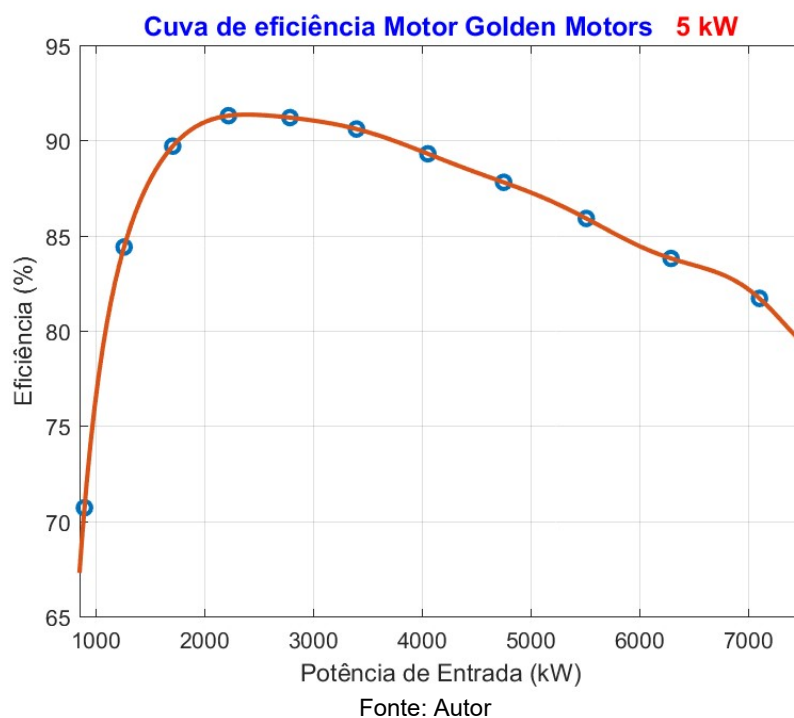
2.2.2.1 Eficiência do motor elétrico

Assim como descrito no capítulo 2 o motor utilizado no projeto trata-se de um motor BLDC com potência nominal de 5 kW, em motores de ímã permanente praticamente todas as perdas ocorrem no estator que é o local em que a dissipação de calor pode ser feita de maneira mais eficaz por meio de aletas na carcaça (MONGEAU, 2004).

A fabricante *Golden Motors* disponibiliza em seu *website* os dados de performance do motor, o documento disponibilizado pode ser encontrado no Anexo B deste trabalho.

Já com os dados de performance, utilizou-se do método de Interpolação Polinomial de Lagrange e gerou-se o gráfico de performance que pode ser observado na figura 13, código utilizado para a geração da curva de eficiência do motor pode ser observado no Apêndice B.

Figura 13 – Curva de eficiência do motor HPM5000B



2.2.2.2 Eficiência do Sistema de Transmissão

O motor elétrico da embarcação é responsável pela conversão de energia elétrica em mecânica com movimento rotatório, este movimento necessita ser transmitido para o hélice para que assim seja possível haver navegação.

A transmissão do movimento é feita utilizando uma rabetta de tipo vertical, esta pode ser observada na figura 14(a), a figura 14(b) ilustra o esquema de engrenagens necessárias para a redução de velocidade e aumento do toque. A transmissão utilizada é um modelo comercial produzido pela fabricante *Bristol*, o motor elétrico é acoplado ao seu eixo de transmissão, a redução utilizada é de 2:1, ou seja, para cada duas rotações completas do eixo do motor o hélice irá girar apenas uma vez em relação ao seu eixo. Isso permite elevar o torque em duas vezes, isso se dá pela necessidade de o hélice não poder trabalhar em rotações tão elevadas, uma vez que se busca sempre evitar o fenômeno de cavitação, que é baseada na pressão de vapor de água, de tal forma que a pressão cai e há a formação de cavidades preenchidas de vapor e ocorre quando há baixas pressões e altas velocidades de escoamento (MARINHO, 2015).

Figura 14(a) – Sistema de transmissão vertical utilizado

Figura 14(b) – Esquema de engrenagens



Fonte: Bristol, 2017

Segundo Schmid (2014), engrenagens são elementos de transmissão muito empregados atualmente, devido à sua alta eficiência, alta capacidade de tempo de serviço, pouca necessidade de manutenção, capacidade de torque elevada, tamanho compacto e ainda possuem custo razoavelmente baixo. A tabela 5 mostra a comparação entre os diversos tipos de engrenagens existentes.

Tabela 5 – Comparação de eficiência entre vários tipos de engrenagens

Tipo de Engrenagem	Redução Normal	Intervalo de Eficiência
Dentes Retos	1:1 até 6:1	94-98%
Cônica Reta	3:2 até 5:1	93-97%
Cônica Espiral	3:2 até 4:1	95-99%
Rosca sem Fim	5:1 até 75:1	50-90%
Espiral	10:1 até 200:1	80-95%
Helicoidal	3:2 até 10:1	94-98%
Cicloide	10:1 até 100:1	75-85%

Fonte: BURNS, 2009

Tendo como base o intervalo de referência de eficiência de 93% a 97% para a engrenagem utilizada, que é do tipo cônica reta, optou-se por adotar uma eficiência de 94%, a fim de tornar o algoritmo mais conservador.

2.2.2.3 Eficiência dos Parâmetros Navais

Utilizou-se como premissa de projeto uma eficiência de propulsor de 60%, este fator se trata de um valor a ser otimizado por meio dos dados obtidos pelo algoritmo.

Por meio *software maxsurf resistance*, já com o casco modelado e com seu calado definido, assim como consta na figura 10, foi possível por meio de simulação obter um coeficiente de eficiência do casco de 92,5%.

Além dos coeficientes já citados, considerou-se um coeficiente de perdas gerais de 20%, este valor poderá ser melhorado após a sua comparação com os dados físicos de desempenho da embarcação.

2.2.3 Parâmetros Elétricos Do Algoritmo

Já com os parâmetros de eficiência conhecidos, buscou-se identificar os parâmetros elétricos necessários para o desenvolvimento do algoritmo

2.2.3.1 Parâmetros Elétricos do Sistema

O Desafio Solar Brasil limita a tensão máxima do sistema elétrico da embarcação em 60 Vdc e ainda limita a quantidade de energia que o banco de baterias pode assumir, este limite é de 1,5kWh. Caso alguma equipe ultrapasse esse limite de 1,5kWh, então está será penalizada com a adição de 1 minuto em cada prova para cada 1% de energia excedente. As especificações técnicas das células de bateria podem ser encontradas no Anexo C.

O banco de baterias utilizado possui as seguintes características:

Células de bateria de LiFePO₄ em um arranjo 16S2P, ou seja, duas filas em paralelo de 16 células em série. Assim a tensão nominal total do banco de baterias (sistema) pode ser descrita pela equação 7:

$$V_s = N^{\circ}_{bat_{série}} \times V_{célula} \quad (7)$$

Onde:

$V_s(V)$: tensão nominal do sistema;

$N^{\circ}_{bat_{série}}$: Quantidade de células de bateria em série;

$V_{célula}(V)$: tensão nominal de uma célula.

Assim, a tensão total do banco de baterias e, por conseguinte do sistema elétrico é de 51,2V.

A quantidade de carga do banco de baterias pode ser calculada pela equação 8:

$$Cap_{bat} = \frac{E_{permitida}}{V_s} \quad (8)$$

Em que:

$Cap_{bat}(Ah)$: capacidade do banco de baterias;

$E_{permitida}(Wh)$: energia permitida pelo Desafio Solar Brasil.

Então a quantidade teórica máxima sem penalidade é de aproximadamente 29,29 Ah.

Sabe-se que a carga de 1 célula de bateria possui 15 Ah, então optou-se por utilizar um arranjo 16S2P, ou seja, 16 células em série por duas em paralelo, totalizando 32 células de bateria. A energia total do sistema pode ser calculada segundo a equação 9:

$$E_s = N^{\circ}_{bat} * V_{célula} * Cap_{célula} \quad (9)$$

Em que:

$E_s(Wh)$: energia total do sistema;

$Cap_{cell}(Ah)$: carga total de uma célula de energia.

Já que o limite de energia foi excedido em 2,4%, então a penalidade aplicada é de 2 minutos por etapa.

Segundo Pereira (2016), baterias baseadas em Lítio possuem como principal vantagem a sua alta densidade de energia, por outro lado possuem uma capacidade de descarga de corrente moderada, isso se dá pelo fato de não possuir eletrólitos aquosos, isso reduz sua condutividade e diminui sua capacidade de entregar elevadas correntes caso necessário. Assim como pode ser observado nas especificações técnicas das células de bateria no Anexo C estas possuem curvas para cada perfil de descarga, o perfil de descarga pode ser descrito pela equação 10:

$$I_{descarga} = Cap_{célula} \times C_{rate} \quad (10)$$

Em que:

$I_{descarga}$ (A): corrente de descarga da célula;

C_{rate} : perfil de descarga da célula.

Os valores de corrente e tensão de cada célula para cada perfil de descarga podem ser observados na tabela 6.

Tabela 6 – Valores de tensão e corrente de acordo com o perfil de descarga modelo 40152S (15Ah)

Perfil de descarga	Corrente de descarga	Tensão média de célula
1C	15 A	3,2 V
2C	30 A	3,1 V
3C	45 A	3,0 V
5C	75 A	2,9 V

Fonte: Autor

2.2.3.2 Parâmetros elétricos fotovoltaicos

O sistema fotovoltaico da embarcação é a sua única forma de obtenção de energia durante todo o evento, e possuem o arranjo 2S2P, ou seja, duas filas em paralelo de 2 painéis em série. Seguem alguns parâmetros importantes para

o entendimento da energia gerada por esse sistema, segundo Pinho & Galdino (2014) a definição dos parâmetros são:

- Irradiação Solar: é a energia incidente em uma superfície plana, é obtida pela integração da irradiância durante um intervalo de tempo, que normalmente é uma hora ou um dia.
- Irradiância Solar: é a potência radiante, aquela proveniente de radiação solar, incidente em uma superfície plana.
- Condição Nominais de operação (NOCT): a irradiância assume um valor de 800 W/m², temperatura do ar de 20°C e a velocidade do vento incidente de 1 m/s.

É possível verificar na folha de dados técnicos do painel fotovoltaico, presente no Anexo A, que a corrente e a tensão entregues no ponto de máxima potência em NOCT são, respectivamente, 6,63 A e 35,2 V, estes serão os parâmetros utilizados no algoritmo.

A corrente entregue pelo controlador de carga MPPT é descrito pela equação 11:

$$I_c = \frac{N^{\circ}PV_{série} \times I_{mp} \times V_{mp}}{V_s} \times \eta_p \quad (11)$$

Onde:

$I_c(A)$: corrente de saída do controlador de carga com rastreamento de ponto de máxima potência;

$N^{\circ}PV_{série}$: número de painéis em paralelo;

$I_{mp}(A)$: corrente no ponto de máxima potência;

$V_{mp}(V)$: tensão no ponto de máxima potência;

$V_s(V)$: tensão do banco de baterias;

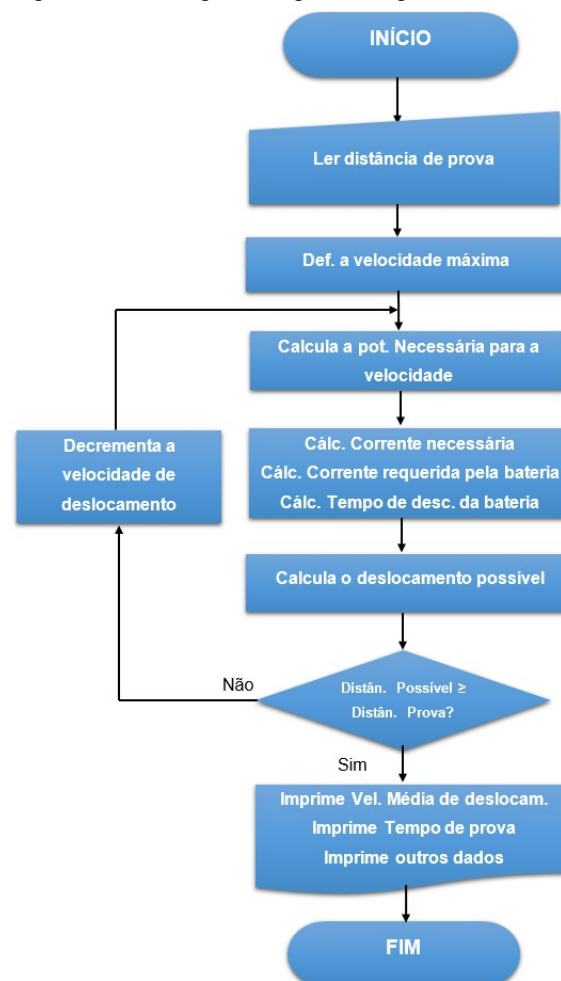
η_p : eficiência do controlador de carga, como o controlador em questão trata-se de um MPPT, a eficiência típica é de 98%.

Assim, o arranjo de 2 painéis em série fornece uma corrente de aproximadamente 8,93 A na saída do MPPT. Isso se dá devido à diferença de tensão resultante da ligação de 2 painéis em série que nas NOCT é de cerca de 70,4V, enquanto a tensão do sistema é nominalmente 50,1 V. A corrente final do arranjo fotovoltaico será a multiplicação da corrente fornecida pela fila de 2 painéis em série por 2, que é a quantidade de filas no sistema, então a corrente total na saída do MPPT é de aproximadamente: 17,86 A.

2.2.4 Fluxograma Lógico Do Algoritmo

Visando obter a velocidade máxima e assim, menor tempo de prova, o seguinte fluxograma presente na figura 15 demonstra quais os métodos utilizados para a realização da otimização da potência e consequentemente a energia necessária para o deslocamento, de tal forma que não ultrapasse a energia total armazenada na bateria.

Figura 15 – Fluxograma lógico do algoritmo de otimização



Fonte: Autor

2.2.5 Sistema De Aquisição De Dados

Visando realizar a comparação entre os dados obtidos teoricamente e os dados práticos houve a necessidade de empregar alguns sensores, que são aqueles dispositivos capazes de responder à um estímulo físico e converter em um sinal elétrico interpretável, com a embarcação em movimento. Os principais parâmetros práticos para este estudo são:

- Velocidade;
- Corrente de saída do controlador de carga MPPT;
- Corrente de saída do banco de baterias;
- Tensão do banco de baterias.

2.2.5.1 Hardware de processamento de dados

O hardware de processamento de dados é composto por um Arduino Uno, que se trata de uma placa de prototipagem de circuitos eletrônicos baseada no microcontrolador ATmega328. A sua alimentação pode ser feita via porta USB ou fonte de alimentação externa, este possui um regulador de tensão interno que permite tensões de entrada de 7 à 12Vdc. O Arduino Uno possui 14 pinos I/O (de entrada e saída) digitais, número suficiente para atender as necessidades do sistema. Ele possui um *clock* interno de 16 MHz e comunicação serial, que será o principal método comunicação utilizado. (ARDUINO, 2018).

O Arduino Uno é uma placa bastante empregada em projetos de sistemas microprocessados, devido à sua grande difusão o torna uma ótima ferramenta devido aos diversos *shields*, que são placas acopláveis com a possibilidade de adição de novas funcionalidades ao hardware de forma fácil e confiável. Possui uma vasta quantidade de bibliotecas disponíveis, o que o torna uma excelente escolha para o hardware de aquisição de dados. O arduino uno pode ser visto na figura 16.

O hardware de processamento de dados possui a função de adquirir os dados provenientes de seus periféricos externos (sensores) e armazena-los em um *shield com* a funcionalidade de armazenamento de dados em um cartão de memória do tipo *SD card*.

Figura 16 – Arduino UNO

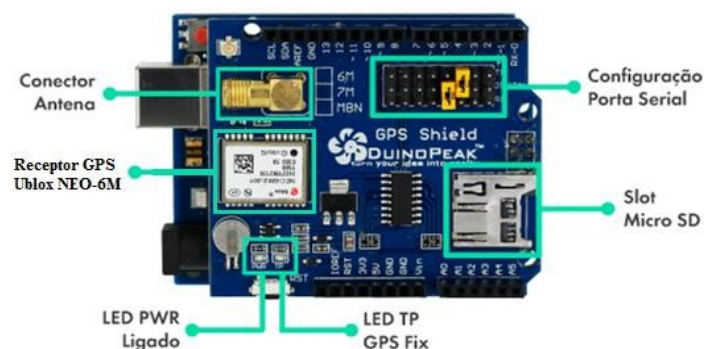


Fonte: (ARDUINO, 2018)

2.2.5.2 Módulo de GPS

Tendo como premissa a necessidade de aquisição da velocidade instantânea da embarcação, optou-se por utilizar um GPS para sanar esta necessidade. O módulo selecionado foi o Duinopeak GPS Logger Shield que além de conter um módulo receptor GPS Ublox NEO-6M possui um leitor/gravador de cartão micro SD, tornando-o muito conveniente por já satisfazer duas necessidades do sistema de aquisição, que são: adquirir a velocidade e ainda armazenar os dados obtidos pelo *Arduino UNO* para um cartão micro SD. O módulo conta com comunicação serial, recepção de até 3 sistemas de satélite ao mesmo tempo e ainda a possibilidade de acoplar uma antena externa por meio dos seus conectores SMA e U.FL. A figura 17 mostra o módulo de GSP com seus principais componentes.

Figura 17 - Duinopeak GPS Logger Shield



Fonte: https://www.filipeflop.com/wp-content/uploads/2017/05/shield_componentes.png

Para a realização da leitura dos dados do módulo de GPS foi necessário

```

main.cpp
1  #include <Arduino.h>
2  #include <TinyGPS++.h>
3  #include <SoftwareSerial.h>
4  TinyGPSPPlus gps;
5  SoftwareSerial serial_gps(2,3);
6
7  void setup()
8  {
9      Serial.begin(9600);
10     serial_gps.begin(9600);
11 }
12
13 void loop()
14 {
15     static const double LAT = -3.027305, LON -60.099098; // Latitude e Longitude do local de teste
16     //Marina Rio Negro - Manaus
17     Serial.println(gps.date.day());
18     Serial.println(gps.date.month());
19     Serial.println(gps.date.year());
20     Serial.println((gps.date.time.hour()-4)); //Horário de Manaus
21     Serial.print(gps.date.time.minute());
22     Serial.print( ",");
23     Serial.print(gps.date.time.second());
24     Serial.print( ":");
25     Serial.print(gps.date.time.minute());
26     Serial.print(gps.location.lat(), 6);
27     Serial.print( ",");
28     Serial.print(gps.location.lng(), 6);
29     Serial.println(gps.speed.kmph());
30 }

```

utilizar duas bibliotecas, elas são: a SoftwareSerial e TyniGPS++, sendo que a primeira permite utilizar os pinos digitais para comunicação serial e a segunda biblioteca é responsável por possibilitar a leitura dos dados do GPS. A figura 18 ilustra o código básico para aquisição dos dados do módulo de GPS e escrita no monitor serial do computador.

Figura 18 – Código básico para aquisição de dados do GPS

Fonte: Autor

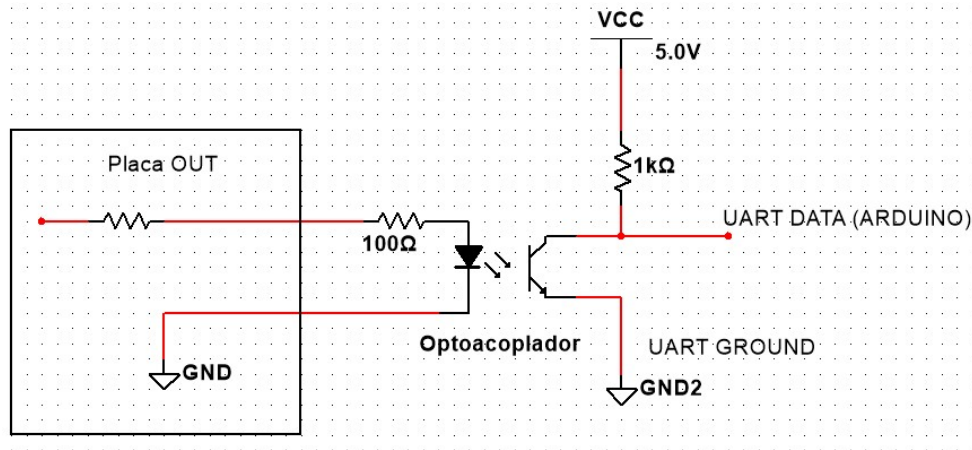
2.2.5.3 Módulos do BMS

Assim como descrito no capítulo 1 deste trabalho, o BMS é responsável por gerenciar os parâmetros elétricos das baterias de Lítio por questões de segurança e ainda para que sua vida útil não seja comprometida. O banco de baterias utilizado na embarcação possui a configuração 16S2P (16 células em série em 2 filas paralelas). O BMS utilizado é o modelo *GWL/ Power 123 Smart BMS*, onde o monitoramento é feito por placas ligadas aos terminais das células de bateria. Existem três tipos de placas: placa *IN* (entrada), placa intermediária e placa *OUT* (saída), em que a placa *OUT* possui a possibilidade de comunicação serial, além de contar com comunicação *bluetooth*. A figura 19 mostra os tipos de módulos existentes.

Figura 19 - Placas do BMS: (a) Módulo de entrada, (b) Módulo de Saída e (c) Módulo Intermediário.

Fonte: Smart BMS 123 Manual

A comunicação pode ser feita utilizando o protocolo de comunicação serial assíncrona (UART). Após verificação com o fabricante foi possível obter o



seguinte esquema de ligação que pode ser visto na figura 20.

Figura 20 - Esquema de ligação BMS – Arduino

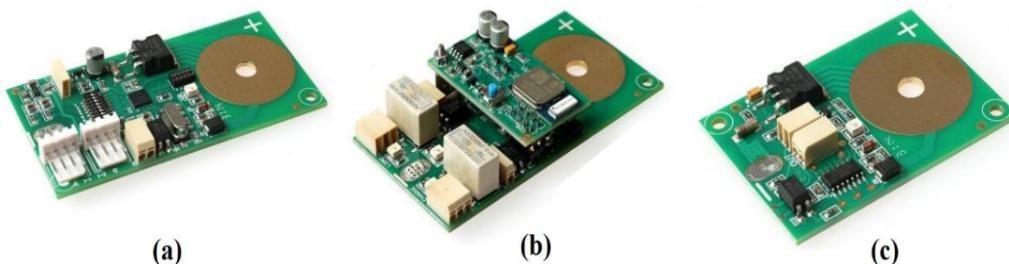
Fonte: Autor

Observando o esquemático é possível notar a presença de um optoacoplador, isso se dá pela necessidade de isolar a saída do módulo *OUT* e o *Arduino* a fim de evitar possíveis falhas e quaisquer danos aos dispositivos.

Utilizou-se o optoacoplador 4N25, a ficha técnica deste dispositivo estará disponível no Anexo D e os resistores de acordo com esquema de ligação proposto pelo fabricante do BMS. O BMS utiliza apenas o RX do Arduino, neste caso utilizou-se o pino 4 e não utiliza o TX, uma vez que o Arduino apenas lê os dados do BMS.

Segundo o fabricante, o módulo *OUT* do BMS envia um pacote de dados de 58 bytes, em que cada byte ou conjunto bytes é uma determinada informação.

É possível observar o que cada pacote de bytes define a partir dos dados fornecidos pelo fabricante. Os dados estão disponíveis no Anexo E.



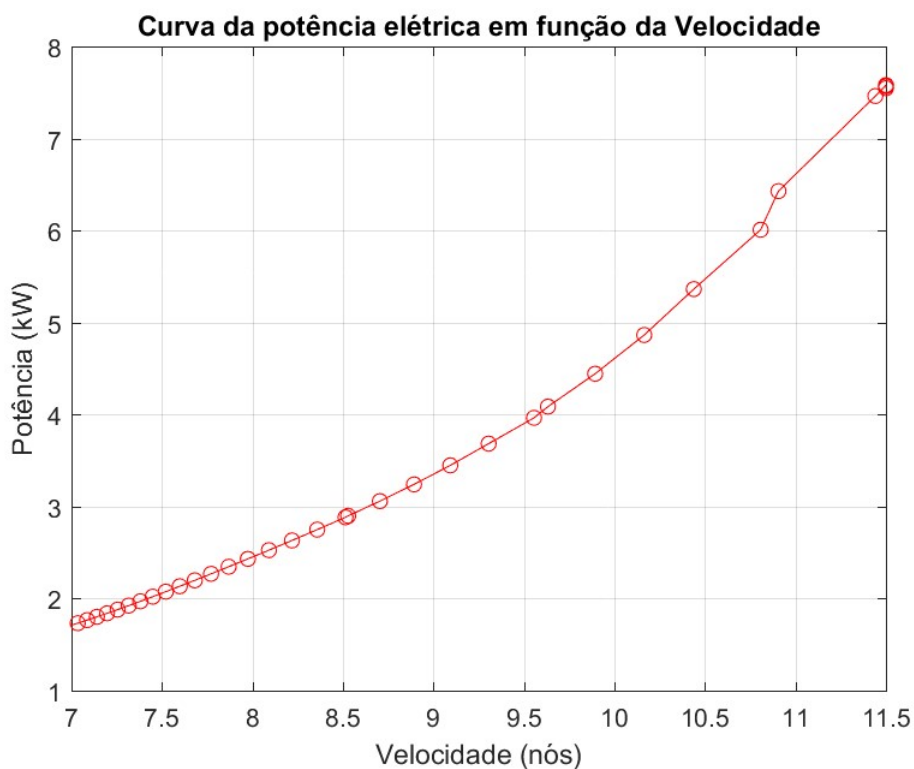
3 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo será abordado os resultados teóricos obtidos após o desenvolvimento do algoritmo de previsão e otimização e os valores práticos obtidos por meio do módulo de GPS e ainda do BMS.

3.1 RESULTADOS TEÓRICOS

Após o desenvolvimento do algoritmo, que está presente no Apêndice C desta pesquisa, desenvolveu-se um código no *MATLAB* para a verificação dos parâmetros de saída do algoritmo. Tendo como base que o principal parâmetro de entrada é a distância total a ser percorrida em cada etapa da competição Desafio Solar Brasil, criou-se um vetor com várias velocidades e a partir pôde-se obter diversos dados de saída. A figura 21 demonstra a curva que relaciona a potência consumida pelo sistema propulsivo para cada velocidade a ser alcançada. Esta curva pode ser verificada de acordo com os dados presentes no Apêndice A desta pesquisa, porém as perdas elétricas, mecânicas e navais já estão sendo consideradas.

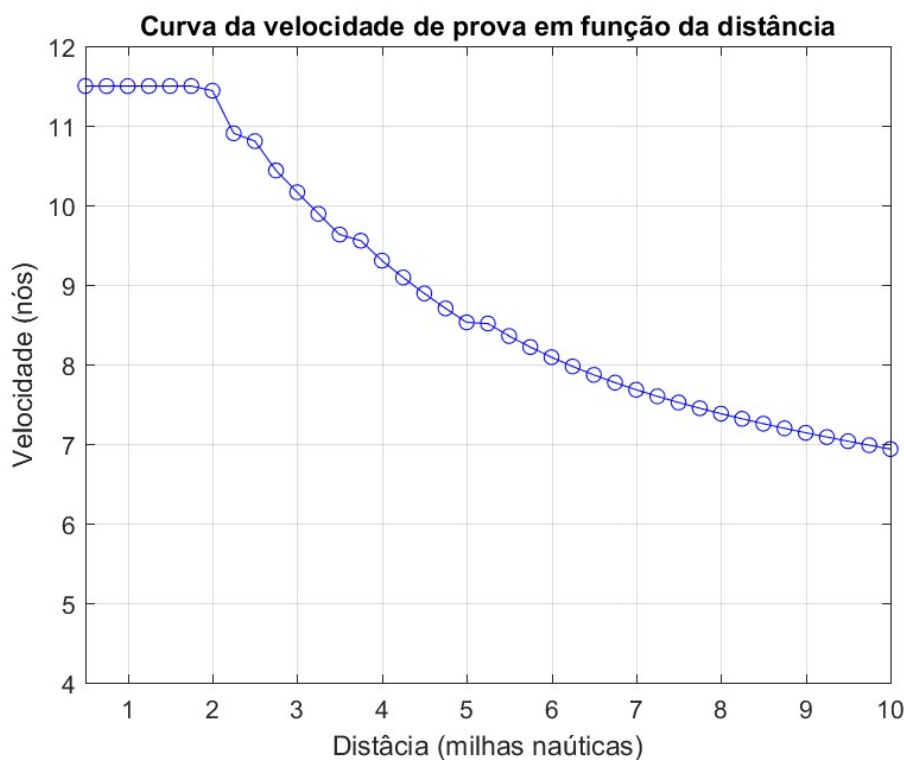
Figura 21 - Curva teórica da potência consumida pelo sistema propulsivo para cada velocidade



Fonte: Autor

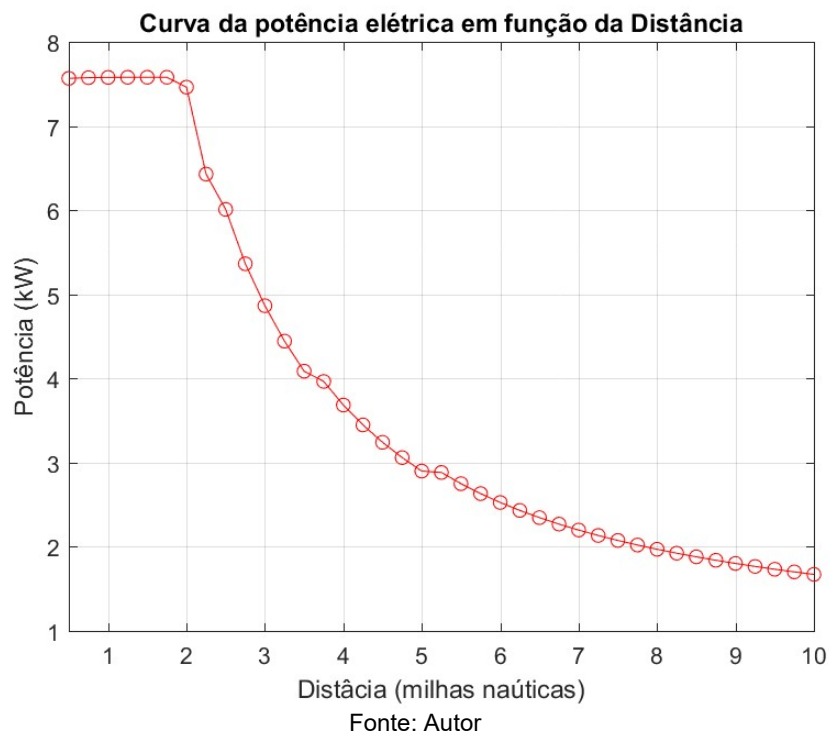
É possível observar que a curva da potência necessária para atingir tais velocidades assume características exponenciais, isso se dá devido à curva de resistência ao avanço que define o comportamento do movimento e ainda que para potências elevadas o crescimento da potência é bem maior devido às perdas do próprio motor por estar chegando à sua potência de pico e assim tendo uma diminuição da sua eficiência. A figura 22 demonstra a curva da velocidade média a ser praticada para cada distância de prova do Desafio Solar Brasil

Figura 22 – Curva teórica de velocidade média de prova dada a distância



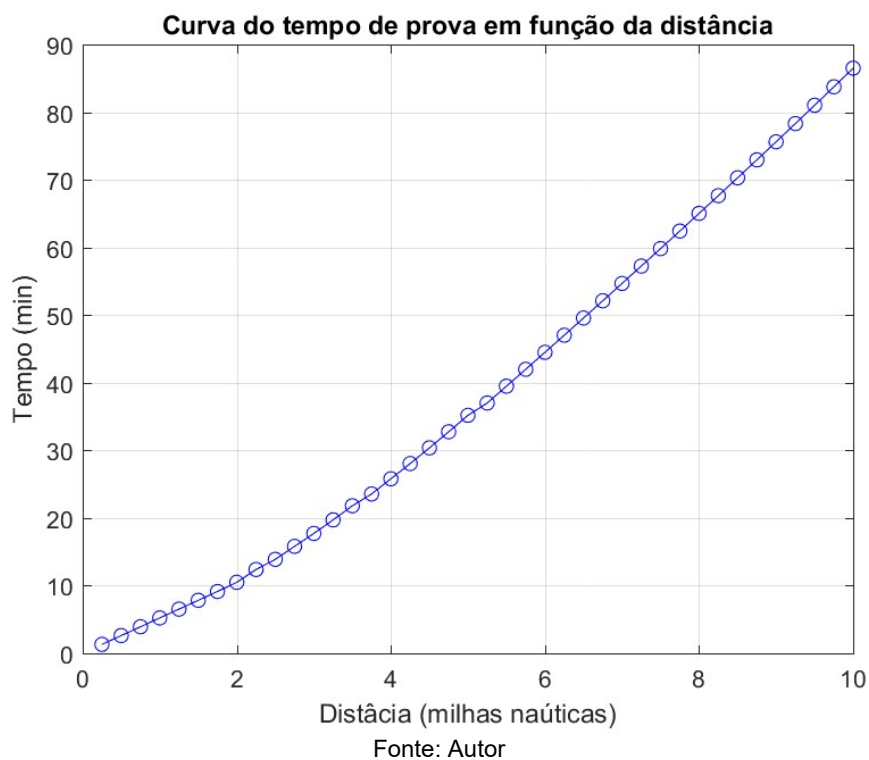
Nota-se que para curtas distâncias de prova a velocidade média assumida é a máxima teórica devido às limitações de potência do motor e ainda da corrente máxima de descarga do banco de baterias, este limite teórico é de 11,5 nós. A Figura 23 demonstra a curva da potência elétrica consumida pelo sistema propulsivo de acordo com a distância a ser percorrida em cada prova do Desafio Solar Brasil.

Figura 23 – Curva da potência elétrica em função da distância de prova



Constata-se que para curtas distâncias de prova a potência assume o seu valor máximo, novamente, devido ao limite de potência do motor e ainda da capacidade de descarga do banco de baterias. A figura 24 demonstra a curva do tempo em função da distância de prova.

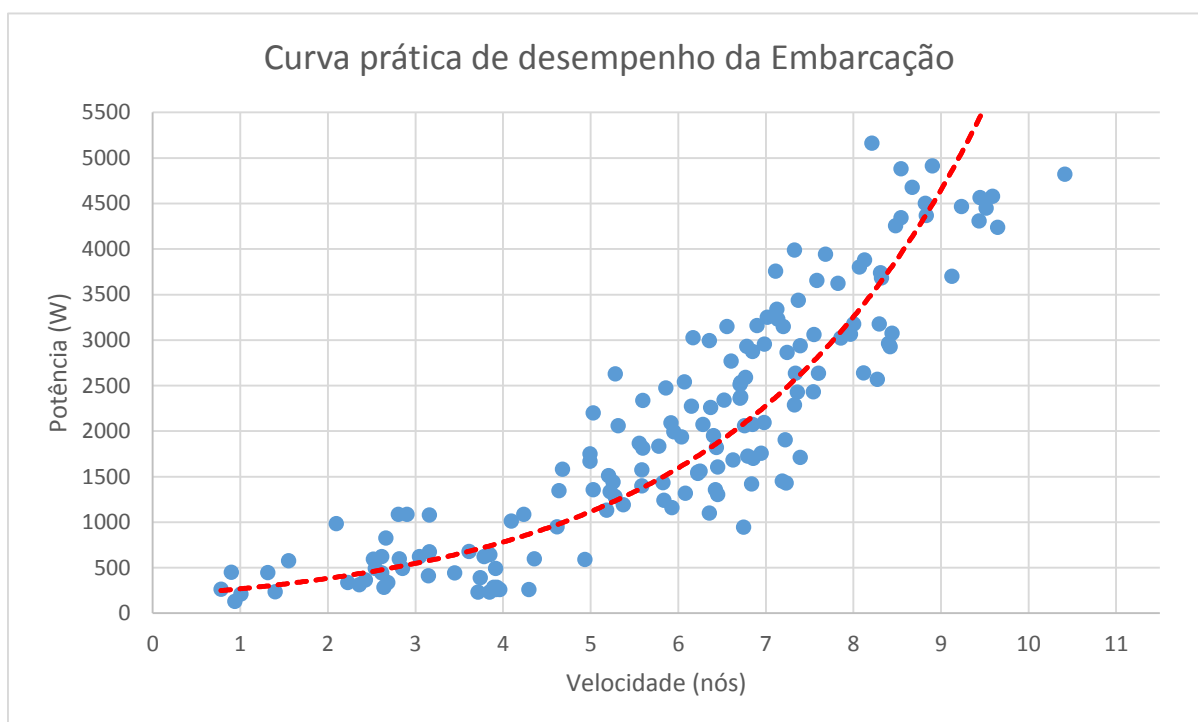
Figura 24 – Curva do tempo de prova em função de sua distância



3.2 RESULTADOS PRÁTICOS

O teste prático para verificação dos parâmetros possibilitou obter os dados que estão presentes no Apêndice E, optou-se por, realizar a análise e a retirada dos pontos indesejáveis que se encontravam em pontos de inércia, que ocorrem quando o corpo está saindo do repouso ou quando este está em movimento e não há consumo por meio do sistema propulsivo. A figura 25 demonstra a curva prática de potência consumida pelo sistema propulsivo para cada velocidade.

Figura 25 – Curva prática de desempenho da embarcação



É possível observar que na prática fatores como a velocidade do rio e o vento tornaram a aquisição de dados um verdadeiro desafio, porém por meio da curva já é possível verificar a sua característica exponencial, o que torna válido o estudo realizado.

A equação 12 descreve a curva prática de desempenho prático da embarcação:

$$Pot(v_n) = 187,77e^{0,3566 \times v_n} \quad (12)$$

Onde:

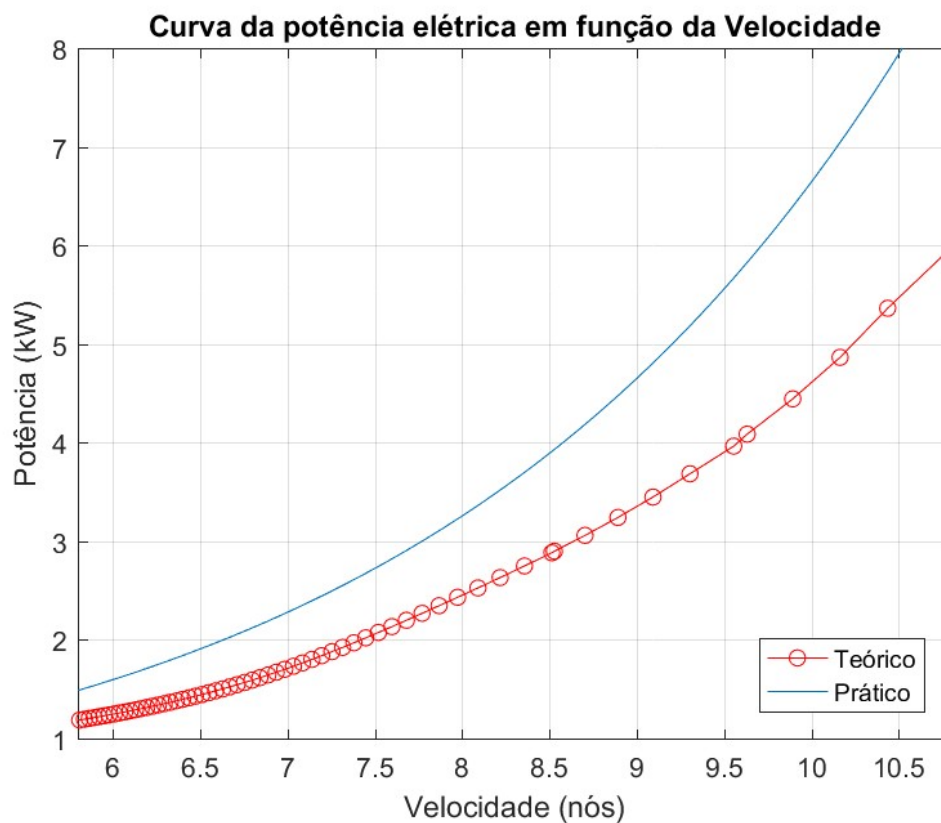
$Pot(v_n)$: Potência consumida pelo sistema de propulsão (W);

V_n : Velocidade da embarcação (nós).

3.3 COMPARAÇÃO DOS DADOS TEÓRICOS COM OS PRÁTICOS

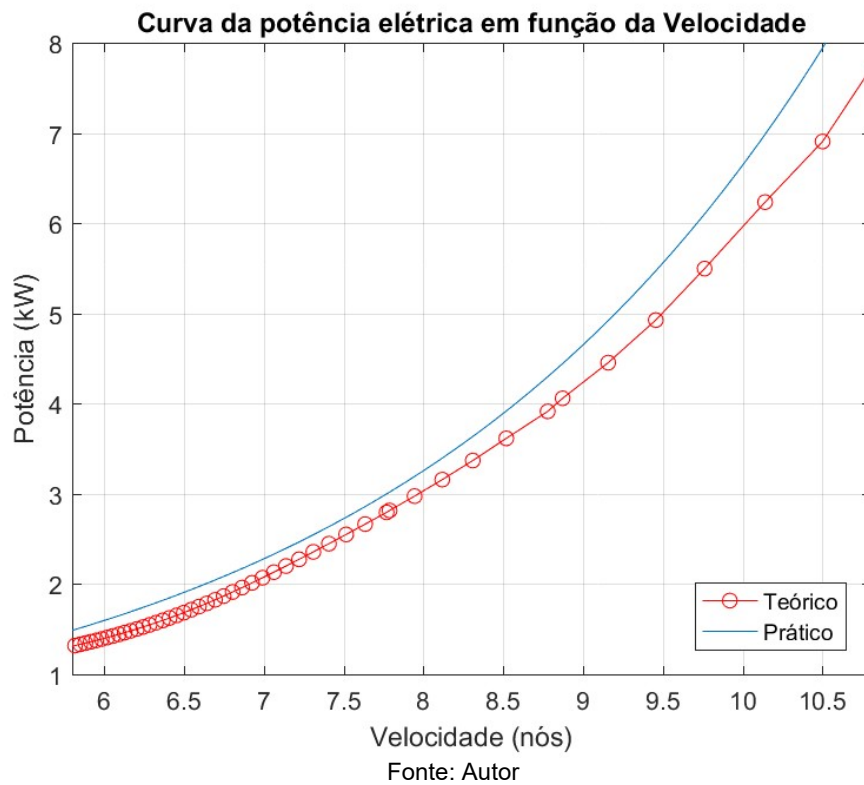
Neste subcapítulo será abordada a comparação entre os dados obtidos por meio de simulação e os práticos. A figura 26 demonstra a comparação da curva teórica e prática da embarcação.

Figura 26 – Comparação entre a curva teórica e a prática



Percebe-se que as duas curvas estão com uma discrepância elevada, isso se dá ao fato das perdas gerais serem consideradas em 20% (perda devido ao vento e velocidade da água), além da curva real ser aproximada. A figura 27 demonstra a comparação entre as curvas para o coeficiente de perdas gerais em 35%.

Figura 27 – Comparação entre a curva teórica com novo coeficiente de perdas e a prática



Por meio da figura 27 é possível observar que a curva prática e teórica se comportam da mesma maneira e possuem valores aproximados, então o coeficiente de perdas gerais de 35% é o que melhor se adequa.

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos no desenvolvimento desta pesquisa é possível concluir que foi possível o desenvolvimento de um algoritmo de previsão e otimização de desempenho de uma embarcação solar do tipo catamarã, uma vez que as curvas de desempenho teórico e a de desempenho real ficaram bem próximas após o ajuste do parâmetro de perdas gerais. Por meio do algoritmo é possível prever qual será o desempenho empregado pela embarcação com os parâmetros de velocidade média, potência total consumida e ainda os otimiza sempre mantendo a bateria com uma carga reserva de 15% para que sua vida útil não seja comprometida, mas que pode ser utilizada caso as características do rio/mar estejam adversas às previstas pelo algoritmo no parâmetro de perdas gerais devido ao vento ou velocidade da maré.

O algoritmo de otimização é muito importante para auxiliar na definição da velocidade e do consumo empregados em cada prova baseado em sua distância que apenas é definida poucos minutos antes de sua realização, assim a possibilidade de automatizar os cálculos de eficiência energética se mostra um fator importantíssimo para que ótimas colocações sejam alcançadas.

Foram encontradas algumas dificuldades no desenvolvimento desta pesquisa, principalmente na modelagem naval do casco a partir do plano de linhas fornecido pela competição e ainda no sistema de aquisição de dados que se mostrou inicialmente instável, porém conseguiu realizar a leitura dos dados fornecidos pelo módulo GPS e ainda pelo BMS com boa precisão.

Este trabalho abre ainda a possibilidade de continuidade, onde o algoritmo pode assumir um caráter não apenas de previsão, mas também de monitoramento e até a possibilidade de verificar parâmetros como a irradiância solar, distância já percorrida, distância restante, velocidade da embarcação e o consumo instantâneo, todos processados e otimizados por meio de uma aplicação de tempo real que poderá auxiliar ainda mais o piloto para o máximo aproveitamento energético disponível.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Arduino Uno REV3**. 2018, disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>, acessado em: 22 de novembro de 2018

BURNS, **Stefanie**. **Hypoid vs. Worms Gear Efficiencies**. Sumitomo Drive Technologies. Novembro, 2009.

BROWN, **Ward**. **Brushless DC Motor Control Made Easy**. Microchip Technology Inc.. Chicago; v.1, n.1, jul.2002.p.1-48. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00857B.pdf>>. Acesso em: 27 maio de 2018

CABRAL, A. S. et al. **Desafio Solar Brasil 2013: Ferramenta de Ensino e Promoção de Fontes Renováveis de Energia**. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - Cobenge 2014. Juiz de Fora - MG: Anais do Cobenge 2014. 2014. p. 11.

JINKO SOLAR. **Poly Crystalline Module**. S.l., 2015.

LINEAR, Technology; **Multicell Battery Monitors: LTC6811-C/LTC6811-2**, 2016. Disponível em: <<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/68111fb.pdf>>. Acesso em: 01/12/2018.

MARINHO, Rafael Linhares; **Estimação da Agressividade da Cavitação em Turbinas Hidroelétricas Baseada em Modelagem Cicloestacionária** – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

MELIN, Barbara White; PART-ENANDER, Eva; ISAKSSON, P.; et al. **The MATLAB Handbook**. 1 ed. Boston: Addison-Wesley Longman, 1996.

MINATEL, PEDRO; **PlatformIO – Uma alternativa ao Arduino IDE**, maio 2016.

Disponível em <http://pedrominatel.com.br/pt/ferramentas/platformio-uma-alternativa-ao-arduino-ide/>> Acesso em: 25 de maio de 2018

MONGEAL, P. High Torque Density Propulsion Motors. In: ELETRIC MACHINES TECHNOLOGY SYMPOSIUM, 2004. Philadelphia. **Naval Engineers Journal**, Virgínia: American Society of Naval Engineers, 2005.

MOTORS, GOLDEN. **BLDC Motors**. Golden Motors, 2017. Disponível em: <http://www.goldenmotor.com>>. Acesso em: 30 outubro 2017.

PEREIRA, Nuno. **Simulação de Regimes de Carga e Descarga em Baterias** – Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/6744/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>> Acesso em: 23 de novembro de 2018

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

RUGGIERO, Marcia A. Gomes; LOPES, Vera LR. **Cálculo numérico. Aspectos Teóricos e Computacionais**. 2 ed. São Paulo: Pearson, 2000.

SARDINHA, Álvaro; **Dimensões de navios**. Coleção Mar Fundamental. p. 7, 2013.

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. D. **Projeto e Simulação da Operação de um Motor de Corrente Contínua Sem Escovas**. XII Seminário de Iniciação Científica. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. 2008. p. 10.

SCHMID, S. R.; HAMROCK, B. J.; JACOBSON, B. O. **Fundamentals of Machine Elements**: SI Version. 3 ed. Estados Unidos: CRC Press, 2014.

TRINDADE, J. **Hidrodinâmica e Propulsão: Engenharia de Máquinas Marítimas**. Escola Superior Náutica Infante D. Henrique, 2012.

VALLE, R. L. **Acionamento de um Motor Síncrono de Ímãs Permanentes sem Escovas Visando Aplicação em Veículos Elétricos**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 146. 2013.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012. 224 p.

APÊNDICE A - PONTOS FORNECIDOS PELO MAXSURF RESISTANCE

Velocidade (kn)	Resistência (kN)	Potência (kW)
0,45	0	0
0,9	0	0,001
1,35	0	0,004
1,8	0	0,01
2,25	0	0,019
2,7	0	0,032
3,15	0	0,051
3,6	0	0,075
4,05	0,1	0,113
4,5	0,1	0,15
4,95	0,1	0,2
5,4	0,1	0,281
5,85	0,1	0,382
6,3	0,2	0,494
6,75	0,2	0,61
7,2	0,2	0,733
7,65	0,2	0,865
8,1	0,2	1,008
8,55	0,3	1,164
9	0,3	1,335
9,45	0,3	1,524
9,9	0,3	1,727
10,35	0,4	1,949
10,8	0,4	2,192
11,25	0,4	2,453
11,7	0,5	2,735
12,15	0,5	3,036
12,6	0,5	3,365
13,05	0,6	3,699
13,5	0,6	4,077
13,95	0,6	4,451
14,4	0,7	4,877
14,85	0,7	5,314
15,3	0,7	5,783
15,75	0,8	6,243
16,2	0,8	6,789
16,65	0,9	7,311
17,1	0,9	7,888
17,55	0,9	8,472
18	1	9,097

APÊNDICE B - SCRIPT DE INTERPOLAÇÃO DA CURVA DE EFICIÊNCIA DO MOTOR

```
%Script de Interpolação Polinomial para curva de eficiência do
%motor Golden Motor de 5 kW
%Autor: Fábio Abidon Wesen
%Data de criação: 09/04/2017
%Última atualização: 22/11/2018
```

```
A = [ 895.3 70.7
      1259.6 84.4
      1707.06 89.7
      2219.96 91.3
      2785.48 91.2
      3397.57 90.6
      4053.55 89.3
      4751.16 87.8
      5511.32 85.9
      6291.16 83.8
      7104.47 81.7
      7915.23 79.5
      8460.27 76.2 ];
```

```
n = length(A);
```

```
syms f(x)
```

```
M = ones(n);
```

```
for i = 1:n
```

```
    for j = 2:n
```

```
        a = A(i,1);
```

```
        M(i,j) = a^(j-1);
```

```
    end
```

```
end
```

```
for i = 1:n
```

```
    M(i,n+1) = A(i,end);
```

```
end
```

```
for j = 1:n
```

```
    for i = j+1:n
```

```
        m = M(i,j)/M(j,j);
```

```
        M(i,:) = M(i,:) - m*M(j,:);
```

```
    end
```

```
end
```

```

for j = n:-1:1
    M(j,:)= M(j,+)/M(j,j);
    for i = j:-1:1
        if j ~= n;
            M(i,:) = M(i,:) - M(i,j+1)*M(j+1,:);
        end
    end
end
end
f(x/1.0) = 0.0;
for i = 1:n
    f(x) = f(x) +1.0*M(i,end)*x^(i-1);
    (M(i,end))
end
(f(x))
x = linspace(800,8300,200);
plot(A(:,1),A(:,2),'o','linewidth', 2); hold on; plot(x,f(x),'linewidth', 2)
grid on
axis([850 7500 65 95]);
title(['\fontsize{12} {\color{blue}Cuva de eficiência Motor Golden Motors '...
'\color{red} 5 kW} '])
xlabel('Potência de Entrada (kW)')
ylabel('Eficiência (%)')

```

APÊNDICE C - ALGORITMO DE PREVISÃO E OTIMIZAÇÃO DE AUTONOMIA

```

%Script de automatização de cálculos de autonomia (330kg)
%Autores: Fábio Wesen, Jhordan Oliveira e Renato Oliveira
%Data de criação: 09/02/2016
%Última atualização: 23/11/2018
% Constantes
Vcel = 3.2; %Tensão de um célula
Vs = 16*Vcel; %Tensão nominal do sistema (V)
% 3.2 1C 3.1 2C 3.0 3C 2.9 5C
Es = 30*0.85 ; %Carga total do sistema (Ah) e fator de ajuste de descarregamento
Ip = 2*6.71 ; %Corrente fornecida pelos painéis (A)
Vmp = 2*31.1; %Tensão em máxima potência dos painéis (V)
Ic = Ip*Vmp/Vs*0.98; %Corrente que sai do MPPT para o banco de baterias
Vlm = 11.5; %Velocidade Máxima (Nós) (Limitada pela taxa de descarga das baterias ,aprox.
150A), velocidade máxima devida aos aspectos construtivos

%Leitura da Distância
fprintf('Insira a distância total a ser percorrida (mn): ');
Dmn = input("");
Pot = 7500; %W potência considerada como limite
Vcel = 2.9; %Devido ao fato de se começar o calculo com uma potencia muito alta
Dkm = Dmn*1.852; %Distância em km
Vn = Vlm*0.5144444; %Velocidade máxima em m/s
e = 0;
h = 0;
while(h~=1)
    efm =
((8433678632410309*Pot^9)/5708990770823839524233143877797980545530986496 -
(5475818124527687*Pot^8)/87112285931760246646623899502532662132736 +
(1543371231120423*Pot^7)/1329227995784915872903807060280344576 -
(3959993007303891*Pot^6)/324518553658426726783156020576256 +
(795259508489391*Pot^5)/9903520314283042199192993792 -
(3314339053185693*Pot^4)/9671406556917033397649408 +
(1118693272912453*Pot^3)/1180591620717411303424 -
(1887198441640301*Pot^2)/1152921504606846976 +
(451573667330853*Pot)/281474976710656 - 323996460661637/549755813888)/100;
    ef = efm*0.94*0.6*0.925*0.8; % motor, rabeta, hélice,casco, perdas gerais, respectivamente

```

```
R = -0.000517059*Vn.^12+0.0200168*Vn.^11-0.336169*Vn.^10+3.21699*Vn.^9-
19.377*Vn.^8+76.5876*Vn.^7-200.747*Vn.^6+343.659*Vn.^5-366.642*Vn.^4+222.28*Vn.^3-
53.9161*Vn.^2+7.23809*Vn;
```

```
Pot = R*1.1*Vn/ef; %Potência em W %1.1 é por causa de 10% de margem de mar
```

```
Cn = Pot/Vs; %Cálculo da corrente nominal
```

```
Cb = Cn-Ic; %Cálculo da corrente requerida da bateria
```

```
Td = Es/Cb; %Cálculo do tempo de descarregamento da bateria (h)
```

```
Dp = Td*(Vn*3.6); %Cálculo do deslocamento possível (km)
```

```
if (Cb > 135)
```

```
    Vcel = 2.9;
```

```
else
```

```
    if (Cb<=135)&&(Cb>105)
```

```
        Vcel = 3.0;
```

```
    else
```

```
        if (Cb<=105)&&(Cb>75)
```

```
            Vcel = 3.0;
```

```
        else
```

```
            if (Cb<=75)&&(Cb>45)
```

```
                Vcel = 3.1;
```

```
            else
```

```
                Vcel = 3.2;
```

```
            end
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

```
Vs = 16*Vcel;
```

```
if(Dp >= Dkm)
```

```
    h = 1;
```

```
else
```

```
    Vn = Vn-.001;
```

```
end
```

```
if(Dkm < 0) || (Vn <0)
```

```
    disp('parâmetro errado')
```

```
    e = 1;
```

```
    break;
```

```
end
```

```
end
```

```
T = (4345356736110225*Cn^9)/40564819207303340847894502572032 -
```

```
(3724911902175071*Cn^8)/39614081257132168796771975168 +
```

```
(2771914470964799*Cn^7)/77371252455336267181195264 -
```



```

(36680375233203*Cn^6)/4722366482869645213696 +
(1245268730177279*Cn^5)/1180591620717411303424 -
(1713982020769567*Cn^4)/18446744073709551616 +
(3055686047387179*Cn^3)/576460752303423488 -
(424489420617423*Cn^2)/2251799813685248 + (2195675636300983*Cn)/562949953421312 -
291912668358011/8796093022208;
w = Pot*efm*30/(T*pi);
if(e == 0)
    fprintf('A Velocidade para esse deslocamento é: %f nós (%f km/h) \n', Vn*1.94384,Vn*3.6);
    fprintf('O Tempo de prova é: %imin %is \n',floor(Dkm/(Vn*3.6)*60),floor((Dkm/(Vn*3.6)*60-
floor(Dkm/(Vn*3.6)*60))*60))
    fprintf('A Potência requerida pelo motor para esse deslocamento é: %f kW \n', Pot/1000);
    fprintf('A Potência transmitida para a rabeta é: %f kW %f hp\n',
(Pot/1000)*efm,(Pot/1000)*efm*1.34102);
    fprintf('A Potência transmitida para a hélice é: %f kW %f hp \n',
(Pot/1000)*efm*0.9,(Pot/1000)*efm*0.9*1.34102);
    fprintf('A eficiência do motor é de: %f \n', efm);
    fprintf('O torque do motor é de: %f N.m \n', T);
    fprintf('A rotação do motor é de: %f rpm \n', w);
    fprintf('A Corrente exigida pelo motor é: %f A \n', Cn);
    fprintf('A Tensão fornecida pela bateria é: %f V \n', Vs);
    fprintf('O deslocamento total é: %f km \n', Dkm);
    Es = Es - Cb*(Dkm/(Vn*3.6));
    fprintf('O Tempo de descarregamento da bateria é: %imin %is \n',floor (Td*60), floor((Td*60-
floor(Td*60))*60));
    fprintf ('A carga restante utilizável na bateria é: %f Ah \n', Es)
    fprintf ('A porcentagem de carga restante utilizável na bateria é: %i por cento \n',
floor(Es/30*100))
    fprintf ('A resistência ao avanço é: %f N \n', 1.1*R)
else
    fprintf('parâmetro errado \n');
end

```

APENDICE D - CÓDIGO DE GERAÇÃO DE GRÁFICOS E DE VERIFICAÇÃO DO ALGORITMO

```

%Script de gráficos de parâmetros da embarcação 2018 (330kg)
%Autores: Fábio Wesen
%Data de criação: 09/02/2016
%Última atualização: 04/12/2018

clear all
% close all
clc
% Constantes
Vcel = 3.2; %Tensão de um célula
Vs = 16*Vcel; %Tensão nominal do sistema (V)
% 3.2 1C 3.1 2C 3.0 3C 2.9 5C
Es = 30*0.85 ; %Carga total do sistema (Ah) e fator de ajuste de descarregamento
G = 750; %Irradiância incidente sobre o módulo (W/m²)
Ip = 2*8.37*G/1000 ; %Corrente fornecida pelos painéis (A)
Vmp = 2*31.1; %Tensão em máxima potência dos painéis
Ic = Ip*Vmp/Vs*0.98; %Corrente que sai do MPPT para o banco de baterias
Vlm = 11.5; %Velocidade Máxima (Nós) (Limitada pela taxa de descarga das baterias ,aprox.
150A), velocidade máxima devida aos aspectos construtivos
Dmn = 0:0.25:10;
Pot(1) = 7500; %Potência máxima do motor (W) (Limitado pela velocidade máxima e pela
corrente que o sistema elétrico aguenta)
for i = 2:length(Dmn)
    i;
    Dkm = Dmn(i)*1.852; %Distância em km
    efm(i) = ((8433678632410309*(Pot(i-
1))^9)/5708990770823839524233143877797980545530986496 - (5475818124527687*(Pot(i-
1))^8)/87112285931760246646623899502532662132736 + (1543371231120423*(Pot(i-
1))^7)/1329227995784915872903807060280344576 - (3959993007303891*(Pot(i-
1))^6)/324518553658426726783156020576256 + (795259508489391*(Pot(i-
1))^5)/9903520314283042199192993792 - (3314339053185693*(Pot(i-
1))^4)/9671406556917033397649408 + (1118693272912453*(Pot(i-
1))^3)/1180591620717411303424 - (1887198441640301*(Pot(i-1))^2)/1152921504606846976
+ (451573667330853*(Pot(i-1)))/281474976710656 - 323996460661637/549755813888)/100;
    ef = efm(i)*0.94*0.6*0.925*0.8; % motor, rabeta, hélice,casco, perdas gerais respectivamente
    e = 0;
    h = 0;
end

```

```

while(h~=1)
    CR = 0.0025;
    Vn= Vlm*0.5144444; %Velocidade máxima em m/s
    R(i) = -0.000517059*Vn.^12+0.0200168*Vn.^11-0.336169*Vn.^10+3.21699*Vn.^9-
19.377*Vn.^8+76.5876*Vn.^7-200.747*Vn.^6+343.659*Vn.^5-366.642*Vn.^4+222.28*Vn.^3-
53.9161*Vn.^2+7.23809*Vn;
    Pot(i) = R(i)*1.1*Vn/ef; %Potência em W %1.1 é por causa de 10% de margem de mar
    Cn = Pot(i)/Vs; %Cálculo da corrente nominal
    Cb = Cn-Ic; %Cálculo da corrente requerida da bateria
    Td = Es/Cb; %Cálculo do tempo de desgarregamento da bateria (h)
    Dp = Td*(Vlm*0.5144444*3.6); %Cálculo do deslocamento possível (km)
    if(Dp >= Dkm)
        h = 1;
    else
        Vlm = Vlm-.0001;
    end
end
Tp(i) = (Dkm/(Vn*3.6))*60; %Tempo de prova em minutos
Vgn(i) = Dmn(i)/(Tp(i))*60;
if (Cb > 135)
    Vcel = 2.9;
else
    if (Cb<=135)&&(Cb>105)
        Vcel = 3.0;
    else
        if (Cb<=105)&&(Cb>75)
            Vcel = 3.0;
        else
            if (Cb<=75)&&(Cb>45)
                Vcel = 3.1;
            else
                Vcel = 3.2;
            end
        end
    end
end
end
Vs = 16*Vcel;
Pot(i);
efm(i);
end

```

```
figure
subplot(2,2,1)
plot(Dmn(2:length(Dmn)),Pot(2:length(Dmn))/1000,'ro-');
grid on;
title('Curva da potência elétrica em função da Distância')
xlabel('Distância (milhas náuticas)');
ylabel('Potência (kW)');
% axis([0 10 1 7.5])

subplot(2,2,2)
plot(Dmn(2:length(Dmn)),Tp(2:length(Dmn)),'bo-');
grid on;
title('Curva do tempo de prova em função da distância')
xlabel('Distância (milhas náuticas)');
ylabel('Tempo (min)');
% axis([0 10.5 0 80])

subplot(2,2,3)
plot(Dmn(2:length(Dmn)),Vgn(2:length(Dmn)),'ro-');
grid on
title('Curva da velocidade de prova em função da distância')
xlabel('Distância (milhas náuticas)');
ylabel('Velocidade (nós)');
% axis([0 10 8 12])

subplot(2,2,4)
plot(Vgn(2:length(Dmn)),Pot(2:length(Dmn))/1000,'ro-');
grid on;
title('Curva da potência elétrica em função da Velocidade')
xlabel('Velocidade (nós)');
ylabel('Potência (kW)');
% axis([7 12 1 7])
```

APÊNDICE E - DADOS PRÁTICOS DE DESEMPENHO

Data	Hora	Latitude	Longitude	Vel. (km/h)	Vel. (nós)	Tensão total (V)	Corrente Drenada (A)	Potência Consumida (W)
26/06/2018	16:33:29	-3,026632	-60,100593	1,72	0,93644	52,75	2,5	131,875
26/06/2018	16:33:33	-3,026625	-60,100605	2,41	1,31211	52,63	8,5	447,355
26/06/2018	16:33:47	-3,026593	-60,100650	1,65	0,89833	52,94	8,5	449,99
26/06/2018	16:33:51	-3,026588	-60,100658	1,85	1,00722	52,93	4	211,72
26/06/2018	16:34:05	-3,026582	-60,100719	1,43	0,77855	52,72	5	263,6
26/06/2018	16:34:49	-3,026578	-60,100749	3,57	1,94367	51,97	21	1091,37
26/06/2018	16:34:51	-3,026568	-60,100788	8,82	4,802	51,97	47,5	2468,575
26/06/2018	16:34:53	-3,026542	-60,100841	11,09	6,03788	51,72	37,5	1939,5
26/06/2018	16:38:21	-3,026750	-60,101226	2,85	1,55167	52,45	11	576,95
26/06/2018	16:38:23	-3,026733	-60,101207	4,33	2,35744	52,45	6	314,7
26/06/2018	16:38:25	-3,026717	-60,101173	5,17	2,81478	52,22	11,5	600,53
26/06/2018	16:38:27	-3,026697	-60,101146	6,63	3,60966	52,22	13	678,86
26/06/2018	16:38:29	-3,026672	-60,101116	8	4,35555	52,11	11,5	599,265
26/06/2018	16:38:31	-3,026642	-60,101081	9,45	5,145	52,11	55,5	2892,105
26/06/2018	16:38:55	-3,026513	-60,100826	2,57	1,39922	52,34	4,5	235,53
26/06/2018	16:38:57	-3,026500	-60,100822	4,09	2,22678	52,37	6,5	340,405
26/06/2018	16:38:59	-3,026480	-60,100818	4,8	2,61333	52,37	8,5	445,145
26/06/2018	16:39:01	-3,026455	-60,100814	6,04	3,28844	51,54	23,5	1211,19
26/06/2018	16:39:03	-3,026412	-60,100814	9,17	4,99255	51,54	34	1752,36
26/06/2018	16:39:05	-3,026353	-60,100814	11,82	6,43533	51,31	35,5	1821,505
26/06/2018	16:39:17	-3,026143	-60,100803	4,85	2,64055	52,29	5,5	287,595
26/06/2018	16:39:19	-3,026120	-60,100803	4,93	2,68411	52,29	6,5	339,885
26/06/2018	16:39:21	-3,026090	-60,100814	6,87	3,74033	52,13	7,5	390,975
26/06/2018	16:39:23	-3,026055	-60,100822	7,19	3,91455	52,13	9,5	495,235
26/06/2018	16:39:27	-3,026003	-60,100814	4,46	2,42822	52,47	7	367,29
26/06/2018	16:39:29	-3,025983	-60,100803	4,67	2,54255	52,13	9,5	495,235
26/06/2018	16:39:31	-3,025963	-60,100791	5,24	2,85289	52,13	9,5	495,235
26/06/2018	16:39:33	-3,025935	-60,100788	5,59	3,04344	52,04	12	624,48
26/06/2018	16:39:35	-3,025905	-60,100791	5,8	3,15778	52,04	13	676,52
26/06/2018	16:39:37	-3,025875	-60,100811	6,33	3,44633	52,11	8,5	442,935
26/06/2018	16:39:39	-3,025848	-60,100837	6,95	3,78389	52,11	12	625,32
26/06/2018	16:39:41	-3,025825	-60,100872	8,96	4,87822	50,65	46,5	2355,225
26/06/2018	16:39:43	-3,025810	-60,100921	10,65	5,79833	50,65	52	2633,8
26/06/2018	16:39:45	-3,025813	-60,100978	12,04	6,55511	50,01	63	3150,63
26/06/2018	16:39:47	-3,025842	-60,101039	12,89	7,01788	50,01	65	3250,65
26/06/2018	16:39:49	-3,025900	-60,101085	14,7	8,00333	50,08	63,5	3180,08
26/06/2018	16:39:53	-3,025962	-60,101173	8,48	4,61689	51,38	18,5	950,53
26/06/2018	16:39:55	-3,025972	-60,101219	9,59	5,22122	51,38	26	1335,88

26/06/2018	16:39:57	-3,025987	-60,101264	9,69	5,27566	51,43	25	1285,75
26/06/2018	16:39:59	-3,026017	-60,101303	9,06	4,93266	51,43	11,5	591,445
26/06/2018	16:40:01	-3,026047	-60,101329	8,59	4,67677	51,06	31	1582,86
26/06/2018	16:40:03	-3,026093	-60,101341	9,7	5,28111	51,06	51,5	2629,59
26/06/2018	16:40:05	-3,026152	-60,101329	12,59	6,85455	48,88	91	4448,08
26/06/2018	16:40:23	-3,026392	-60,101184	4,8	2,61333	52	12	624
26/06/2018	16:40:31	-3,026417	-60,101081	3,85	2,09611	51,84	19	984,96
26/06/2018	16:40:33	-3,026428	-60,101055	4,89	2,66233	51,72	16	827,52
26/06/2018	16:40:35	-3,026432	-60,101028	5,33	2,90189	51,72	21	1086,12
26/06/2018	16:40:37	-3,026420	-60,101005	5,8	3,15778	51,49	21	1081,29
26/06/2018	16:40:39	-3,026395	-60,100986	5,82	3,16866	51,49	29	1493,21
26/06/2018	16:40:43	-3,026333	-60,101001	7,78	4,23577	51,54	33	1700,82
26/06/2018	16:40:45	-3,026298	-60,101028	7,89	4,29566	52,03	5	260,15
26/06/2018	16:40:51	-3,026195	-60,101074	7,28	3,96355	52	5	260
26/06/2018	16:40:53	-3,026158	-60,101081	7,22	3,93089	52,04	5,5	286,22
26/06/2018	16:40:55	-3,026122	-60,101085	7,15	3,89277	52,04	5,5	286,22
26/06/2018	16:40:57	-3,026085	-60,101089	7,2	3,92	52,09	5	260,45
26/06/2018	16:40:59	-3,026050	-60,101093	7,06	3,84377	52,09	4,5	234,405
26/06/2018	16:41:01	-3,026017	-60,101093	6,82	3,71311	52,07	4,5	234,315
26/06/2018	16:41:03	-3,025982	-60,101093	7,52	4,09422	52,07	19,5	1015,365
26/06/2018	16:41:05	-3,025938	-60,101100	9,24	5,03066	51,27	26,5	1358,655
26/06/2018	16:41:07	-3,025885	-60,101112	11,54	6,28288	51,27	40,5	2076,435
26/06/2018	16:41:11	-3,025773	-60,101119	10,26	5,586	51,63	30,5	1574,715
26/06/2018	16:41:13	-3,025717	-60,101127	11,98	6,52244	50,38	46,5	2342,67
26/06/2018	16:41:15	-3,025648	-60,101146	14,43	7,85633	50,38	60	3022,8
26/06/2018	16:41:17	-3,025575	-60,101146	14,82	8,06866	51,4	74	3803,6
26/06/2018	16:41:19	-3,025510	-60,101135	13,09	7,12677	51,4	65	3341
26/06/2018	16:41:21	-3,025437	-60,101116	15,93	8,67299	48,5	96,5	4680,25
26/06/2018	16:41:27	-3,025245	-60,101100	9,24	5,03066	51,79	42,5	2201,075
26/06/2018	16:41:29	-3,025185	-60,101093	12,69	6,90899	51,31	72,5	3719,975
26/06/2018	16:41:35	-3,025017	-60,101100	11,33	6,16855	51,34	59	3029,06
26/06/2018	16:41:37	-3,024947	-60,101100	15,08	8,21022	51,39	100,5	5164,695
26/06/2018	16:41:41	-3,024847	-60,101081	8,52	4,63866	50,84	26,5	1347,26
26/06/2018	16:41:43	-3,024802	-60,101055	11,15	6,07055	50,84	50	2542
26/06/2018	16:41:45	-3,024738	-60,101032	13,54	7,37177	49,13	70	3439,1
26/06/2018	16:41:47	-3,024662	-60,101024	16,35	8,90166	49,13	100	4913
26/06/2018	16:41:49	-3,024568	-60,101020	19,13	10,4152	47,76	101	4823,76
26/06/2018	16:41:55	-3,024403	-60,100917	10,26	5,586	50,87	27,5	1398,925
26/06/2018	16:41:57	-3,024365	-60,100879	10,7	5,82555	50,37	28,5	1435,545
26/06/2018	16:41:59	-3,024313	-60,100860	11,48	6,25022	50,37	66	3324,42
26/06/2018	16:42:01	-3,024263	-60,100860	9,87	5,37366	50,74	23,5	1192,39
26/06/2018	16:42:03	-3,024212	-60,100868	11,76	6,40266	50,74	38,5	1953,49
26/06/2018	16:42:07	-3,024113	-60,100868	9,17	4,99255	51,4	32,5	1670,5
26/06/2018	16:42:13	-3,023942	-60,100875	13,58	7,39355	50,4	34	1713,6
26/06/2018	16:42:57	-3,023128	-60,100727	4,63	2,52078	51,66	11,5	594,09

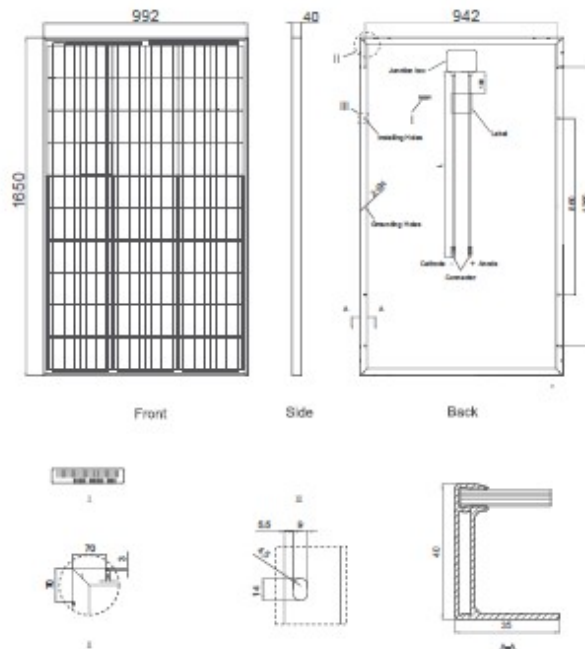
26/06/2018	16:43:09	-3,022943	-60,100669	9,65	5,25388	50,63	28,5	1442,955
26/06/2018	16:44:20	-3,021938	-60,100570	12,98	7,06688	50,74	82,5	4186,05
26/06/2018	16:44:24	-3,021940	-60,100711	12,58	6,84911	48,22	43	2073,46
26/06/2018	16:44:26	-3,021937	-60,100769	11,2	6,09777	49,97	81,5	4072,555
26/06/2018	16:44:34	-3,022128	-60,100906	13,26	7,21933	49,56	38,5	1908,06
26/06/2018	16:44:36	-3,022187	-60,100933	11,8	6,42444	49,56	80	3964,8
26/06/2018	16:44:40	-3,022307	-60,100990	13,26	7,21933	48,77	92,5	4511,225
26/06/2018	16:44:59	-3,022775	-60,101196	7,98	4,34466	51,13	40	2045,2
26/06/2018	16:45:01	-3,022787	-60,101245	10,61	5,77655	49,62	58	2877,96
26/06/2018	16:45:05	-3,022873	-60,101329	12,67	6,89811	49,39	64	3160,96
26/06/2018	16:45:07	-3,022940	-60,101341	13,87	7,55144	49,39	62	3062,18
26/06/2018	16:45:09	-3,023012	-60,101341	14,63	7,96522	49,43	62	3064,66
26/06/2018	16:45:11	-3,023087	-60,101329	15,43	8,40077	49,43	60	2965,8
26/06/2018	16:45:13	-3,023160	-60,101322	14,91	8,11766	49,33	53,5	2639,155
26/06/2018	16:45:15	-3,023238	-60,101341	15,69	8,54233	49,33	99	4883,67
26/06/2018	16:45:17	-3,023298	-60,101371	12,13	6,60411	49,5	56	2772
26/06/2018	16:45:19	-3,023358	-60,101394	13,63	7,42077	49,5	100	4950
26/06/2018	16:45:21	-3,023425	-60,101394	13,22	7,19755	49,25	64	3152
26/06/2018	16:45:25	-3,023547	-60,101425	11,43	6,22299	48,83	71	3466,93
26/06/2018	16:45:27	-3,023607	-60,101444	13,45	7,32277	48,83	89,5	4370,285
26/06/2018	16:45:31	-3,023728	-60,101406	12,93	7,03966	50,7	92	4664,4
26/06/2018	16:45:33	-3,023785	-60,101367	12,83	6,98522	48,9	60,5	2958,45
26/06/2018	16:45:35	-3,023850	-60,101337	15,26	8,30822	48,9	76,5	3740,85
26/06/2018	16:45:37	-3,023920	-60,101329	13,46	7,32822	47,79	83,5	3990,465
26/06/2018	16:45:43	-3,024123	-60,101306	14,11	7,6821	50,23	78,5	3943,055
26/06/2018	16:45:45	-3,024185	-60,101280	12,58	6,84911	48,75	59	2876,25
26/06/2018	16:45:47	-3,024237	-60,101234	12,33	6,71299	48,75	52	2535
26/06/2018	16:45:49	-3,024288	-60,101192	13,48	7,33911	49,75	53	2636,75
26/06/2018	16:45:51	-3,024352	-60,101173	13,96	7,60044	49,75	53	2636,75
26/06/2018	16:45:55	-3,024468	-60,101165	9,02	4,91088	51,18	22,5	1151,55
26/06/2018	16:45:57	-3,024517	-60,101150	10,96	5,96711	48,83	73	3564,59
26/06/2018	16:46:01	-3,024615	-60,101070	12,46	6,78377	49,28	59,5	2932,16
26/06/2018	16:46:05	-3,024720	-60,101039	10,28	5,59688	49,79	47	2340,13
26/06/2018	16:46:07	-3,024778	-60,101036	12,32	6,70755	49,79	50,5	2514,395
26/06/2018	16:46:11	-3,024902	-60,101020	11,3	6,15222	51,13	44,5	2275,285
26/06/2018	16:46:13	-3,024958	-60,101013	11,17	6,08144	50,79	26	1320,54
26/06/2018	16:46:15	-3,025015	-60,101013	11,67	6,35366	50,79	59	2996,61
26/06/2018	16:46:19	-3,025148	-60,101020	13,06	7,11044	50,43	74,5	3757,035
26/06/2018	16:46:21	-3,025208	-60,101005	11,43	6,22299	50,04	31	1551,24
26/06/2018	16:46:23	-3,025267	-60,100990	12,33	6,71299	50,04	47,5	2376,9
26/06/2018	16:46:25	-3,025328	-60,100982	12,76	6,94711	49,59	35,5	1760,445
26/06/2018	16:46:27	-3,025393	-60,100975	13,52	7,36088	49,59	49	2429,91
26/06/2018	16:46:29	-3,025462	-60,100967	13,46	7,32822	49,77	46	2289,42
26/06/2018	16:46:31	-3,025532	-60,100971	13,93	7,5841	49,77	73,5	3658,095
26/06/2018	16:46:33	-3,025608	-60,100982	15,28	8,3191	48,81	75,5	3685,155

26/06/2018	16:46:35	-3,025687	-60,100994	16,22	8,83088	48,81	89,5	4368,495
26/06/2018	16:46:37	-3,025770	-60,101016	16,76	9,12488	48,07	77	3701,39
26/06/2018	16:46:39	-3,025855	-60,101043	17,35	9,4461	48,07	95	4566,65
26/06/2018	16:46:41	-3,025940	-60,101070	17,72	9,64755	48,2	88	4241,6
26/06/2018	16:46:43	-3,026025	-60,101097	17,61	9,58766	48,2	95	4579
26/06/2018	16:46:47	-3,026178	-60,101123	12,43	6,76744	50,81	51	2591,31
26/06/2018	16:46:57	-3,026335	-60,100990	10,28	5,59688	49,68	36,5	1813,32
26/06/2018	16:46:59	-3,026370	-60,100948	10,72	5,83644	49,68	25	1242
26/06/2018	16:47:09	-3,026513	-60,100830	5,78	3,14689	51,76	8	414,08
26/06/2018	16:53:26	-3,026612	-60,100837	5,15	2,80389	51,82	21	1088,22
26/06/2018	16:53:28	-3,026638	-60,100868	7,78	4,23577	51,82	21	1088,22
26/06/2018	16:53:30	-3,026672	-60,100906	9,52	5,18311	51,59	22	1134,98
26/06/2018	16:53:32	-3,026710	-60,100944	10,89	5,929	51,59	22,5	1160,775
26/06/2018	16:53:34	-3,026748	-60,100986	11,43	6,22299	51,29	30	1538,7
26/06/2018	16:53:36	-3,026783	-60,101032	11,8	6,42444	51,29	26,5	1359,185
26/06/2018	16:53:38	-3,026817	-60,101081	11,85	6,45166	51,25	25,5	1306,875
26/06/2018	16:53:40	-3,026848	-60,101127	11,48	6,25022	51,25	30,5	1563,125
26/06/2018	16:53:42	-3,026882	-60,101177	11,85	6,45166	51,01	31,5	1606,815
26/06/2018	16:53:44	-3,026915	-60,101226	12,17	6,62588	51,01	33	1683,33
26/06/2018	16:53:46	-3,026948	-60,101280	12,48	6,79466	50,83	34	1728,22
26/06/2018	16:53:48	-3,026982	-60,101329	12,59	6,85455	50,83	33,5	1702,805
26/06/2018	16:53:50	-3,027013	-60,101387	12,56	6,83822	50,78	28	1421,84
26/06/2018	16:53:52	-3,027037	-60,101440	11,7	6,36999	50,78	44,5	2259,71
26/06/2018	16:53:54	-3,027058	-60,101497	12,32	6,70755	50,3	47	2364,1
26/06/2018	16:53:56	-3,027078	-60,101558	13,3	7,24111	50,3	57	2867,1
26/06/2018	16:53:58	-3,027098	-60,101627	14,37	7,82366	49,65	73	3624,45
26/06/2018	16:54:02	-3,027135	-60,101768	13,85	7,54055	50,67	48	2432,16
26/06/2018	16:54:04	-3,027133	-60,101837	13,58	7,39355	50,67	58	2938,86
26/06/2018	16:54:06	-3,027120	-60,101898	12,39	6,74566	51,28	18,5	948,68
26/06/2018	16:54:08	-3,027100	-60,101951	9,56	5,20488	51,28	29,5	1512,76
26/06/2018	16:54:10	-3,027088	-60,102001	10,76	5,85822	50,5	49	2474,5
26/06/2018	16:54:12	-3,027082	-60,102062	12,82	6,97977	50,5	41,5	2095,75
26/06/2018	16:54:14	-3,027080	-60,102127	13,28	7,23022	50,26	28,5	1432,41
26/06/2018	16:54:16	-3,027075	-60,102188	12,33	6,71299	50,26	64	3216,64
26/06/2018	16:54:18	-3,027053	-60,102252	13,11	7,13766	49,72	65	3231,8
26/06/2018	16:54:22	-3,026963	-60,102355	11,67	6,35366	51,31	21,5	1103,165
26/06/2018	16:54:26	-3,026890	-60,102428	10,87	5,91811	50,44	41,5	2093,26
26/06/2018	16:54:30	-3,026800	-60,102504	10,61	5,77655	50,98	36	1835,28
26/06/2018	16:54:32	-3,026758	-60,102535	10,67	5,80922	50,98	66	3364,68
26/06/2018	16:54:34	-3,026725	-60,102588	12,89	7,01788	50,98	91	4639,18
26/06/2018	16:54:36	-3,026703	-60,102657	15,58	8,48244	50,98	83,5	4256,83
26/06/2018	16:54:40	-3,026697	-60,102798	10,93	5,95077	50,52	39,5	1995,54
26/06/2018	16:54:44	-3,026690	-60,102909	10,2	5,55333	49,83	37,5	1868,625
26/06/2018	16:54:46	-3,026672	-60,102958	11,3	6,15222	49,97	67	3347,99
26/06/2018	16:54:48	-3,026658	-60,103023	13,56	7,38266	49,97	84,5	4222,465

26/06/2018	16:54:50	-3,026660	-60,103099	15,69	8,54233	48,29	90	4346,1
26/06/2018	16:54:52	-3,026672	-60,103183	16,96	9,23377	48,29	92,5	4466,825
26/06/2018	16:54:54	-3,026693	-60,103271	17,48	9,51688	47,85	93	4450,05
26/06/2018	16:55:00	-3,026783	-60,103500	14,93	8,12855	48,82	79,5	3881,19
26/06/2018	16:55:02	-3,026798	-60,103576	15,52	8,44977	48,43	83,5	4043,905
26/06/2018	16:55:04	-3,026805	-60,103652	16,2	8,81999	48,43	93	4503,99
26/06/2018	16:55:06	-3,026802	-60,103736	17,33	9,43521	47,38	91	4311,58
26/06/2018	16:58:48	-3,026152	-60,104038	7,07	3,84922	51,65	12,5	645,625
26/06/2018	16:58:56	-3,026025	-60,104007	12,41	6,75655	50,88	40,5	2060,64
26/06/2018	16:59:06	-3,025768	-60,103851	13,2	7,18666	49,21	29,5	1451,695
26/06/2018	16:59:10	-3,025780	-60,103725	9,76	5,31377	50,27	41	2061,07
26/06/2018	16:59:50	-3,025765	-60,103397	15,194	8,2724	50,9	50,5	2570,45
26/06/2018	16:59:54	-3,025668	-60,103359	15,239	8,29675	50,84	62,5	3177,5
26/06/2018	17:00:05	-3,025538	-60,103073	15,463	8,41848	49,2	59,5	2927,4
26/06/2018	17:00:07	-3,025527	-60,103012	15,507	8,44282	49,2	62,5	3075

ANEXO A - Especificações Técnicas do Painel Fotovoltaico (260 Wp)

Engineering Drawings

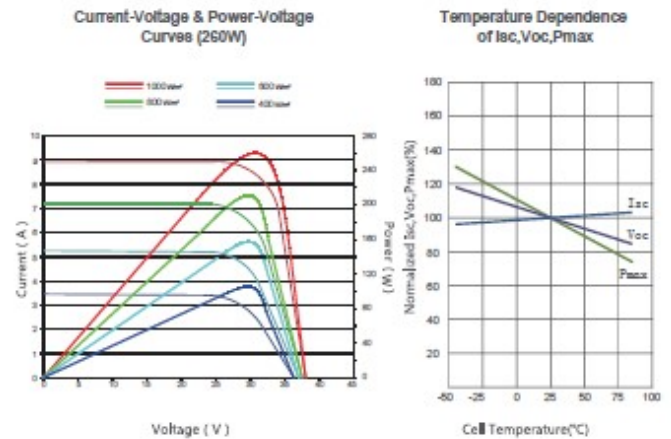


Packaging Configuration

(Two boxes=One pallet)

25pcs/ box, 50pcs/pallet, 700 pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline 156×156mm (6 inch)
No. of cells	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40mm (65.00×39.05×1.57 inch)
Weight	19.0 kg (41.9 lbs)
Front Glass	3.2mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TÜV 1×4.0mm ² , Length:900mm

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM245P		JKM250P		JKM255P		JKM260P		JKM265P	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	245Wp	181Wp	250Wp	184Wp	255Wp	189 Wp	260Wp	193Wp	265Wp	197Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.1V	27.8V	30.5V	28.0V	30.8V	28.5V	31.1V	28.7V	31.4V	29.0V
Maximum Power Current (Imp)	8.14A	6.50A	8.20A	6.56A	8.28A	6.63A	8.37A	6.71A	8.44A	6.78A
Open-circuit Voltage (Voc)	37.5V	34.8V	37.7V	34.9V	38.0V	35.2V	38.1V	35.2V	38.6V	35.3V
Short-circuit Current (Isc)	8.78A	7.16A	8.85A	7.21A	8.92A	7.26A	8.98A	7.31A	9.03A	7.36A
Module Efficiency STC (%)	14.97%		15.27%		15.58%		15.89%		16.19%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	15A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.41%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📏 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📏 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌬 Wind Speed 1m/s

ANEXO B - Folha de testes do motor HPM5000B

Dynamic Test

company: GOLDEN MOTOR
 Type: HPM48-5000 rated U: 48 V
 No. : G20130514008 rated I: 120 A
 Operator: 001 rated P. : 5000 W
 Date: 2013-5-14 rated N: 3500 RPM

Items NO.	voltage V	current A	P. input W	P. factor PF	frequency Hz	torque mN.m	rotate rpm	P. output W	efficiency %
1	47.99	8.177	392.41	1.000	0.00	360.0	4389	165.45	42.2
2	47.98	8.538	409.70	1.000	0.00	242.5	4384	111.32	27.2
3	47.98	9.967	478.17	1.000	0.00	102.5	4369	46.89	9.8
4	47.95	13.222	633.99	1.000	0.00	577.5	4335	262.14	41.4
5	47.91	18.686	895.30	1.000	0.00	1412.5	4279	632.89	70.7
6	47.86	26.320	1259.60	1.000	0.00	2415.0	4204	1063.11	84.4
7	47.80	35.715	1707.06	1.000	0.00	3552.5	4116	1531.11	89.7
8	47.72	46.523	2219.96	1.000	0.00	4812.5	4021	2026.29	91.3
9	47.63	58.475	2785.48	1.000	0.00	6182.5	3923	2539.68	91.2
10	47.55	71.460	3397.57	1.000	0.00	7680.0	3826	3076.83	90.6
11	47.46	85.414	4053.55	1.000	0.00	9262.5	3734	3621.59	89.3
12	47.38	100.283	4751.16	1.000	0.00	10920.0	3647	4170.18	87.8
13	47.40	116.273	5511.32	1.000	0.00	12647.5	3573	4731.89	85.9
14	47.41	132.690	6291.16	1.000	0.00	14387.5	3501	5274.41	83.8
15	47.39	149.915	7104.47	1.000	0.00	16157.5	3429	5801.47	81.7
16	47.37	167.085	7915.23	1.000	0.00	17950.0	3350	6296.60	79.5
17	47.33	174.525	8260.27	1.000	0.00	19495.0	3206	6544.60	79.2
18	47.33	174.870	8277.47	1.000	0.00	20797.5	2994	6520.18	78.8
19	47.34	175.082	8287.97	1.000	0.00	21697.5	2827	6422.91	77.5
20	47.33	175.240	8294.11	1.000	0.00	22292.5	2705	6314.26	76.1
21	47.34	175.500	8309.05	1.000	0.00	22735.0	2625	6249.15	75.2
22	47.39	175.840	8333.50	1.000	0.00	23087.5	2563	6196.15	74.3
23	47.40	175.953	8339.27	1.000	0.00	23382.5	2512	6150.45	73.8
24	47.41	176.173	8352.78	1.000	0.00	23657.5	2466	6108.84	73.1
25	47.42	176.292	8360.23	1.000	0.00	23887.5	2427	6070.68	72.6

ANEXO C - Especificações Técnicas da célula de bateria



HW-40152S 15Ah

Technical Specification

Lithium iron phosphate battery solutions

Specification

Nominal Voltage	3.2V
Nominal Capacity(0.5C,25°C)	15000mAh
Weight(Approximate)	Approx. 480g
Dimension(Length*Width*Height)	Φ40±1mm*H165±1mm

Standard Discharge

Max. Continuous Current	5C(75A)
Max. 10 sec. Pulse	10C(150A)
Cut-off Voltage	2.0V

Standard Charge

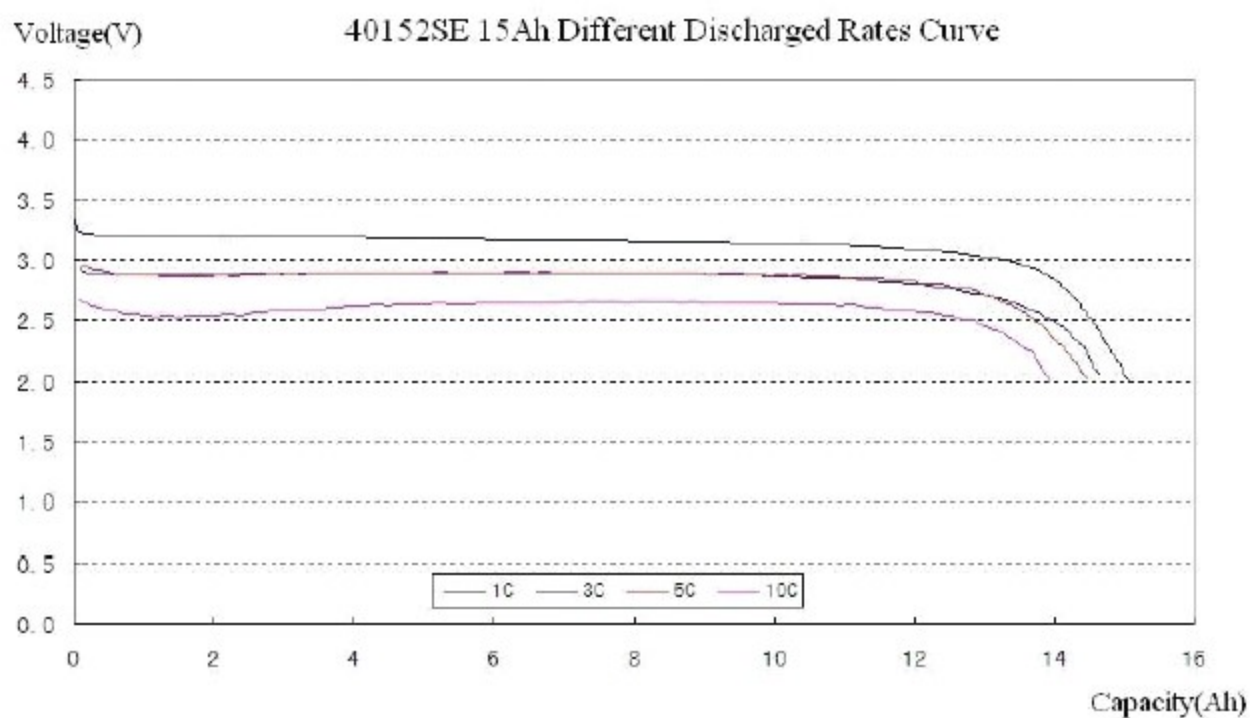
Charge Voltage	3.65V ±0.05V
Recommended Charge Current	2A
Charge Time	8 hours

Resistance and rates

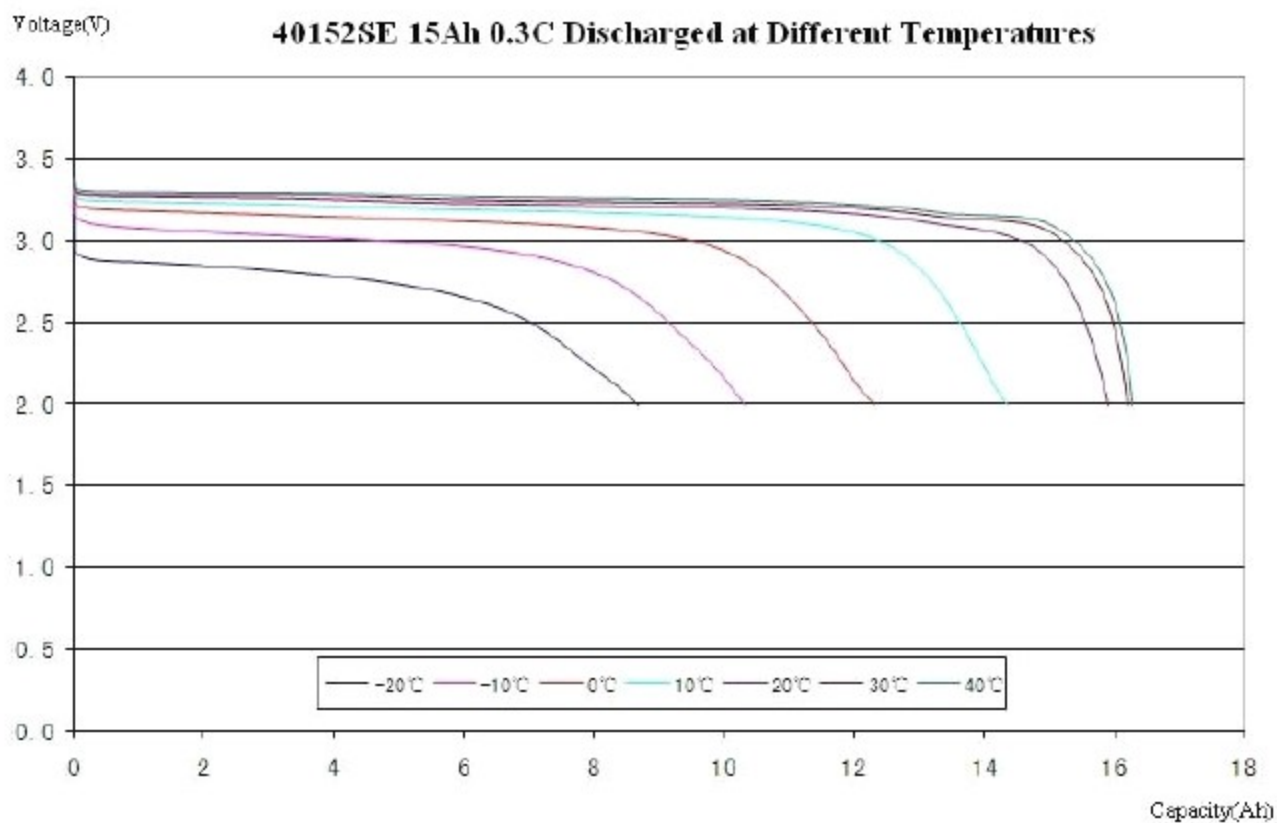
Internal Resistance	≤4m Ω
Self-discharge rate	≤5% per Month



The Different Discharged Rates Curve



0.3C discharged at different temperatures curve



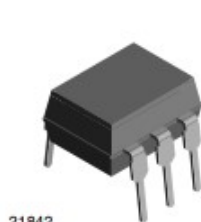
ANEXO D - Folha de dados do Optoacoplador 4N25

4N25, 4N26, 4N27, 4N28

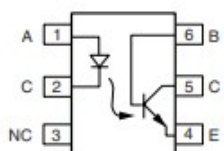
Vishay Semiconductors



Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



177004-5

DESCRIPTION

The 4N25 family is an industry standard single channel phototransistor coupler. This family includes the 4N25, 4N26, 4N27, 4N28. Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC

RoHS
COMPLIANT

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

AGENCY APPROVALS

- UL1577, file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO: EN 60950, EN 60065, EN 60335

ORDER INFORMATION

PART	REMARKS
4N25	CTR > 20 %, DIP-6
4N26	CTR > 20 %, DIP-6
4N27	CTR > 10 %, DIP-6
4N28	CTR > 10 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V _R	5	V
Forward current		I _F	60	mA
Surge current	t ≤ 10 μs	I _{FSM}	3	A
Power dissipation		P _{diss}	100	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V _{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V _{EBO}	7	V
Collector current		I _C	50	mA
	t ≤ 1 ms	I _C	100	mA
Power dissipation		P _{diss}	150	mW

ANEXO E - 123SmartBMS data out protocol

All data will be send in "Big Endian" format.

All data will be send every second or two times a second depending on the BMS speed Baud rate: 9600

Parity bit: None Start bit: 1

Stop bit: 1

Byte	Information	Step	Size	Example
1,2,3	Total Voltage	0,005 Volt/bit	24 bit	0x0105FF = 335,4 Volt
4	Sign byte I1	Ascii: + , - , X	8 bit	0x2B = + , 0x2D = - , 0x58 = X
5,6	Current I1	0,125 Amp/bit	16 bit	0x0100 = 32 Amp
7	Sign byte I2	Ascii: + , - , X	8 bit	0x2B = + , 0x2D = - , 0x58 = X
8,9	I2	0,125 Amp/bit	16 bit	0x0100 = 32 Amp
10	Sign byte I3	Ascii: + , - , X	8 bit	0x2B = + , 0x2D = - , 0x58 = X
11,12	I3	0,125 Amp/bit	16 bit	0x0100 = 32 Amp
13,14	Vmin	0,005 Volt/bit	24 bit	0x0230 = 2,80 Volt
15	Cell Vmin	Cell Nr/bit	8 bit	0x32 = Cell number 50
16,17	Vmax	0,005 Volt/bit	24 bit	0x0230 = 2,80 Volt
18	Cell Vmax	Cell Nr/bit	8 bit	0x32 = Cell number 50
19/20	Tmin	1 Deg / bit + ofset	16 bit	0x0114=0 deg Celcius, 0x0128=20 deg Celcius
21	Cell Tmin	Cell Nr/bit	8 bit	0x32 = Cell number 50
22,23	Tmax	1 Deg / bit + ofset	16 bit	0x0114=0 deg Celcius, 0x0128=20 deg Celcius
24	Cell Tmax	Cell Nr/bit	8 bit	0x32 = Cell number 50
25	Cell nr info	Cell Nr/bit	8 bit	0x32 = Cell number 50
26	Nr off cells	Cell Nr/bit	8 bit	0xFF = Cell number 255
27,28	Cell Voltage	0,005 Volt/bit	24 bit	0x0230 = 2,80 Volt
29/30	Cell Temp	1 Deg / bit + ofset	16 bit	0x0114=0 deg Celcius, 0x0128=20 deg Celcius
31	Status	<i>See info below</i>	8 bit	<i>See info below</i>
32,33,34	TodayEnergy collected	Wh/bit	24 bit	0x000064 = 100 Wh
35,36,37	Energy stored	Wh/bit	24 bit	0x00F221 = 61,985 kWh
38,39,40	TodayEnergy consumed	Wh/bit	24 bit	0x000064 = 100 Wh
41	SOC %	1%/bit	8 bit	0x32 = 50%
42,43,44	Total collected	kWh/bit	24 bit	0x00640000 = 6.553.600 kWh
45,46,47	Total consumed	kWh/bit	24 bit	0x00640000 = 6.553.600 kWh
48,49	Device time MM:SS	H/bit, M/bit	16 bit	0x1620 = 22:32
50,51	Battery capacity	0,1 kWh/bit	16 bit	0x00A0 = 16,0 Kwh
52,53	V-MIN Setting	0,005 Volt/bit	24 bit	0x15FF = 56,31 Volt
54,55	V-MAX Setting	0,005 Volt/bit	24 bit	0x15FF = 56,31 Volt
56,57	V-Bypass Setting	0,005 Volt/bit	24 bit	0x15FF = 56,31 Volt
58	Checksum	0x34	8 bit	Lowest 8 bits of an addition of all bytes before

Status Byte		
MSB	7	SOC not calibrated
	6	Exceed T-MAX
	5	Exceed T-MIN
	4	Exceed V-MAX
	3	Exceed V-MIN
	2	Communication error
	1	Allow to discharge
LSB	0	Allow to charge