

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

Marcelo César dos Reis

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA EMBARCAÇÃO SOLAR PARA O
TRANSPORTE PÚBLICO DE PASSAGEIROS**

Joinville

2016

MARCELO CÉSAR DOS REIS

PROJETO CONCEITUAL DE EMBARCAÇÃO SOLAR PARA O TRANSPORTE
PÚBLICO DE PASSAGEIROS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval no curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville.

Orientador: Dr. Thiago Pontin Tancredi

Joinville

2016

DEDICATÓRIA

Por todo amor, apoio e incentivo que tive ao longo de minha caminhada até então, dedico esse trabalho aos meus pais. Meus maiores exemplos de caráter e perseverança, criadores da minha adoração pelo mar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, a mulher mais batalhadora deste mundo, meu porto seguro.

Ao meu pai, meu melhor amigo, parceiro de navegações e mergulhos.

Ao meu irmão, pela pessoa incrível e inspiradora que é. Sua perseverança com certeza foi um exemplo para que eu chegasse até aqui.

Agradeço ao professor e orientador Thiago Pontin pela eterna coerência, por todos os incentivos e por ser minha maior referência no que se diz respeito à Engenharia Naval.

Agradeço também à empresa WEG. Em especial, agradeço aos Engenheiros Reinaldo Stuart e Eduardo Batista, por não medirem esforços para me ajudar com conhecimento técnico para concretização deste trabalho.

À equipe Babitonga, por todo aprendizado, amizade e por compartilharem do fascínio por barcos solares por tantos anos. Aqui uma lista enorme poderia ser citada, mas faço questão de agradecer à Geovana, Chito, Gustavo e Luiz.

Ao amigo e arquiteto naval Javier Casabe pelo conhecimento e cooperação para realização deste trabalho, deixo meus cumprimentos.

Ao Professor Maurício Aguilar pela enorme contribuição para o universo dos barcos solares em sua dissertação de mestrado, além de sua cooperação com o presente trabalho.

Ao meu amigo e sócio Guilherme Marin. Nossa parceria, troca de conhecimento e amizade nos levarão ao infinito.

Agradeço a todos os amigos que marcaram minha trajetória em Joinville.

Por fim agradeço a todos os professores que foram fundamentais para minha formação como um Engenheiro Naval.

.

RESUMO

O trabalho apresenta o desenvolvimento do projeto conceitual/preliminar de uma embarcação solar para o transporte público de passageiros, motivada pelo crescente interesse mundial no desenvolvimento e utilização de fontes limpas e renováveis de energia. O projeto terá como âmbito de atuação a cidade de Florianópolis, em Santa Catarina e se mostra como uma alternativa hidroviária para o auxílio na mobilidade urbana da ilha. Uma espiral de projeto é desenvolvida, direcionando o desenvolvimento da embarcação. De posse dos resultados do projeto, comparações e sugestões serão feitas para analisar a viabilidade da implementação desse modal de transporte público.

Palavras Chave: *Projeto. Embarcação Solar. Transporte. Energia Limpa, Mobilidade.*

ABSTRACT

The paper presents the development of the conceptual/preliminary desing of solar vessel for public passenger transport, motivated by the growing worldwide interest in the development and use of clean and renewable sourcers of energy. The project will be base in the city of Florianópolis, in Santa Catarina and is shown as a waterway alternative to help in the urban mobility of the island. A design spiral is developed, directing the development of the vessel. With the results of the project, comparisons and suggestions will be made to analyse the feasibility of implementing this mode of public transportation.

Keywords: *Project, Solar Boat, Transport, Clean Energy, Mobility*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pontes de acesso à ilha de Florianópolis.....	15
Figura 2 – Motor de Gramme.....	20
Figura 3 – Anúncio de barcos elétricos	20
Figura 4 - Embarcação Solar de transporte de passageiros Sun Cat 58	23
Figura 5 - Embarcação de uso privado Korona.....	24
Figura 6 - Embarcação solar de pesquisa Turanor Planet Solar.....	24
Figura 7 - Embarcação de Recreação Zholar	25
Figura 8 - Embarcação de competição Babitonga no Desafio Solar Brasil 2013	25
Figura 9 - Distribuição de embarcações e suas funcionalidades	26
Figura 10 - Embarcações solares e seus respectivos anos de construção.....	27
Figura 11 - Primeiro barco solar.....	27
Figura 12 - Primeira embarcação para o transporte de passageiros	28
Figura 13 - Embarcação Solar de passageiros Sonneschein.....	28
Figura 14 - Painéis na cobertura na horizontal barco SunCat 46	29
Figura 15 - Painéis colados ao casco na horizontal.....	30
Figura 16 - Painéis reguláveis	30
Figura 17 - Painéis colados ao casco e inclinados.....	30
Figura 18 - Painéis na horizontal, como cobertura e colados ao casco	31
Figura 19 - Painéis como cobertura inclinados e horizontais.....	31
Figura 20 – Gráfico da porcentagem de embarcações que possuem determinados arranjos de painéis	32
Figura 21 - Distribuição das embarcações conforme concepção do tipo de casco	32
Figura 22 - Distribuição dos arranjos de painéis em embarcações de passageiros	33
Figura 23 - Gráfico das embarcações de passageiros pelo seu comprimento	34
Figura 24 - Conceito dos barcos de transporte de passageiros.....	34
Figura 25 - Curvas de eficiência de motores de indução	38
Figura 26 - Sistema de arrefecimento por manto d'agua da linha WGM.....	39
Figura 27 - Motores de popa elétricos Aquawatt	39
Figura 28 - Tipos de motores e suas porcentagens.....	40
Figura 29 – Distribuição dos tipos de baterias nas embarcações da base de dados ...	41
Figura 30 - Gráfico de carga máxima pelo numero de ciclos das baterias de chumbo ácido	42

Figura 31 - Gráficos de descargas da bateria de chumbo-ácido com variadas amperagens	43
Figura 32 - Diagrama esquemático do funcionamento de uma célula fotovoltaica ...	45
Figura 33 - Tecnologias dos painéis fotovoltaicos existentes	46
Figura 34 - Painéis solares Monocristalino/Policristalino.....	47
Figura 35 – Painel solar Filme Fino	47
Figura 36 - Painél solar OPV	48
Figura 37 - Gráfico das porcentagens das tecnologicas fotovoltaicas nas embarcações solares	49
Figura 38 - Ponto de máxima potência de um painél fotovoltaico.....	51
Figura 39 – Espiral de Projeto de Evans	54
Figura 40 – Rota Ponta de Baixo, Palhoça para o Centro, Florianópolis.....	57
Figura 41 - Rota Centro de Biguaçu - Centro de Florianópolis	58
Figura 42 - Projeto da Marina com terminal Hidroviário na Av. Beiramar.....	59
Figura 43 - Rota Centro de Biguaçu até o Terminal Hidroviário da Marina na Av. Beira Mar.....	59
Figura 44 - Curva extrapolada da Potência x Velocidade de Serviço	62
Figura 45 - Disposição e quantidade de Painéis Fotovoltaicos	63
Figura 46 - Diagrama Elétrico dos motores bombordo/boreste	68
Figura 47 - Diagrama elétrico dos Equipamentos a bordo da MCR SOLAR	70
Figura 48 - Planos de linhas típicos de catamarãs Fonte: Amstrong, 2004.....	71
Figura 49 - Modelagem dos cascos no Rhinoceros Fonte: Imagem capturada pelo autor no Rhinoceros.....	72
Figura 50 - Vista de topo, perfil, isométrica e frontal da embarcação base SunCat 46	74
Figura 51 - Vista de perfil e arranjo interno do CAT BB 43	75
Figura 52 - Retirada de informações de alturas e Desing da embarcação base.....	76
Figura 53 - Expansão das linhas retiradas da embarcação base e esboço do arranjo interno.....	76
Figura 54 - Vistas lateral e de topo da embarcação MCR Solar	77
Figura 55 - Vista isométrica da modelagem 3D MCR Solar	78
Figura 56 - Vista de popa MCR Solar.....	78
Figura 57 - Vista frontal MCR Solar.....	79
Figura 58 - Vista de perfil MCR Solar	79

Figura 59 - Arranjo geral MCR Solar	80
Figura 60 - Curva GZ Obtida pela análise Large Angle Stability.....	82
Figura 61 - Potência x Velocidade MCR Solar	83
Figura 62 - Plano de segurança da embarcação	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nomenclatura do arranjo dos painéis fotovoltaicos	29
Tabela 2 - Comparação entre os tipos de motores elétricos	37
Tabela 3 – Tabela comparativa dos tipos de baterias	41
Tabela 4 – Eficiências dos diferentes tipos de painéis fotovoltaicosFonte: Proença, 2007	49
Tabela 5 - Características dos conversores	50
Tabela 6 – Matriz de Influência	53
Tabela 7- Embarcações semelhantes e seus principais atributos	60
Tabela 8 - Embarcações e suas respectivas potências e velocidades de serviço	62
Tabela 9 - Potência instalada extrapolada	62
Tabela 10 - Parâmetros principais	72
Tabela 11 - Pesos e Centros MCR Solar.Fonte: Elaborado pelo autor	81
Tabela 12 - Entrada dos parâmetros na embarcação	84
Tabela 13 - Parâmetros do propulsor projetado	84
Tabela 14 - Eficiência da tração elétrica	85
Tabela 15 - Características do motor da linha W22 IR3 Premium	86
Tabela 18 - Rendimentos em função da porcentagem da potência	86
Tabela 17 - Materias de salvatagem	87
Tabela 18 - Custos dos equipamentos do sistema de tração elétrica.....	90

LISTA DE SIGLAS

Siglas	Descrição
A	Ampere.
Ah	Ampere-hora.
BOA	Beam Over All – Boca total.
BPS	Battery Protection System – Sistema de Proteção da Bateria.
CAD	Computer Aided Desing – Desenho Auxiliado por Computador.
EUA	Estados Unidos da América.
LOA	Lentgh Over All – Comprimento Total.
LOA/BOA	Razão comprimento por boca
L/B	Razão do comprimento pela boca.
kW	Quilowatt.
mW	Milliwatt.
V	Volt.
V_{ca}	Tensão em corrente alternada.
V_{cc}	Tensão em corrente contínua
W	Watt.
Wp	Watt-pico.
2D	Duas dimensões.
3D	Três dimensões.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivo Geral.....	17
1.2	Objetivos Específicos.....	17
1.3	Estrutura do Relatório.....	17
2	FUNDAMENTAÇÃO teórica.....	18
2.1	Breve Histórico dos Barcos Solares.....	18
2.2	Estado da Arte de Embarcações Solares.....	22
2.3	Breve descrição de Motores Elétricos, baterias, painéis e controladores possíveis de serem utilizados em embarcações solares em 2016.....	35
2.3.1	Motores Elétricos.....	35
2.3.2	Baterias.....	40
2.3.3	Painéis Fotovoltaicos.....	44
2.3.4	Controladores.....	50
3	METODOLOGIA.....	53
4	DESENVOLVIMENTO.....	56
4.1	Requisitos de projeto.....	56
4.1.1	Definição de Rota.....	56
4.2	Capacidade de Transporte.....	60
4.3	Escolha do tipo de casco.....	61
4.4	Resistência ao avanço.....	61
4.5	Definição de Painéis, Motores e Baterias.....	63
4.5.1	Definição dos Painéis.....	63
4.5.2	Definição de Motores:.....	64
4.5.3	Definição de Baterias.....	65
4.6	Planta Elétrica.....	66

4.6.1	Seleção dos Controladores de Carga	67
4.6.2	Seleção do Inversor	67
4.6.3	Diagrama elétrico Motor Bombordo e Boreste	68
4.6.4	Diagrama elétrico Equipamentos Gerais	69
4.7	Caracterização da Embarcação.....	70
4.7.1	Dimensões Principais	70
4.7.2	Geração de energia e propulsão.....	72
4.8	Projeto Geométrico	73
4.9	Pesos e Centros.....	80
4.10	Estabilidade	81
4.11	Planta Propulsiva.....	82
4.11.1	Análise de resistência ao avanço	83
4.11.2	Seleção do propulsor	83
4.11.3	Seleção final do Motor	85
4.12	Balanco energético	86
4.13	Segurança e Salvatagem.....	87
4.14	Custos	90
5	CONCLUSAO.....	91
6	REFERÊNCIAS	92
7	ANEXOS	96

1 INTRODUÇÃO

Grandes densidades demográficas combinadas com o mau planejamento no desenvolvimento de cidades e ineficiências nos sistemas de transporte coletivo representam problemas de mobilidade urbana ao redor de todo o mundo. No entanto, a experiência tem mostrado que, em geral, soluções de infraestrutura urbana e opções de transporte coletivo vêm sendo propostas de maneira ineficiente, especialmente no Brasil.

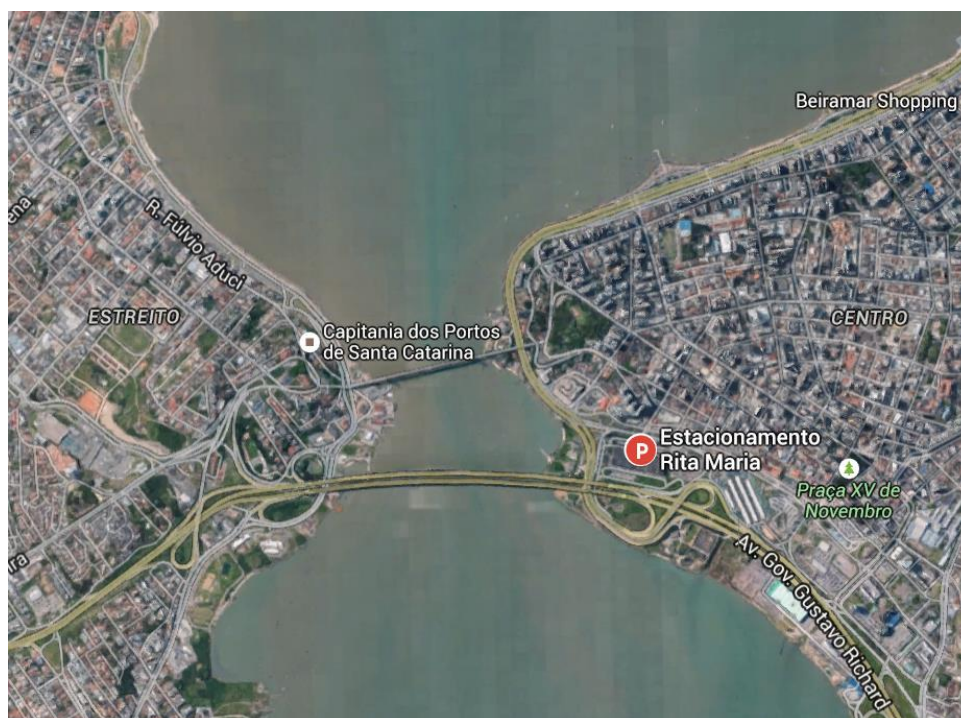
O mundo parece ter percebido, mesmo que timidamente, que o planeta não é uma fonte de recursos inesgotáveis e nossas intervenções para criar a sociedade em que vivemos hoje nos levam para um futuro onde as consequências afetam diretamente a saúde humana. Os grandes centros urbanos criaram cidades caóticas: repletas de barulho, fumaça, desigualdades sociais e consumismo estampado por todos os lados.

Diante desse cenário, sugere-se a seguinte pergunta: é possível utilizar um veículo marítimo para transporte de passageiros que auxilie nos problemas de mobilidade urbana através de mares, rios ou lagos, sem emitir nenhuma poluição?

O Brasil possui 9.198 quilômetros de extensão litorânea, os quais são muito pouco usados para a mobilidade urbana. Além dos mares, quase a mesma quantidade de águas navegáveis podem ser encontradas em rios e lagos naturais existentes no interior do país.

Na ilha de Florianópolis, no estado de Santa Catarina, por dia, 172,2 mil veículos e 24,5 mil motociclistas cruzam as pontes Pedro Ivo e Colombo Salles mostradas na Figura 1, no sentido ilha-continente. Nos horários de pico, no intervalo entre seis e sete horas, esses números chegam a uma média de 7.660 veículos e mil motocicletas, além de 280 ônibus por hora neste trajeto. (LUMINI, 2014).

Figura 1 – Pontes de acesso à ilha de Florianópolis



Fonte: Google Maps (2015)

Esse gargalo, gerado por uma única forma de acesso à ilha, resulta em trânsito intenso e insatisfação com o transporte público, uma vez que a locomoção se torna demasiadamente demorada e cansativa. Além disso, os dados comprovam como o número de carros domina o trânsito, muito em função de um transporte público ineficiente e pouco atrativo à sociedade, que acaba por optar pelo uso do carro.

O potencial hídrico da ilha é inexplorado e será evidenciado neste trabalho, motivando a busca de uma alternativa para o acesso à cidade. Cidades vizinhas de Florianópolis, tais como Palhoça, São José e Biguaçu têm ligação com a baía e podem, via pequenas hidrovias, serem conectadas a diferentes partes da ilha, reduzindo os gargalos gerados pelos deslocamentos por terra.

As opções atuais de transporte urbano são, em sua maioria, dependentes dos combustíveis fósseis, cujas reservas devem exaurir-se antes do final desse século. Há ainda o apelo ecológico: sabe-se que, para frear o aquecimento global, é necessário reduzir as emissões pela queima de dos combustíveis fósseis, que contribuem com 15,1% do agravamento do efeito estufa. (BEER, 2015)

O cenário mundial aponta para a utilização de fontes alternativas de energia limpa. Uma das principais e ainda pouco explorada dessas fontes é a geração a partir da radiação

solar. Se fosse possível utilizar toda a radiação que incide ao redor da Terra por apenas um dia, essa geração poderia sustentar toda a humanidade por 27 anos. (BEER, 2015)

Quando se fala em energia, cabe lembrar que o sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia da terra. É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação e assim a origem dos ciclos das águas, possibilitando o represamento e consequentemente a geração de energia através das hidrelétricas. A radiação solar também induz a circulação atmosférica causando os ventos. Assim, também a energia eólica é uma forma indireta de manifestação da energia solar. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que originalmente obtiveram do recurso solar a energia necessária ao seu desenvolvimento. É através da energia do sol que a matéria orgânica, como a cana-de-açúcar, realiza a fotossíntese e se desenvolve para, posteriormente, ser transformada em combustível nas usinas. (PINHO; GALDINO, 2014)

A energia solar é uma fonte limpa e inesgotável que pode substituir o petróleo e representa um processo de troca na matriz energética, no avesso da poluição provocada pela queima dos combustíveis fósseis, reduzindo o processo de aquecimento global causado pelo efeito estufa agravado pelos gases resultantes do processo de combustão.

A tecnologia mais empregada até então para a geração de energia solar são as placas de silício, que convertem a luminosidade do sol em energia elétrica armazenável em baterias

Barcos solares são embarcações que a partir da utilização de painéis fotovoltaicos fazem sua locomoção utilizando a energia solar. A energia captada pode ser armazenada em baterias e é convertida por um motor elétrico em energia cinética. A fonte energética dessas embarcações é a radiação solar, infinita e limpa, não emitindo gases agravantes do efeito estufa e nem poluição sonora.

Motivado pelo contato com embarcações solares ao longo de grande parte do curso de Engenharia Naval da UFSC, tendo vivenciado e vencido competições nacionais desenvolvendo protótipos de barcos solares, o desafio deste trabalho será usar essa experiência e projetar uma embarcação totalmente movida à energia elétrica para o transporte público de pessoas.

O desenvolvimento seguirá abordagem de projeto representada em uma espiral de projeto, desenvolvida a partir da hierarquização de etapas e requisitos a partir de uma matriz de influência. O objetivo é obter uma embarcação de alto desempenho, capaz de atender a demanda de pessoas e solucionar problemas de mobilidade urbana através de estudos logísticos, ao passo que torna realidade a utilização de uma energia totalmente limpa para o mundo. Serão buscadas as mais novas tecnologias criadas para composição do sistema

elétrico visando o estudo desse conceito como alternativa para mitigar o problema de transporte urbano na cidade de Florianópolis.

1.1 Objetivo Geral

Projetar uma embarcação totalmente movida à energia elétrica para o transporte público de passageiros, tendo como fonte auxiliar a energia advinda do sol, com intuito de fornecer uma alternativa à mobilidade urbana na ilha de Florianópolis.

1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Propor soluções para a mobilidade da cidade de Florianópolis através da utilização do transporte marítimo;
- ✓ Projetar uma embarcação movida à energia elétrica com capacidade de passageiros de acordo com a demanda estipulada;
- ✓ Analisar a viabilidade de utilizar a embarcação projetada para atender o transporte de público de passageiros em Florianópolis.

1.3 Estrutura do Relatório

O trabalho é apresentando em seis capítulos. No primeiro apresenta-se a introdução, no segundo capítulo um estado da arte sobre as embarcações solares e seus componentes é apresentado. No terceiro capítulo, a metodologia de abordagem para desenvolvimento do projeto é apresentada. No quarto todo o desenvolvimento é apresentado. A conclusão é discutida no capítulo cinco, seguida das referências e dos anexos no final.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A revisão bibliográfica do projeto será fortemente baseada na dissertação de mestrado do Professor Maurício Aguilar (Oliveira, 2013). Um estudo do histórico das embarcações solares é apresentado, evidenciando o surgimento de cada um dos principais elementos constituintes da embarcação: bateria, motor elétrico e painéis solares. Por conseguinte, uma apresentação do estado da arte dos barcos solares e seus componentes será apresentada.

2.1 Breve Histórico dos Barcos Solares

O primeiro Barco Solar construído data 1975, o que resulta em mais de 40 anos de desenvolvimento nessa área. É importante notar que para o surgimento do primeiro barco solar foi necessário surgirem os painéis fotovoltaicos, as baterias, os motores elétricos e, obviamente, os barcos. (HAWTHORNE, 1998)

Os primeiros estudos relacionados à eletricidade são os de eletrostática em, 250 a.C., e tornaram-se fonte de pesquisa no século XVIII. (POLIMIO, 2011). Em 1780, durante a dissecação de uma rã, ao tocar a perna dela com o bisturi, notou-se um movimento de contração da mesma. Na época, o italiano Luigi Galvani atribuiu o efeito como *eletricidade animal*. Vinte anos depois, o cientista também italiano Alessandro Volta, percebeu que não se tratava de eletricidade animal, mas da ligação entre dois metais diferentes, o bisturi e a bancada, e de um líquido capaz de transportar os elétrons. Através de seus experimentos, Volta foi capaz de criar a corrente contínua e a primeira pilha. Sua pilha era formada por placas empilhadas de prata e zinco, separados por panos umedecidos em sal ou ácido fraco. Daí, o surgimento do nome pilha. (NISENBAUM, 2008) Com os avanços da pilha surgiu o estudo da eletroquímica, base para o desenvolvimento das baterias e painéis fotovoltaicos. Por essa razão, a criação da pilha pode ser considerada o mais significativo marco para o desenvolvimento de barcos solares.

O britânico Faraday iniciou o estudo sobre eletromagnetismo em 1831, o qual é considerado o início do desenvolvimento dos motores elétricos. O primeiro motor de Corrente Contínua surgiu um ano depois, em 1832 com o Inglês William Sturgeon. Porém, as pilhas,

recentemente descobertas, não proviam energia suficiente para o funcionamento do motor, inviabilizando seu uso. (POLIMIO, 2011)

A partir de estudos em eletroquímica, o francês Becquerel observou, em 1839, que duas placas metálicas de platina ou prata quando expostas a luz produziam uma pequena diferença de potencial. Assim foi observado o primeiro efeito fotovoltaico. (VALLERÂ, 2006).

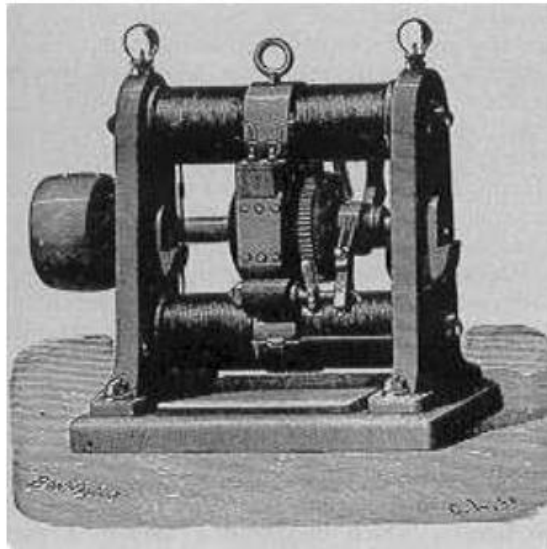
Os três artefatos essenciais para a constituição de uma embarcação solar estavam disponíveis: uma bateria, um motor e a geração de tensão através da luz solar. Porém o efeito fotovoltaico observado produz uma diferença de potencial muito pequena e, portanto, não garante a alimentação dos motores, assim, o uso da energia solar para movimentar uma embarcação ainda não era uma realidade.

Observa-se por volta de 1840 o surgimento do primeiro barco elétrico na Rússia. O barco de Moritz apresentava problemas pelos vapores tóxicos provenientes da pilha. O barco alcançou, em 1840 2,6 por hora com 12 passageiros. (HAWTHORNE, 1998).

Percebe-se a busca por produzir mais energia sem liberação de emissões. Em 1859 o Francês Gaston Plante desenvolveu a bateria de chumbo ácido. Esta é utilizada amplamente até os dias de hoje e sua grande inovação caracterizou-se pela possibilidade de serem recarregadas. (NISEMBAUM, 2008) Como nessa época ainda não havia fontes energéticas que pudessem recarregar a bateria, estas só conheceram suas utilizações práticas com o surgimento dos dínamos. (CHAGAS, 2007)

Em 1873 surgiu o dínamo CC ilustrado na Figura 2, invento criado pelo belga Gramme muito similar ao motor CC que, acionado por uma máquina a vapor, produzia eletricidade. (VALLERÂ, 2006)

Figura 2 – Motor de Gramme



Fonte: Vallerâ, 2006

No fim do século XIX, já com baterias e motores mais desenvolvidos, começaram a surgir muitos barcos elétricos e em 1892 surgiu uma firma que os comercializa, como mostra o anúncio da figura 4. Em torno de 1890 já existia um grande de número de barcos elétricos navegando no rio Tamisa, chegando a 120 embarcações, existindo até pontos de recarga fixos e flutuantes. Os barcos chegavam a ter 65 pés e carregavam 80 passageiros. Em 1930 foram substituídos por motores a combustão, chegando a extinção. (HAWTHORNE, 1998)

Figura 3 – Anúncio de barcos elétricos



Fonte: Hawthorne, 1998

A utilização do motor elétrico para locomoção de veículos continuou sendo predominante até o fim do século XIX, motivando estudos que resultaram na descoberta da corrente alternada e a popularização da eletricidade.

A descoberta da corrente alternada iniciou a “guerra das correntes”, que marcou uma intensa disputa por qual tipo de corrente, alternada ou contínua, alimentaria o sistema de iluminação público, após a invenção da lâmpada por Thomaz Edison em 1879. A corrente alternada surgiu a partir do motor de indução desenvolvido por Tesla e rapidamente comprovou sua alta eficiência, “vencendo” a disputa e ampliando rapidamente sua utilização em redes públicas.

Em 1947 John Bardeen e Walter Brattain deram início ao desenvolvimento do transistor e em 1953, no mesmo laboratório onde se pesquisava silício para os transistores, Calvin Fuller, desenvolve a dopagem, um processo de difusão para colocar impurezas no silício com uma pequena concentração de gálio que torna as cargas móveis e positivas, e por isso, silício do tipo “p”. O colega de trabalho Person, trabalhando em conjunto com ele, ao mergulhar a barra de silício dopada num banho quente de lítio, criou uma superfície de elétrons livres, portadores de carga negativa, denominadas tipo “n”. Na junção “p-n”, um campo elétrico permanente surge. Observou-se que, quando exposta à luz, essa barra produzia corrente elétrica. A partir dessa descoberta, construiu-se a primeira célula solar de silício. (VALERRÂ, 2006).

Até então as células solares estudadas eram de selênio e possuíam uma eficiência de 1%. Testando a nova célula de silício, chegou-se a até 4% de eficiência. A partir daí, de fato se iniciam os estudos de geração de energia elétrica por efeito fotovoltaico.

A primeira utilização das células fotovoltaicas acontece em 1956, para alimentar uma central telefônica. Os resultados foram promissores, porém percebeu-se que o custo era muito alto. (VALERRÂ, 2006)

Custo não era problema para a indústria aeroespacial, dado o auge da corrida espacial, que motivaram pesquisas nessa área. Na época, os satélites eram alimentados por pilhas e a NASA aceitou levar um painel como reserva da pilha no Vanguard I. A pilha falhou no meio da viagem e, muito além das expectativas, o painel de 0,1W manteve o transmissor de 5mW funcionando por oito anos. (VALERRÂ, 2006)

Ainda na década de 1960 desenvolveu-se a texturização da superfície frontal para reduzir as perdas por reflexão. Observaram-se avanços no campo aeroespacial, surgindo a primeira empresa para comercializar os painéis fotovoltaicos, ainda utilizados apenas para boias de navegação, ou para geração de energia em regiões muito remotas. Em 1973, o preço

do petróleo quadruplicou e foram criados programas para reduzir os custos de produção das células solares. (VALERRÂ, 2006)

As células continuaram evoluindo em termos de eficiência e na década de 70 ultrapassaram a barreira de 20% de eficiência nas células de silício monocristalino, na Austrália, e 25% com concentradores de luz. (VALERRÂ, 2006)

Surge em 1982 a primeira central solar de grande porte na Califórnia, com 1MW. Logo em seguida, em 1990, surge na Alemanha e no Japão o programa telhados solares, (VALERRÂ, 2006)

O desenvolvimento tecnológico continua em paralelo ao desenvolvimento da produção e, em 1998, atinge-se a eficiência de 24,7%. Segundo Valerrâ (2006) os painéis mais vendidos comercialmente são os policristalinos, com eficiências entre 13 e 17%. Outros autores se referem a valores entre 12 e 15%.

Durante esses anos outros desenvolvimentos surgiram, um dos mais importantes deles no campo da eletrônica, permitindo o controle de velocidade dos motores CA por meio de inversores, os conversores de energia CC para CA, possibilitando a variação da frequência de alimentação do motor de indução e, portanto, sua velocidade. (OLIVEIRA, 2013).

As baterias conseguem consideráveis avanços no século XX. O surgimento das baterias seladas de chumbo-ácido reduziu o tamanho das que chegavam a ocupar salas inteiras, requerendo inclusive um sistema exaustor. O tamanho compacto, a desnecessidade de controle da densidade eletrólito e o abastecimento de água selada, tornou possível a utilização das baterias nos veículos. (CHAGAS, 2007)

As baterias de lítio surgem na década de 1970 e a primeira empresa a comercializá-la foi a Sony, em 1990. (OLIVEIRA, 2013)

2.2 Estado da Arte de Embarcações Solares

O pesquisador holandês Tim Gorter vem registrando informações sobre todas as embarcações solares existentes no mundo. O mesmo vem fazendo estudos e análises de projetos e possui alguns artigos publicados que serviram de auxílio para a constituição dessa revisão bibliográfica do estado da arte das embarcações solares. As informações aqui citadas estão disponíveis nos artigos: “*PV-boats: design issues in the realization of PV powered boats*” (GORTER, 2010) e “*Performance evaluation of Photovoltaic Boats in an early desing stage*”. (GORTER, 2015), bem como na dissertação “*Análise da viabilidade de Embarcações Solares para o Transporte Público de Passageiros*” (OLIVEIRA, 2013).

Para entender como são utilizadas as embarcações solares no cenário mundial, o pesquisador holandês dividiu os barcos em quatro grupos: transporte de passageiros, pesquisa ou uso privado, recreação e competição.

Os destinados ao transporte de passageiros se assemelham a ideologia proposta por este trabalho, servem para transportar passageiros de um ponto a outro. Os de pesquisa ou uso privado não possuem finalidade específica, além de comprovar a possibilidade do uso da energia solar para movimentar uma embarcação. Já os de recreação são geralmente barcos para aluguel utilizados para turismo ou até o próprio conhecimento da embarcação solar. Por fim, as embarcações destinadas às competições como o DONG Solar Challenge, Frisian Solar Challenge e o Desafio Solar Brasil, são encontradas em maioria. Essas competições tratam-se de ralis náuticos que promovem um grande desenvolvimento tecnológico das embarcações solares, uma vez que os participantes estão sempre buscando os mais eficientes sistemas elétricos, as melhores e mais leves formas de casco.

Nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8 a seguir pode-se visualizar um exemplo de cada categoria de embarcação solar:

Figura 4 - Embarcação Solar de transporte de passageiros Sun Cat 58



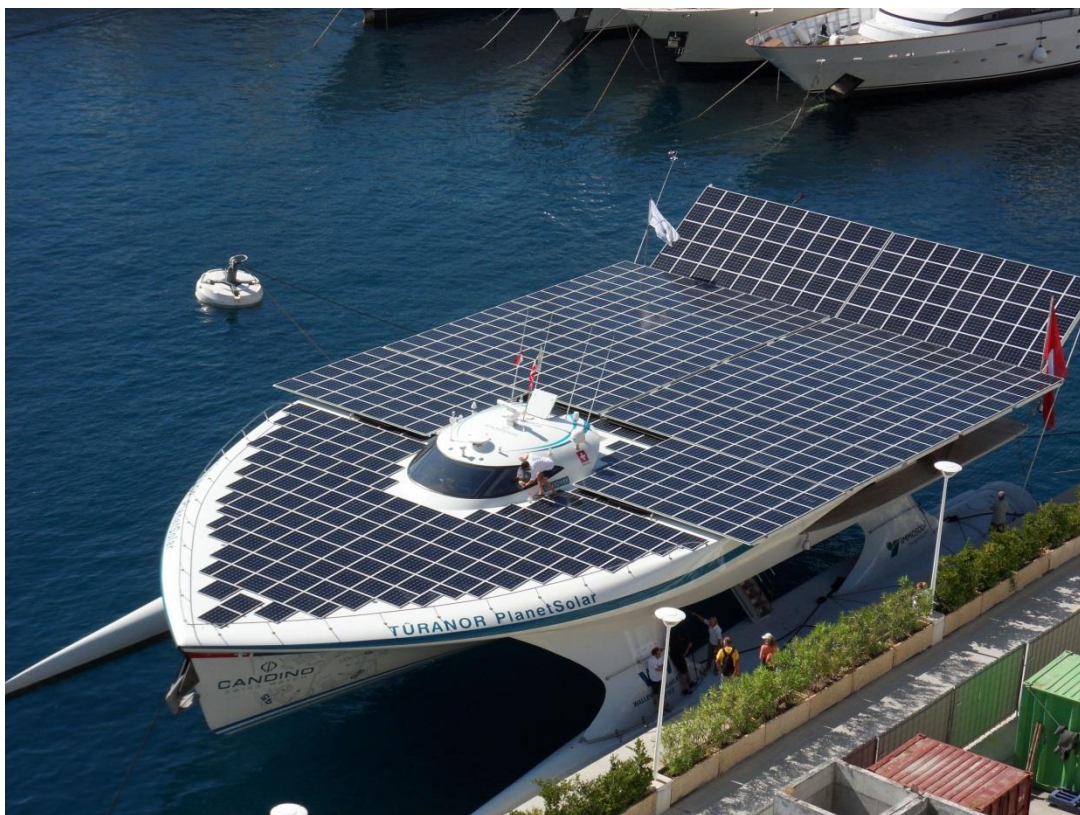
Fonte: SolarWaterWorld

Figura 5 - Embarcação de uso privado Korona



Fonte: Gorter (2010)

Figura 6 - Embarcação solar de pesquisa Turanor Planet Solar



Fonte: Gorter (2010)

Figura 7 - Embarcação de Recreação Zholar



Fonte: Gorter (2010)

Figura 8 - Embarcação de competição Babitonga no Desafio Solar Brasil 2013

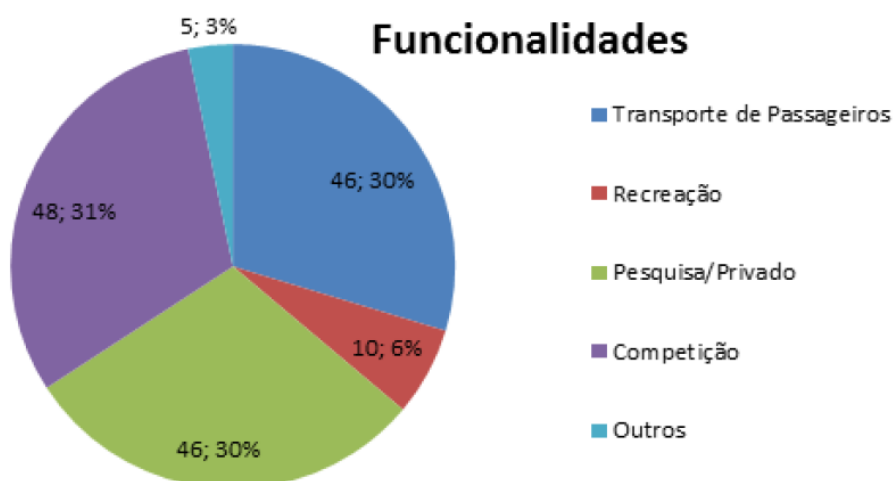


Fonte: Autor (2013)

Gorter fez uma base de dados com 160 embarcações solares que foi alimentada ainda mais por Oliveira, e, no gráfico da

Figura 9, observa-se a distribuição do número de embarcações conforme sua classificação:

Figura 9 - Distribuição de embarcações e suas funcionalidades



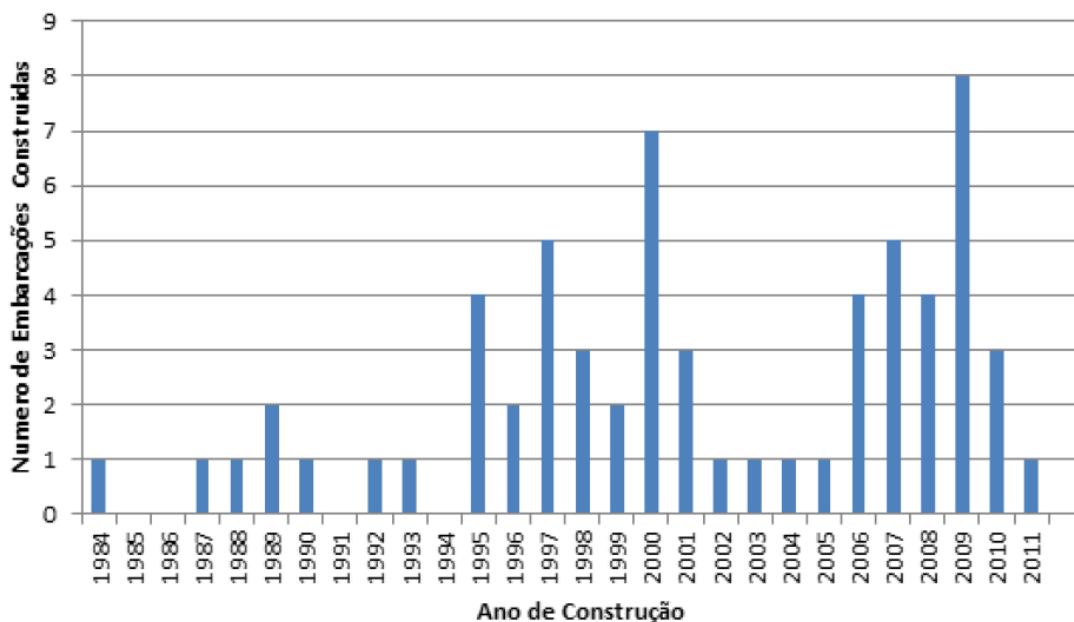
Fonte: 2013, Oliveira Apud Gorter (2010)

Observa-se a predominância das embarcações de competição. A importância das competições para o desenvolvimento de barcos solares é evidente, é nela onde surgem novos motores, sistemas de controle e tecnologias de controle elétrico. Oliveira (2013) traz uma lista cronológica dos locais e datas onde aconteceram as competições no mundo: Solar Splash, 1994, EUA; First Solar Boat European Championship, 1995, França; Dong – Frisian Solar Challenge, 2006 Holanda; Solar Cup, 2008, EUA; Desafio Solar Brasil, 2009, Brasil; Itália, Polônia e Argentina também possuem competições de embarcações solares. Possivelmente existam no mundo outras competições na mesma área.

Alguns dados comprovam a eficácia das competições no desenvolvimento. O primeiro barco movido à energia solar para o transporte público de passageiros surgiu três anos depois de uma competição em 2007, na França. O barco foi projetado, fabricado e comercializado por membros de uma equipe que venceu o Frisian anos antes. Fato similar aconteceu após a competição brasileira com o surgimento da embarcação Holos, lançada no RIO+20. Holos é uma embarcação desenvolvida pela UFSC em parceria com o polo náutico da UFRJ e algumas empresas do segmento, tais como a WEG, e funciona atualmente em Manaus como transporte de alunos para as escolas.

Tirando o foco das embarcações de competição que não se encaixam tanto com a finalidade do presente trabalho por geralmente transportarem apenas o piloto da embarcação, apresenta-se na Figura 10 o número e o ano de construção das embarcações das outras finalidades (transporte de passageiros, privado/pesquisa e recreação). Observa-se o aumento no número dessas embarcações com o surgimento das competições de 1994 para 1995.

Figura 10 - Embarcações solares e seus respectivos anos de construção



Fonte: 2013 Oliveira Apud, Gorter (2010)

A base de dados de Gorter se reduz a 111 embarcações solares quando deixamos de analisar as embarcações de competição e essas serão discutidas a seguir.

O primeiro barco solar desvinculado à competição foi criado em 1975 por Alan T. Freeman. (1998 apud HAWTHORNE e OLIVEIRA 2013)

Figura 11 - Primeiro barco solar



Fonte: Hawthorne, 1998

A primeira embarcação para o transporte de passageiros se chama Solar Gajner e data 1992. A embarcação já utilizava os populares motores de popa elétricos desenvolvidos a partir de 1975, porém, acabava por ser uma embarcação para trajetos realmente muito curtos.

Figura 12 - Primeira embarcação para o transporte de passageiros



Fonte: Oliveira, 2013

Em 1995 surgem barcos solares para o transporte de passageiros com comprimentos maiores, entre oito e doze metros. Em 1997 surge a embarcação Sonnenschein (Figura 13) muito citada na internet atribuindo seu desenvolvimento às competições. (OLIVEIRA, 2013)

Figura 13 - Embarcação Solar de passageiros Sonnenschein



Fonte: Oliveira, 2013

Em sua tese “*PV-boats: design issues in the realization of PV powered Boats*”, Tim Gorter faz um agrupamento das embarcações em sua base de dados quanto à forma em que os painéis fotovoltaicos são fixados na embarcação, na Tabela 1 podem-se visualizar as classificações feitas por ele:

Tabela 1 - Nomenclatura do arranjo dos painéis fotovoltaicos

Modo de fixação do painel na embarcação:
Na horizontal, cobertura
Na horizontal, colado ao casco
Regulável
Inclinado, colado ao casco
Na horizontal, colado ao Casco, cobertura
Regulável, inclinado, colado ao casco
Na horizontal, inclinado, cobertura
Inclinado, cobertura
Regulável, na horizontal, cobertura

Fonte: Gorter, 2010

Nas Figuras 14, 15, 16, 17, 18 e 19, a seguir, podemos visualizar imagens dos principais arranjos dos painéis nas embarcações:

Figura 14 - Painéis na cobertura na horizontal barco SunCat 46



Fonte: Solar Water World, 2016

Figura 15 - Painéis colados ao casco na horizontal



Fonte: Gorter, 2010

Figura 16 - Painéis reguláveis



Fonte: Gorter, 2010

Figura 17 - Painéis colados ao casco e inclinados



Fonte: Oliveira, 2013

Figura 18 - Painéis na horizontal, como cobertura e colados ao casco



Fonte: Oliveira, 2013

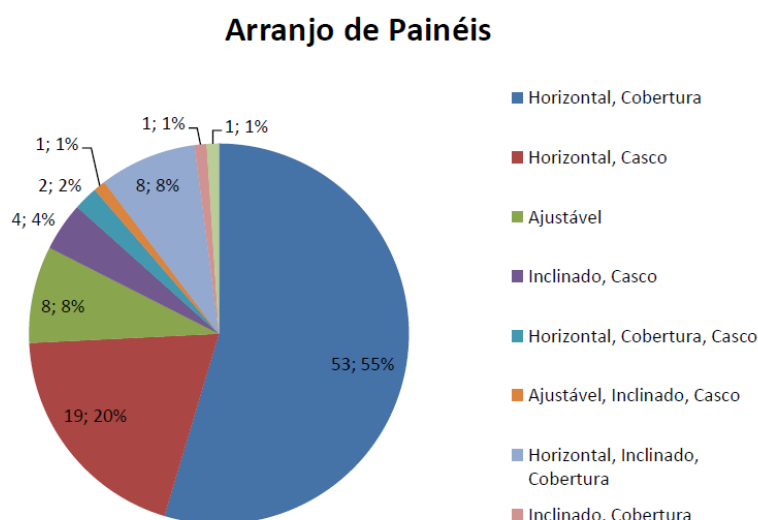
Figura 19 - Painéis como cobertura inclinados e horizontais



Fonte: Oliveira, 2013

Essa classificação feita por Gorter tem o primeiro termo do seu conceito observando se o painel está na horizontal, inclinado, ou vertical. O segundo se é fixo ao casco ou na cobertura e, por último, se possui ajuste para melhorar sua inclinação para absorver a irradiação solar. Na Figura 20 a distribuição quanto ao arranjo e posicionamento dos painéis solares conforme a base de dados de Gorter é mostrada na forma de um gráfico

Figura 20 – Gráfico da percentagem de embarcações que possuem determinados arranjos de painéis

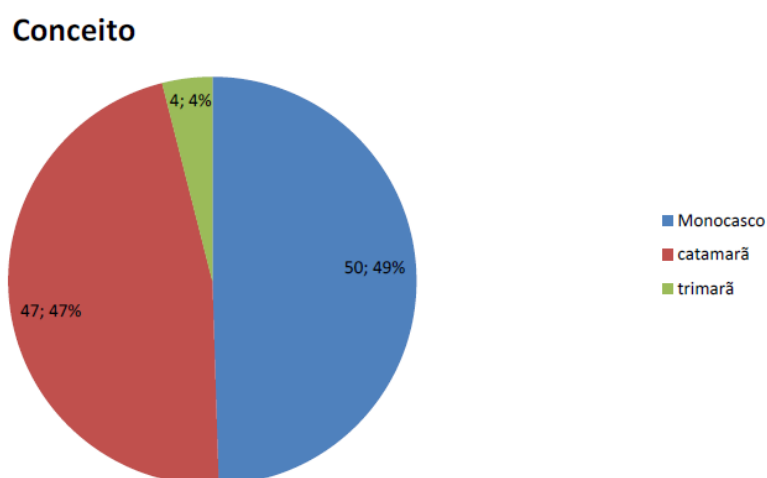


Fonte: 2013, Oliveira, Apud Gorter 2010

Percebe-se que a maioria das embarcações possuem os painéis sob a cobertura posicionados na horizontal, sem regulagem. O segundo lugar fica para horizontais colados ao casco e por último os ajustáveis, juntamente com inclinação na cobertura.

Outro importantíssimo aspecto a se analisar nas embarcações é quanto as suas concepções de cascos: monocascos, catamarãs ou trimarãs. Na Figura 21 é mostrada a distribuição das concepções dentre as 111 embarcações analisadas por Gorter.

Figura 21 - Distribuição das embarcações conforme concepção do tipo de casco

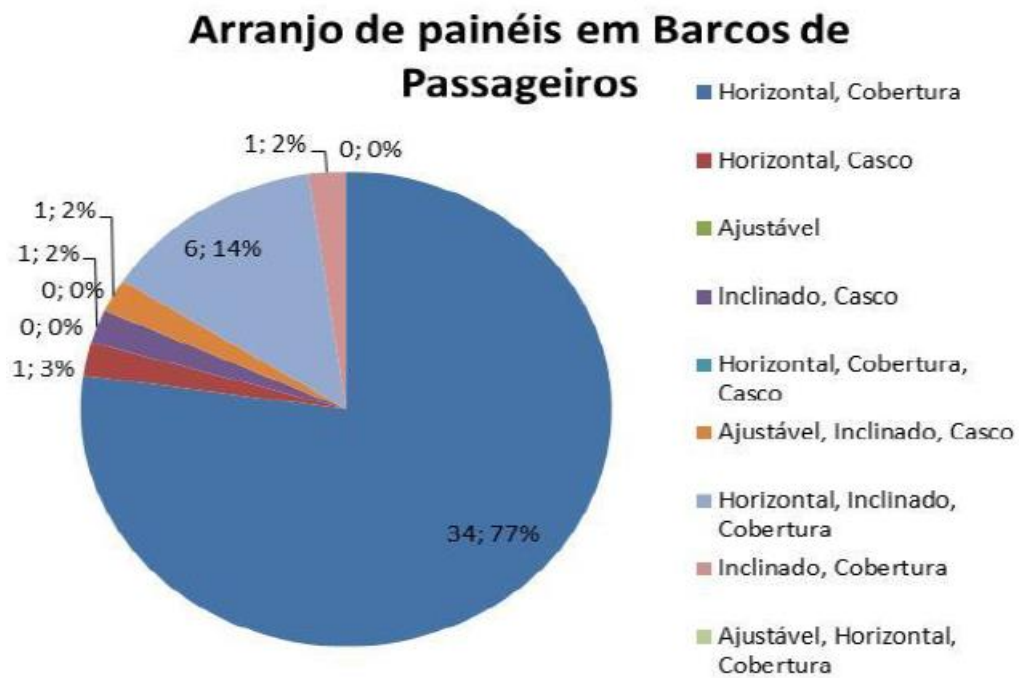


Fonte: 2013, Oliveira, Apud Gorter 2010

Os conceitos de catamarã e monocasco são encontrados em maioria e em quase mesma proporção nas embarcações solares. Seguindo a análise proposta por Oliveira (2013),

após analisar as 111 embarcações que excluía as de competição, observa-se agora os mesmos parâmetros apenas para as embarcações destinadas ao transporte de passageiros, que é o foco deste trabalho. Na Figura 22 é mostrada a distribuição dos arranjos de painéis solares em embarcações de transporte de passageiros.

Figura 22 - Distribuição dos arranjos de painéis em embarcações de passageiros

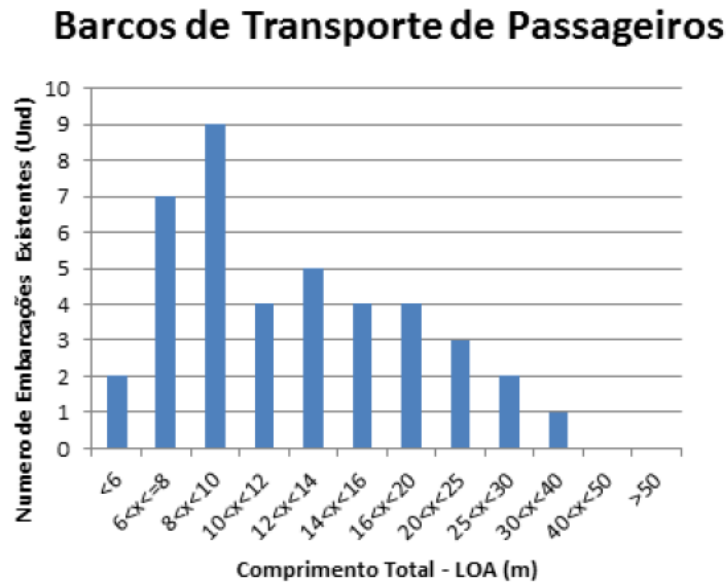


Fonte: 2013, Oliveira, Apud Gorter 2010

Pode-se observar que o arranjo de painéis predominantes nas embarcações solares de transporte de passageiros é o horizontal sob a cobertura, representando 77% dos casos estudados e 91% se for considerados aqueles que possuem inclinados na cobertura. Isso deve-se ao fato de uma vez que estão na cobertura, os painéis recebem a máxima iluminação além de não influírem no arranjo da embarcação, servindo como proteção aos passageiros contra o sol e chuva.

Na Figura 23, podemos observar a distribuição das embarcações de transporte de passageiros em função do comprimento total (LOA).

Figura 23 - Gráfico das embarcações de passageiros pelo seu comprimento



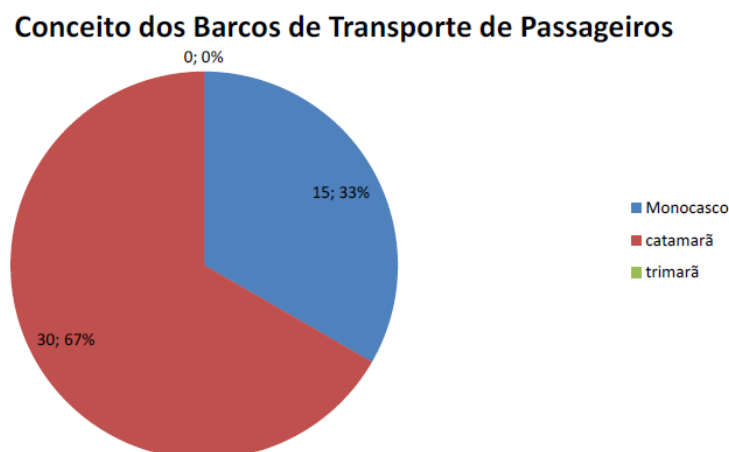
Fonte: 2013, Oliveira, Apud Gorter 2010

Por se tratarem de embarcações para o transporte de passageiros, esses barcos possuem comprimentos maiores, em sua maioria entre oito e dez metros de comprimento, como observado no gráfico.

Seguindo a análise, observam-se as concepções de casco dessa categoria de embarcações. Na

Figura 24 é mostrada a distribuição das embarcações de passageiros entre monocascos, catamarãs e trimarãs:

Figura 24 - Conceito dos barcos de transporte de passageiros



Fonte: 2013, Oliveira, Apud Gorter 2010

Observa-se a inexistência de embarcações trimarãs que se enquadram somente em competição e pesquisa e destaca-se, principalmente, a predominância de embarcações do tipo

catamarã. Esse fato deve-se a segurança na estabilidade desse conceito e a grande área de convés disponível para disposição dos passageiros e dos painéis sob o teto.

Cabe, ao final dessa análise, destacar dois grandes feitos de embarcações solares que marcaram a história. Em 2007, a embarcação Sun21 fez a travessia do Atlântico e, em 2012, a embarcação Planet Solar completou a volta ao mundo, utilizando somente a energia do sol, mostrando para a humanidade o potencial e capacidade dessa energia. (OLIVEIRA, 2013)

2.3 Breve descrição de Motores Elétricos, baterias, painéis e controladores possíveis de serem utilizados em embarcações solares em 2016

Nesta secção é apresentada uma breve descrição sobre motores, painéis, controladores e baterias.

Um barco solar pode ser definido como uma embarcação que capta energia solar através dos painéis fotovoltaicos e converte em energia elétrica, que pode ou não ser armazenada nas baterias. A energia é convertida através do motor em energia mecânica que, por sua vez, imprime energia cinética na embarcação.

Existem incontáveis tipos desses componentes de barcos solares, porém, no presente trabalho, serão brevemente descritos alguns dos principais e mais utilizados nesse tipo de embarcação atualmente.

Essa pesquisa se baseará na dissertação de Oliveira (2013) e do material e catálogos disponibilizados pela empresa WEG.

2.3.1 Motores Elétricos

O motor elétrico é o responsável por converter a energia elétrica em energia mecânica para que então a embarcação possa se locomover. É o principal consumidor de energia dentro de uma embarcação solar.

Os motores elétricos CC surgiram no final do século XIX e até 1958 foram os mais utilizados em tarefas que necessitavam de variação na rotação. Na década de 1960 os inversores de triristores começaram a ser desenvolvidos para o acionamento dos motores de indução. No entanto, devido a uma característica de não poder ser bloqueado por um sinal de controle, esses inversores não evoluíram. Em 1979, com um dispositivo semelhante ao transistor, foi possível desenvolver inversores para acionar os motores de indução. Hoje,

portanto, é possível controlar a velocidade de motores CA e utilizá-lo mesmo que todo o resto do sistema elétrico seja CC. (OLIVEIRA, 2013)

Como as pesquisas em barcos solares são em um número bastante reduzido, sendo encontradas ainda pouquíssimas referências, deve-se ampliar a busca também para os sistemas presentes em carros elétricos. Algumas características importantes dos motores utilizados em carros elétricos foram listadas por Chan (2002), que enumera as principais características desejáveis a motores elétricos:

- 1- Alta potência instantânea e alta densidade de potência
- 2- Alto torque em velocidades baixas para partida e para subir ladeiras e alta potência para altas velocidades de cruzeiro.
- 3- Grande faixa de velocidades incluindo torque constante e potência constante em algumas regiões.
- 4- Respostas em alto torque.
- 5- Alta eficiência em uma larga faixa de velocidades e torque.
- 6- Alta eficiência para o freio regenerativo.
- 7- Alta confiabilidade.
- 8- Custos razoáveis.

Essas características não são exatamente as mesmas para os barcos solares, porém, são similares. Oliveira cita algumas das diferenças observadas:

- 1- As embarcações solares não precisam de aceleração, ao contrário dos carros elétricos.
- 2- Elas operam em faixas mais restritas de velocidade e giram em torno de uma velocidade de cruzeiro.
- 3- Torque inicial deve ser alto para vencer a inércia do hélice
- 4- As potências mais altas são utilizadas para manobras e não em altas velocidades, outra razão para serem entregues altos torques de partida.
- 5- Não utilizam freios regenerativos.

Chan (2002) traz alguns dos tipos de motores utilizados em carros elétricos onde se destaca que os motores mais presentes são os de ímã permanente (incluindo os CC e os CA) representando 36%, seguidos pelos motores de indução e os de corrente contínua, ambos com 27% de predominância. É importante frisar que essa porcentagem corresponde aos motores utilizados em carros elétricos.

A fim de analisar quais dos motores são mais interessantes e viáveis para barcos solares, Oliveira utiliza do trabalho de Kar (2006) que, ao fim do artigo, compara os motores elétricos em termos de eficiência, confiabilidade, densidade de potência, maturidade da tecnologia e custos. Os motores mais eficientes são os de ímãs permanentes sem escovas, na sequência vêm os motores de indução, que possuem eficiências similares aos motores de relutância chaveados. Por último, encontram-se os motores CC.

Em se tratando da maturidade da tecnologia, os motores CC e os motores de indução possuem mais artigos escritos e mais estudos realizados que os motores de ímã indicando que se tratam de tecnologias mais velhas e mais maduras.

Quando se fala em confiabilidade, incluindo manutenções preventivas e possíveis quebras, Kar (2006) afirma que os motores de indução são os mais confiáveis justamente com os de relutância chaveados, seguidos pelos de ímã permanente. Os menos confiáveis são os motores CC, fato que se deve principalmente pela manutenção demandada pelas escovas.

No aspecto densidade de potência os motores de ímãs permanentes possuem o melhor resultado, seguidos pelos motores de indução e de relutância chaveados. Os motores CC possuem novamente os piores desempenhos no quesito densidade de potência.

No quesito custo os motores de indução são os mais baratos, seguidos pelos motores CC e os de relutância variável. Os motores de ímã permanente aparecem pela primeira vez na última colocação sendo os mais caros. Oliveira (2013) traz na Tabela 2 dados que sintetizam as informações citadas nos últimos parágrafos. As qualidades estão comparadas por numeração crescente de um quando exibem melhores características e três quando piores. A fim de ranquear, um somatório foi feito adaptando a tabela proposta por Kar (2006). Dessa forma, a soma com o menor valor representará o motor com as melhores qualidades acumuladas.

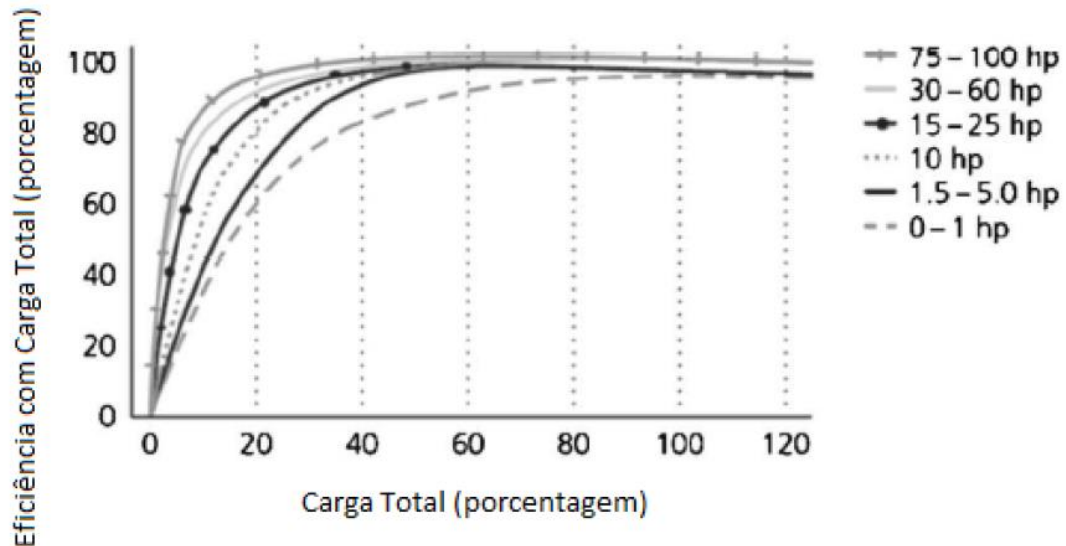
Tabela 2 - Comparação entre os tipos de motores elétricos

Comparação de Motores Elétricos (Kar)				
	Motor CC	Motor Ímã Perm.	Motor Indução	Chaveados
Eficiência	3	1	2	2
Confiabilidade	3	2	1	1
Densidade de Potência	3	1	2	2
Maturidade de Tecnologia	1	2	1	2
Custos	2	3	1	3
TOTAL	12	9	7	10

Fonte: 2013 Oliveira, Apud Kar 2006

O autor Burt (2006) apresenta no seu artigo as curvas de eficiência de alguns motores de indução. Destaca-se que esses motores possuem uma eficiência muito alta, perto da máxima, até metade de sua carga máxima. As curvas de eficiência podem ser vistas no gráfico da Figura 25:

Figura 25 - Curvas de eficiência de motores de indução



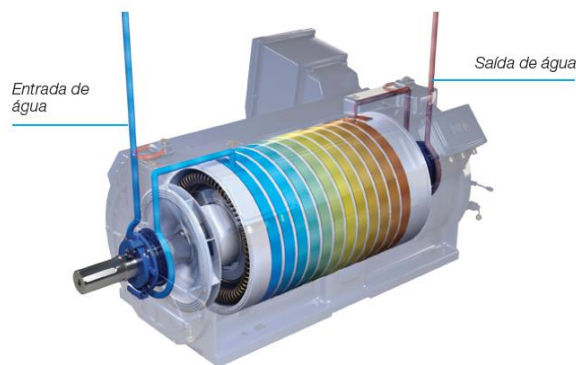
Fonte: 2013 Oliveira, Apud Burt 2006

A empresa brasileira WEG, consolidada no mercado mundial como produtora de motores e equipamentos elétricos, recentemente entrou no mercado naval produzindo uma série de motores com aplicações navais, tanto para aplicações gerais na embarcação como bombas e guinchos, como para propulsão de proa, popa e azimuthal. A linha HGF (2016), indicada para a propulsão, possui potências entre 90 a 800 kW. A linha completa pode ser visualizada no Anexo A.

A WEG apresenta ainda uma excelente alternativa para o segmento naval que é a linha WGM, com refrigeração por manto d'água, cujo funcionamento é mostrado na

Figura 26:

Figura 26 - Sistema de arrefecimento por manto d'agua da linha WGM



O sistema de refrigeração por manto d'água dos motores linha WGM funciona com a circulação de água através da carcaça e tampas. Além de permitir uma troca térmica mais eficaz entre o motor e a água, o sistema reduz a temperatura dos condutores ao longo da ranhura e eleva a relação potência por peso. Essa refrigeração mantém a eficiência térmica, inclusive em velocidades reduzidas, o que permite o uso do inversor de frequência com ampla faixa de velocidade, até mesmo em aplicações severas com torque constante. O manto d'água também minimiza as trocas de calor com o ambiente, resfria os mancais e dispensa a ventilação forçada, reduzindo a manutenção e o ruído sonoro.

Fonte: Motores MWM, mais potência e praticidade, (WEG, 2009),

A linha WGM se apresenta como a melhor solução para o mercado naval por possuir uma redução no seu tamanho e peso sem perda de potência. As características padrões, porém, são potências entre 315 e 2800 kW e tensões de 690 a 6600 V.

A embarcação Holos Brasil utiliza motores nacionais da WEG, porém não específicos para o uso marítimo, que devem possuir alta resistência à umidade e carcaças de alumínio para evitar oxidação rápida. Deve-se ter muito cuidado ao adaptar motores não especificados para o uso marítimo.

Foram encontrados motores de popa elétricos da empresa Aquawatt. Os motores são também de Indução CA, com potências entre 4,3 e 50 kW.

Figura 27 - Motores de popa elétricos Aquawatt

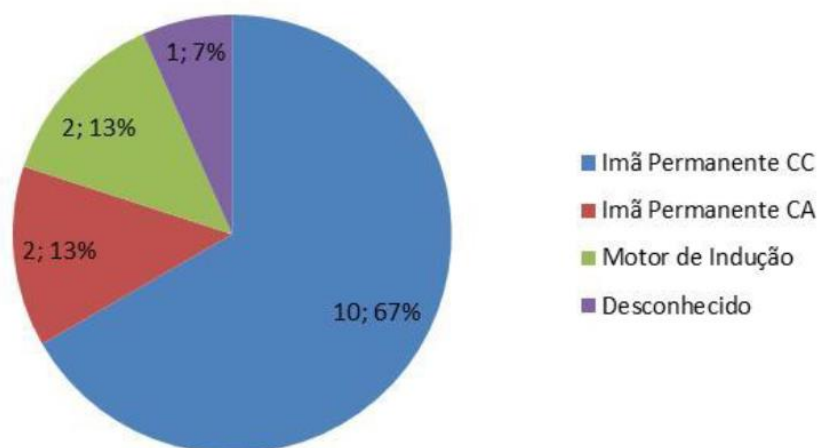


Fonte: Aquawatt, 2016

Os motores elétricos de indução e os de ímã permanente CA ou CC se apresentaram como soluções mais eficientes e possíveis para embarcações solares, pois atendem a principal exigência: alta eficiência. Os valores chegam em torno dos 90% e mantem essa eficiência mesmo com potências de 50% do seu valor máximo.

Na base de dados de Tim Gorter, encontra-se a especificação de alguns motores elétricos utilizados nas embarcações. Os dados constituem uma amostra pequena, sendo 15 das 111 embarcações catalogadas. Na Figura 28, podemos visualizar as porcentagens dessa amostra quanto à classificação do motor.

Figura 28 - Tipos de motores e suas porcentagens



Fonte: 2013 Oliveira, Apud Gorter 2010

A conclusão sobre motores elétricos para barcos solares é que a característica mais procurada é a alta eficiência. (OLIVEIRA, 2013).

2.3.2 Baterias

A função das baterias nos barcos solares é armazenar a energia elétrica advinda dos painéis fotovoltaicos em forma de energia química para, posteriormente, ser utilizada como

energia elétrica para alimentar o motor da embarcação. Elas são os maiores obstáculos para carros elétricos. Segundo Chan (2002), as demandas de uma baterias para carros elétricos são:

- 1 – Alta energia específica (kWh/kg) e densidade de energia (kWh/litro);
- 2 – Alta potência específica (kW/kg) e densidade de potência (kW/litro);
- 3 – Alta velocidade de recarga e capacidade de descarga profunda
- 4 – Ciclos de vida longos e ciclos longos;
- 5 – Alta taxa de descarga e alta eficiência de recarga;
- 6 – Necessidade de pouca manutenção;
- 7 – Reciclabilidade e baixos danos ao meio ambiente.

A alta energia específica é um aspecto também interessante aos barcos solares, uma vez que as baterias constituem uma parcela bastante considerável do deslocamento total de uma embarcação. O volume ocupado já não se encaixa como um grande problema. Neste trabalho, que visa o projeto de uma embarcação para o transporte de pessoas e, que no seu período de inoperância, é recarregada por uma tomada de cais (ao contrário da dissertação de Oliveira (2013)), a alta velocidade de recarga também é um requisito importante, bem como descargas profundas, longos ciclos de vida a longos ciclos.

Alta taxa de descarga é um aspecto importante para suprir a demanda máxima de corrente do motor em manobra, segundo Oliveira (2013).

O pesquisador Chan traz na Tabela 3 uma comparação dos principais tipos de baterias com alguns dos requisitos antes citados:

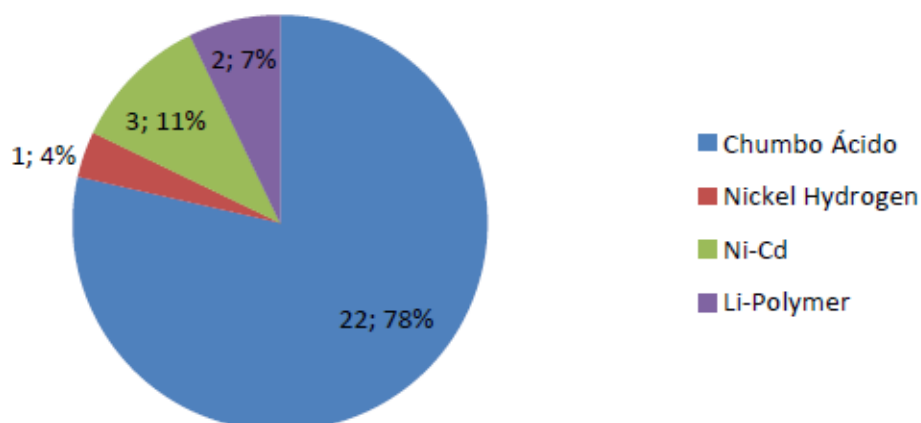
Tabela 3 – Tabela comparativa dos tipos de baterias

Baterias	Energia Específica (Wh/kg)	Densidade de Energia (Wh/litro)	Potência Específica (W/kg)	Ciclos de Vida (nº ciclos)	Custos (US\$/kWh)
Chumbo-ácido	30-45	60-90	200-300	400-600	150
Ni-Cd	40-60	80-110	150-350	600-1200	300
Ni-MH	60-70	130-170	150-300	300	100-300
Li Polymer	155	220	315	600	NA
Li-Ion	90-130	140-200	250-450	800-1200	>200

Fonte: 2013 Oliveira, Apud Chan, 2002

Na base de dados de Tim Gorter foram registradas as baterias utilizadas por 22 das 111 dentro do universo de barcos solares pesquisados por ele e, a distribuição do tipo de bateria dentro dessas 22 embarcações pode ser visualizada no gráfico da Figura 29.

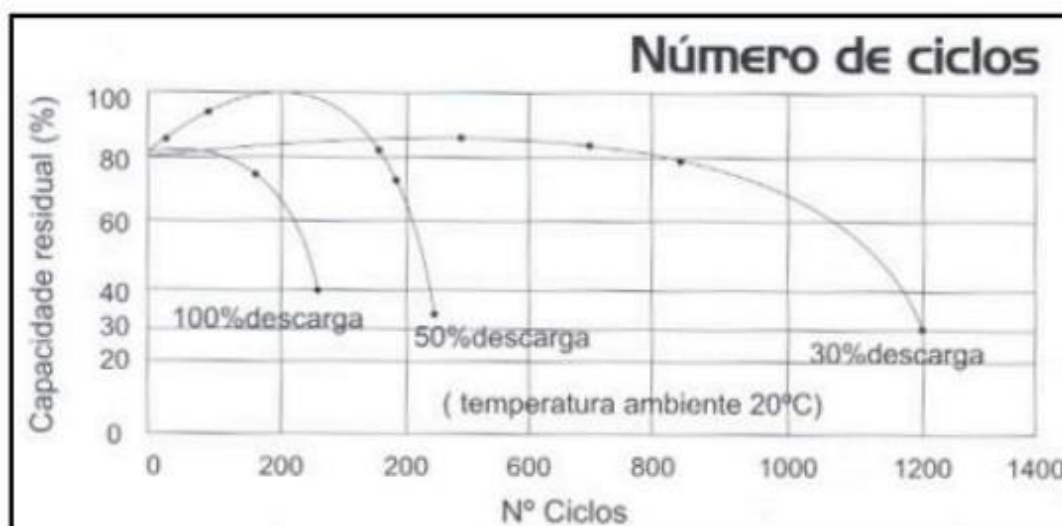
Figura 29 – Distribuição dos tipos de baterias nas embarcações da base de dados



Fonte: 2013 Oliveira, Apud Gorter 2010

As baterias de chumbo-ácido são as mais utilizadas em barcos solares como visto no gráfico. O custo com certeza é um fator determinante juntamente com a capacidade de entregar altas potências. Essas baterias possuem valores considerados bons, apesar de não serem os melhores, conforme visto na Tabela 3. Cabe aqui aproximar-se um pouco mais desse tipo de baterias e fazer algumas observações.

Figura 30 - Gráfico de carga máxima pelo numero de ciclos das baterias de chumbo ácido

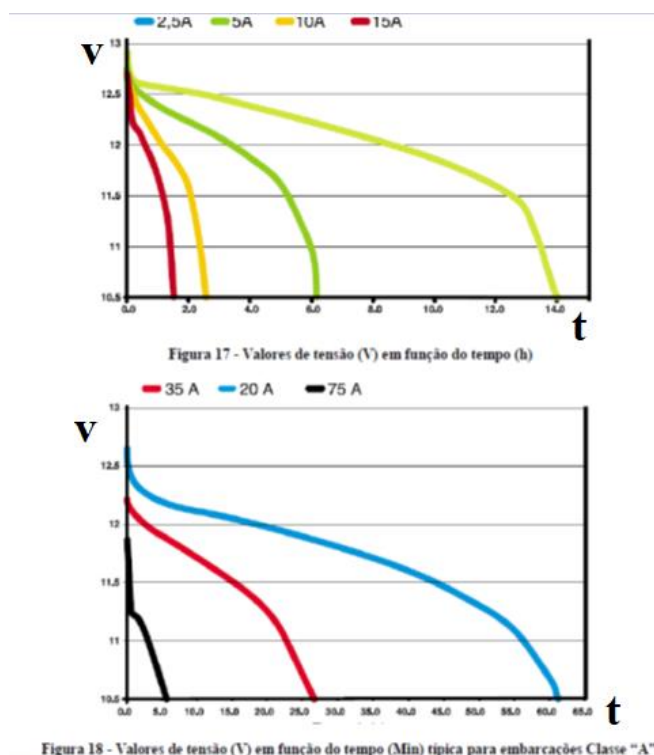


Fonte: 2013, Oliveira Apud, Duarte 2007

O gráfico da Figura 30, retirado da dissertação de Duarte (2007), expressa a vida útil das baterias de chumbo-ácido. Conclui-se que, quanto maior a taxa de descarga, menor a vida útil da bateria. O custo de reposição das baterias é um aspecto considerável.

Na Figura 31 observa-se um gráfico de como ocorrem às descargas nas baterias chumbo-ácido com variadas amperagens. Observa-se que com altas amperagens a energia final entregue é menor do que descargas com baixas amperagens. (CARBONESI, 2010)

Figura 31 - Gráficos de descargas da bateria de chumbo-ácido com variadas amperagens



Fonte: 2013, Oliveira Apud Carbonesi 2010

Outro detalhe importante é que as baterias não devem ser recarregadas excessivamente. Os painéis fotovoltaicos não possuem controle do limite de carga e, caso os painéis não sejam desligados, as baterias serão elevadas a voltagens muito altas acarretando danos. Da mesma forma, a descarga das baterias não pode chegar à voltagem muito baixa, o que também as danifica. (DUARTE, 2007). Para evitar a ocorrência desses problemas, controladores de carga são utilizados nos sistemas fotovoltaicos e serão discutidos ainda neste capítulo.

Um detalhe importante já citado anteriormente é a característica do projeto de possuir recarregamento da bateria através da tomada de cais nos períodos de inoperância. A bateria de chumbo-ácido não é a mais indicada para esse tipo de serviço pelo fato de ter sua vida útil danificada quando submetida a cargas com altas amperagens.

No artigo de Rosolem et al. (2012), o autor fornece algumas das vantagens da bateria de Li-Ion com relação às demais:

- 1- Elevada energia específica: das tecnologias atualmente aplicáveis em veículos elétricos, a bateria de lítio é a que apresenta maior energia específica – o dobro em relação à bateria de níquel-hidreto metálico e quatro vezes superior à bateria chumbo-ácida;
- 2 - Elevado número de ciclos de carga e descarga:

3 - Apresentam excelente desempenho em ciclabilidade, sendo que várias tecnologias quando submetidas a mais de 1.000 ciclos de carga e descarga, ainda alcançam 80% ou mais da sua capacidade.

4 - Seu impacto ao meio ambiente é de moderado a baixo, pois não possuem materiais tóxicos (chumbo, cádmio e mercúrio).

Essas são vantagens técnicas determinantes para a escolha da bateria de Li-Ion na utilização em veículos elétricos.

Apesar de todo o esforço e pesquisa para aperfeiçoar a tecnologia da bateria de lítio-ion, um dos seus principais desafios está relacionado com a questão da segurança e uma operação equilibrada quando estão ligadas em série e/ou paralelo. O eletrólito da bateria de lítio é um material orgânico, que é reativo e opera numa faixa bem definida de tensão. Uma vez que os limites de tensão sejam ultrapassados, reações exotérmicas podem ocorrer culminando na explosão e queima da bateria.

Como forma de viabilizar a utilização dessas baterias, introduziu-se na célula, independente de sua aplicação, um circuito eletrônico que controla sua operação impedindo condições de risco (sobrecarga, subcarga, temperatura elevada, etc). Uma vez que um dos limites é ultrapassado, o circuito eletrônico desabilita a bateria prevenindo a ocorrência desses fatores indesejáveis. (ROSOLEM et al., 2012)

Em geral, a faixa de tensão de um banco de baterias para veículo elétrico varia entre 300 e 600 V, com capacidade dependendo da potência e autonomia do sistema. Para se obter a tensão desejada para atender a potência do motor do veículo, é necessário utilizar as células em paralelo ou em série, sendo que, nessa configuração, pode haver um desequilíbrio de tensão entre elas, acarretando uma diminuição da capacidade e da vida útil da bateria. Portanto, para um desempenho adequado das baterias, além do circuito eletrônico em cada célula antes citado, deve haver um sistema eletrônico que monitore e controle a tensão do banco de baterias. A fim de obter um melhor desempenho da bateria, o ideal é que o sistema seja ativo, de maneira a realizar o balanceamento de carga de cada célula, na recarga e na descarga. (ROSOLEM et al., 2012)

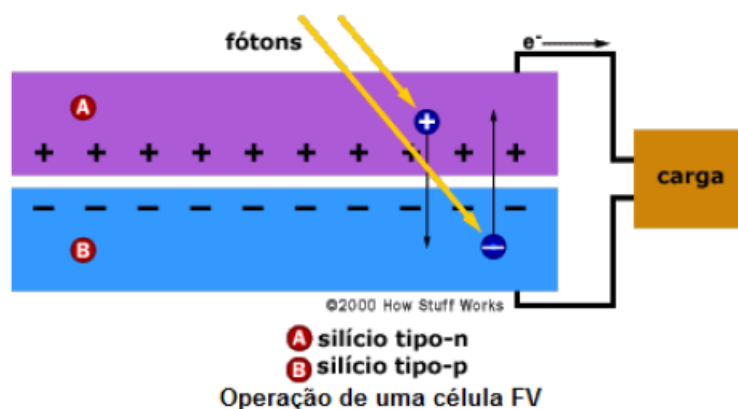
2.3.3 Painéis Fotovoltaicos

Uma célula fotovoltaica é um dispositivo elétrico que converte luz diretamente em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. São feitos com materiais semicondutores e o

silício é considerado o material mais utilizado por estar presente de forma abundante na natureza. O material utilizado é obtido através de um processo chamado dopagem (acréscimo de impurezas) e aparecerá de duas formas distintas, carregado negativamente e positivamente. Uma parte será dopada com fósforo, o que permitirá que elétrons fiquem livres formando silício do tipo “n”, outra parte dopada com boro, ficando com elétrons faltando formando o silício do tipo “p”. Essas duas camadas são conectadas para que formem um campo elétrico e, para que esse surja, é necessário que haja liberação dos prótons e elétrons. Quem se encarrega desse processo são os fótons provenientes da radiação solar. (OLIVEIRA, 2013)

O funcionamento citado pode ser ilustrado pela Figura 32

Figura 32 - Diagrama esquemático do funcionamento de uma célula fotovoltaica

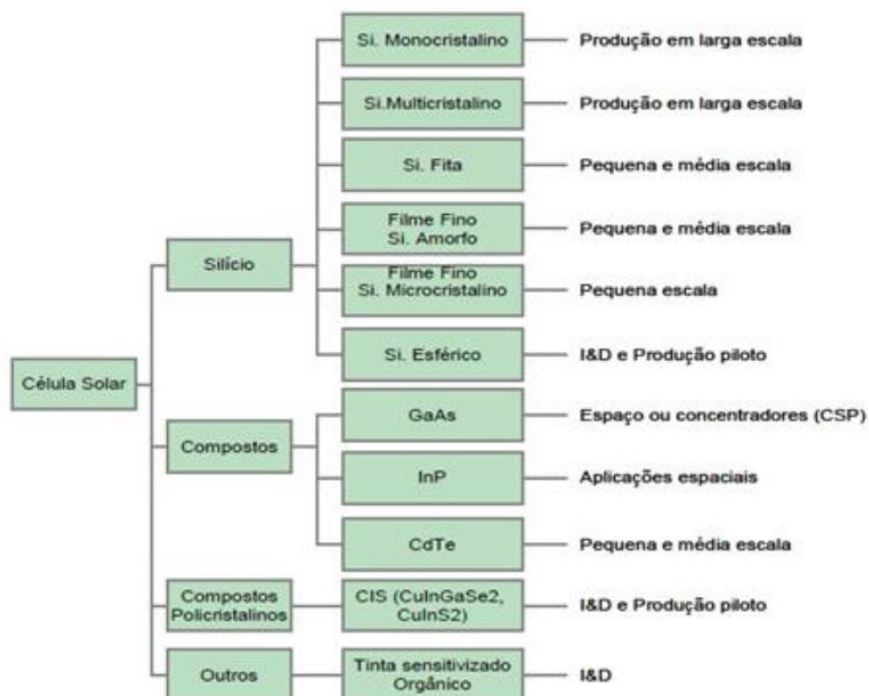


Fonte: Célula Solar, 2012

Um painel fotovoltaico é constituído por células como as da Figura 32, que, em geral, possuem 1,5 W de potência, 0,5 V de tensão e 3,0 A de corrente. Essas células são agrupadas geralmente por ligações em série e paralelo para que o painel forneça voltagens e potências maiores. (PROENÇA, 2007)

As tecnologias existentes de painéis fotovoltaicos podem ser visualizadas na Figura 33:

Figura 33 - Tecnologias dos painéis fotovoltaicos existentes



Fonte: 2013, Oliveira Apud Proença 2007

A primeira geração corresponde à tecnologia mais antiga, são os painéis de silício monocristalino e policristalino. Esses painéis são maioria no mercado, sendo produzidos em larga escala. Os painéis monocristalinos são mais eficientes, operando em faixas de 15% a 18% de eficiência. Já os policristalinos são menos eficientes, operam entre 12 e 15% de eficiência com custo de fabricação menor, porém, o Manual de Energia Fotovoltaica WEG afirma que quando não há limitação de espaço para captação energética, o aspecto econômico favorece o uso de painéis policristalinos. (PROENÇA, 2007)

Na Figura pode-se visualizar um painel monocristalino à esquerda e um policristalino à direita, ambos painéis fotovoltaicos de primeira geração.

Figura 34 - Painéis solares Monocristalino/Policristalino

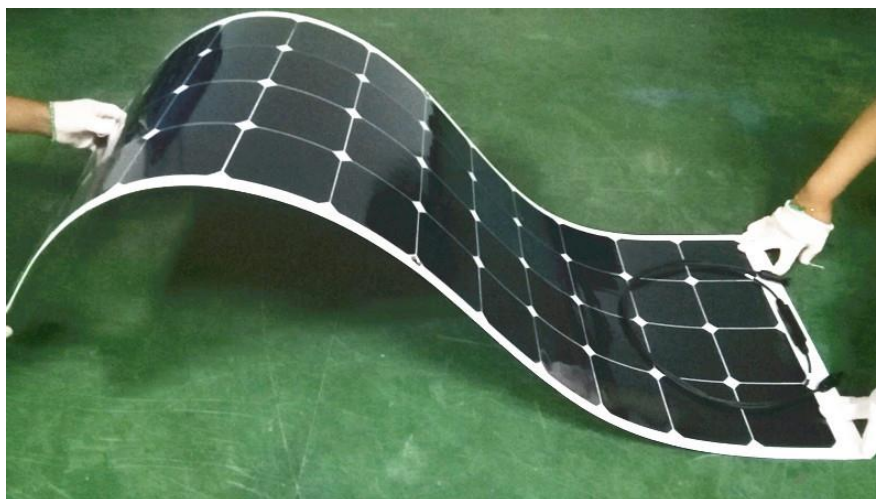


Fonte: Multicrystalline/Policrystalline Solar Panels, 2016

As células de segunda geração vieram com o intuito de reduzir o consumo de silício e utilizam a tecnologia do silício amorfo. Os painéis são muito mais leves porém menos eficientes, na faixa de 5 a 7%, começando a ganhar espaço no mercado nos últimos anos, ganhando produção em escala. Esses painéis ainda possuem a vantagem prática de serem flexíveis permitindo-os cobrirem superfícies curvas. (PROENÇA, 2007)

Um exemplo do painel de filme fino pode ser visualizado na Figura 35.

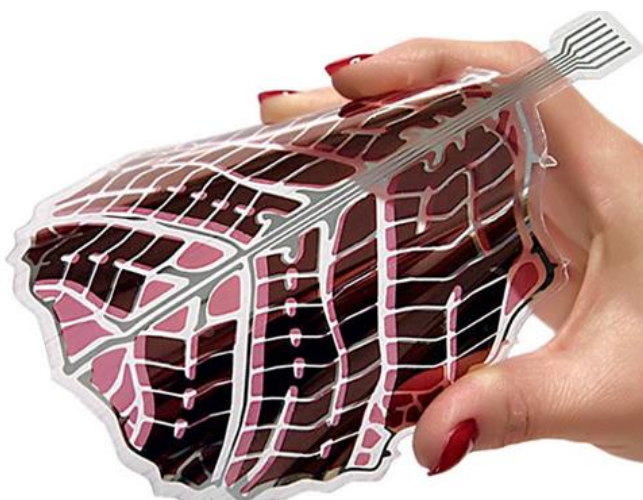
Figura 35 – Painel solar Filme Fino



Fonte: Tipos de Painel Fotovoltaico, 2016

A terceira geração de painéis fotovoltaicos já é uma realidade. Existem os chamados painéis orgânicos (OPV) que representam 5% do peso dos painéis de silício. Funcionam de maneira ligeiramente diferente dos painéis fotovoltaicos, pois tratam-se de uma camada de um polímero coberta com uma tinta orgânica que reage quimicamente com a radiação solar, liberando os elétrons que formam a corrente elétrica. (BEER, 2015)

Figura 36 - Painél solar OPV



Fonte: Beer, 2015

Apesar de já serem comercializados e inclusive produzidos no Brasil pela empresa CSEM, dificilmente encontra-se a eficiência real dessa nova tecnologia. O fabricante não especifica a eficiência no site e ao contatado por telefone informou que a eficiência varia de acordo com o projeto e aplicação, não sendo, até o presente momento, possível especificar essa eficiência.

Ainda na terceira geração encontra-se uma tecnologia denominada de junções múltiplas, que utiliza Arsênio de gálio, que possui um custo muito elevado e chega a até 25% de eficiência. Esta tecnologia é hoje utilizada em satélites solares. (PROENÇA, 2007)

Na Tabela 4 pode-se visualizar os tipos de painéis e suas respectivas eficiências, de acordo com Proença:

Tabela 4 – Eficiências dos diferentes tipos de painéis fotovoltaicos

Material da Célula	Eficiência Máxima Obtida		
	Laboratório	Produção	Produção em Série
Silício Monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício Policristalino	19,8%	15%	13%
Silício Policristalino EFG	19,7%	14%	13%
Película Fina	19,2%	9,5%	7,9%
Silício Amorfo*	13%	10,5%	7,5%
Silício Micromorfo*	12%	10,7%	9,1%
Híbrido HCl	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telurieto de Cádmio	16,4%	10%	9%
Semicondutor III-V	35,8%	27,4%	27%
Célula com Corante	12,0%	7%	5%

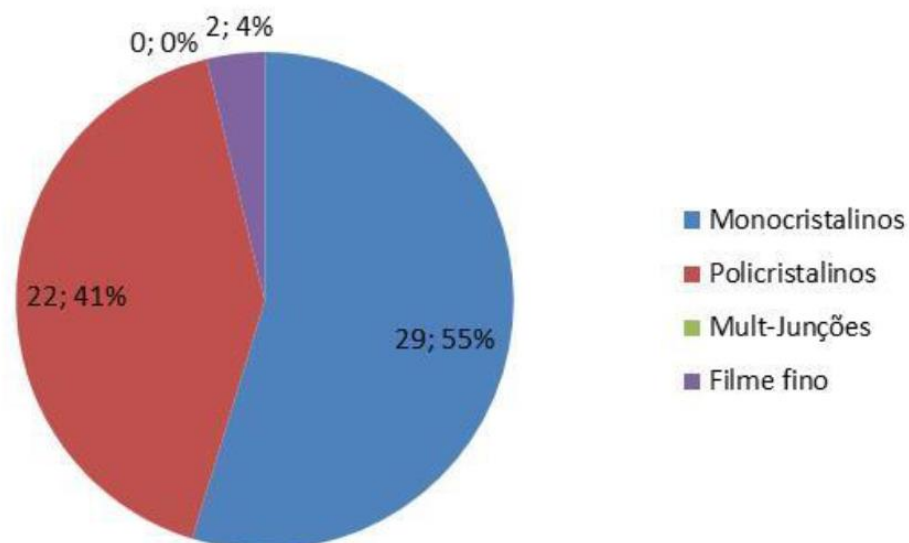
* No estado estável

Fonte: Proença, 2007

É consenso entre os pesquisadores que as três gerações tecnológicas ainda estão passíveis de muito desenvolvimento no aumento de eficiência e redução nos custos de aquisição. (PROENÇA, 2007)

Novamente analisando os dados de Tim Gorter, são identificadas as tecnologias fotovoltaicas de 53 das 111 embarcações, que têm suas porcentagens representadas no gráfico da Figura 37.

Figura 37 - Gráfico das porcentagens das tecnologias fotovoltaicas nas embarcações solares



Fonte: 2013, Oliveira Apud Gorter 2010

É notável a predominância da primeira geração de painéis na utilização em embarcações solares. A eficiência e o custo com certeza são os fatores determinantes para esse padrão. É importante frisar que a massa do conjunto de painéis é uma parcela considerável no deslocamento da embarcação, sendo essa uma análise interessante a ser feita: a comparação na redução da massa com a utilização dos painéis OPV e filmes finos com a sua eficiência. Essa análise, entretanto, não será discutida neste trabalho.

2.3.4 Controladores

- Controladores de velocidade do motor e Inversores

O objetivo deste capítulo não é discutir todos os tipos de sistemas de filtragem e de chaveamento para os conversores de frequência. Existem variáveis eletrônicas por trás desses sistemas e aqui pretende-se observar a eficiência destes controladores, suas utilizações e a viabilidade de aquisição.

Os controles encontrados para compra na internet atendem os motores de imã permanente, de indução e os CC, utilizando o princípio do PWM (pulse width modulation). Cabe consultar o fabricante do motor para saber como o controlador pode afetar o rendimento do motor. Na Tabela 5 veem-se algumas características dos controladores citadas por Ramos (2010).

Tabela 5 - Características dos conversores

	Rendimento (%)			Peso		Custo
	Motor	Controlador	Motor e controlador	Motor	Motor e controlador	
Motor de corrente contínua	80	98	78	4	4,5	2
Motor de indução	90	93	84	2	3	0,5
Motor Síncrono de Ímanes Permanentes	97	93	90	1	2	1
Motor de Relutância comutado	94	90	85	1,5	2,5	1,5

Fonte: Olveira, 2013 Apud Ramos 2010

Um importante elemento para os sistemas em que o motor utilizado é de indução, são os inversores de frequência. Uma de suas principais funções, além do controle da velocidade do motor, é a conversão da corrente CC em corrente CA. A empresa WEG possui uma série de opções para diferentes tipos de aplicação e estes podem ser visto no Anexo B..

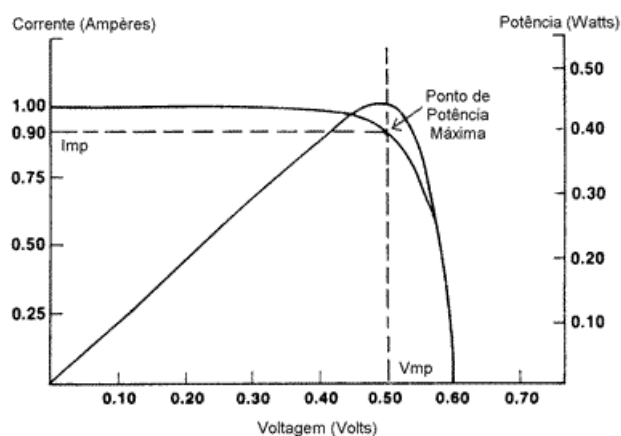
- Controladores de Carga e MPPTs

As funções dos controladores de carga, segundo Oliveira (2013), são:

- 1- Monitorar as baterias para evitar a sobrecarga e o excesso de descarga. Para tanto, medem a voltagem da bateria e desligam os painéis no caso de sobrecarga, ou desligam o consumo do motor quando a bateria apresentar valores muito baixos de voltagens;
- 2- Desconecta os painéis para evitar a perda de corrente das baterias para os painéis durante a noite;
- 3- Protege contra sobrecorrente com a presença de fusíveis;

Os MPPTs (*maximum power point tracking*) muitas vezes acumulam as funções dos controladores de carga citadas e possuem também a função de operar um sistema com duas voltagens distintas. Isso pode ser interessante quando o ponto de máxima potência de um painel encontra-se a uma dada voltagem e o ponto de potência da carga do motor ou de recarga ótima da bateria encontra-se em outro. Caso não exista MPPT o painel será forçado a operar com a voltagem da carga e uma parte da energia que poderia estar sendo fornecida pelo painel será perdida. Na Figura 38 pode-se visualizar o ponto ideal de tensão e corrente em que os controladores buscam para obter a maior potência.

Figura 38 - Ponto de máxima potência de um painel fotovoltaico



Fonte: Características elétricas dos módulos fotovoltaicos, 2016

Em alguns casos também aperfeiçoam o processo de carga das baterias (alguns controladores também têm essa função) por processo PWM (*pulse width modulation*). O processo de carga das baterias se divide em 3 etapas. A 1ª fase carrega a bateria até 80 a 90% e consiste em entregar amperagens a uma voltagem menor que 15V, porém os painéis com o circuito em aberto produzem voltagens de 17V e as baterias têm tensões de 12V. Os controladores se encarregam de manter a tensão alta no painel e menor do que 15V na bateria. A segunda fase trata de uma recarga lenta, devido ao aumento da resistência da bateria, podendo ser acelerada se o carregador utilizar uma variação de voltagem para manter a

corrente constante. A terceira fase consiste em baixar a voltagem das baterias para valores entre 12,7 e 13,2, quando são enviados curtos ciclos de carga através de PWM (2013, OLIVEIRA Apud DUARTE, 2007).

3 METODOLOGIA

Este trabalho utilizará a metodologia clássica para o projeto de embarcações cujo processo é representado por uma espiral visando correlacionar os sistemas e atributos de desempenho do barco com as variáveis de projeto, cujas características serão descritas neste capítulo.

A fim de definir as etapas e requisitos a serem percorridas no desenvolvimento da embarcação, foram listadas através de um *brainstorming* as etapas pontuais julgadas necessárias e posteriormente confrontadas entre si através de uma Matriz de Influência, como visualizado na Tabela 6.

Tabela 6 – Matriz de Influência

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	SOMA
Ambito de atuação	A	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13
Capacidade de Transporte	B	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	12
Tipo de Casco	C	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	11
Resistência ao Avanço	D	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	8
Definição de placas, Motores e Baterias	E	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8
Planta elétrica	F	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	5
Planta Propulsiva	G	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
Caracterização da Embarcação	H	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	5
Projeto Geométrico	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	5
Pesos e Centros	J	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	4
Estabilidade	K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3
Segurança e Salvatagem	L	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Custos	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estabilidade em Avaria	N	0	0		0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	3
Construção	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor

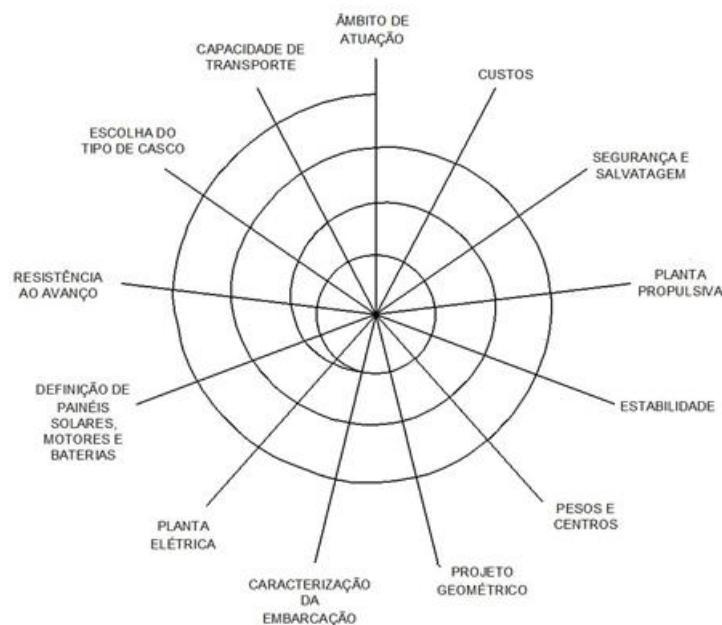
O funcionamento da matriz de influência se baseia em escolher se a linha da célula influencia no desenvolvimento da sua respectiva coluna, se sim, o número um é atribuído, se não, zero é atribuído.

A partir do resultado da matriz de influência obtém-se uma hierarquização das etapas de desenvolvimento. A etapa com maior pontuação será o ponto de partida para o projeto em questão.

A espiral de projeto de Evans, citado por Lamb (1989), é fundamentada na relação entre os elementos e etapas que caracterizam o projeto. A disposição desses elementos na forma de espiral sugere que, a cada ciclo percorrido, haja um crescente refinamento, evidenciando assim o grau de dependência entre os elementos, caracterizando o processo iterativo de concepção do projeto conceitual da embarcação.

Este trabalho propõe realizar uma primeira volta na espiral, a qual contempla as etapas de projeto ordenadas através do resultado obtido pela confrontação na matriz de influência. A espiral proposta para o trabalho está ilustrada na Figura 39

Figura 39 – Espiral de Projeto de Evans



Fonte: Elaborada pelo autor

No primeiro ponto da primeira iteração será definido um cenário para aplicação do produto (embarcação em desenvolvimento), buscando soluções para o transporte público da cidade em questão, definindo uma rota, uma velocidade desejável e uma capacidade máxima de passageiros.

Definidos os requisitos do projeto, com base em embarcações semelhantes, uma análise será feita para definir qual o tipo de casco mais adequado para aplicação no projeto. Na sequência, uma análise da resistência ao avanço será realizada buscando uma estimativa para a potência instalada da embarcação. Essa análise será realizada a partir de uma aproximação por uma curva cúbica no Excel extrapolado a partir das potências instaladas e velocidades de serviço das embarcações tomadas como base.

A seguir, será possível definir a quantidade de placas solares que poderão ser dispostas na embarcação a partir da área disponível, limitada pelo comprimento e boca das embarcações semelhantes. Baterias e motores também serão definidos nessa iteração e darão fundamentos para o projeto da planta elétrica.

A partir da planta elétrica, o projeto conceitual inicia a fase de caracterização da embarcação, definindo as dimensões principais e um *layout* da embarcação. Nessa fase será utilizado um programa de modelagem CAD 3D da embarcação.

Em posse do modelo CAD da embarcação e de seu arranjo, os pesos e centros poderão ser definidos e o centro de gravidade geral da embarcação poderá ser calculado, usando uma planilha de pesos e centros construídas no Excel.

Embora a embarcação seja projetada para navegar em águas abrigadas, faz necessário analisar a estabilidade transversal da embarcação. Tal análise será feita analisando a curva do momento restaurador transversal, a qual será construída usando o programa MaxSurf.

Por fim, por se tratar de uma embarcação que envolverá transporte coletivo de pessoas a segurança e salvatagem serão tratadas com cautela no projeto, seguindo as normas brasileiras.

Destaca-se ainda que todas as pesquisas com relação ao material buscarão sempre o custo de cada componente para obtenção de um valor do sistema elétrico implementado no protótipo. Por fim, comparações e resultados serão apresentados, discutindo-se a viabilidade energética da embarcação, determinando o tempo de operação máximo e evidenciando os diferenciais desenvolvidos no projeto.

Por fim destaca-se que as análises de estabilidade avariada e a construção estão listados na matriz de influência, porém não foram analisados, pois fogem ao escopo do projeto conceitual proposto neste trabalho.

4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento efetivo do projeto conceitual da embarcação solar destinada ao transporte de passageiros na cidade de Florianópolis. O desenvolvimento seguirá o procedimento apresentado na espiral de projeto representada na Figura 39.

4.1 Requisitos de projeto

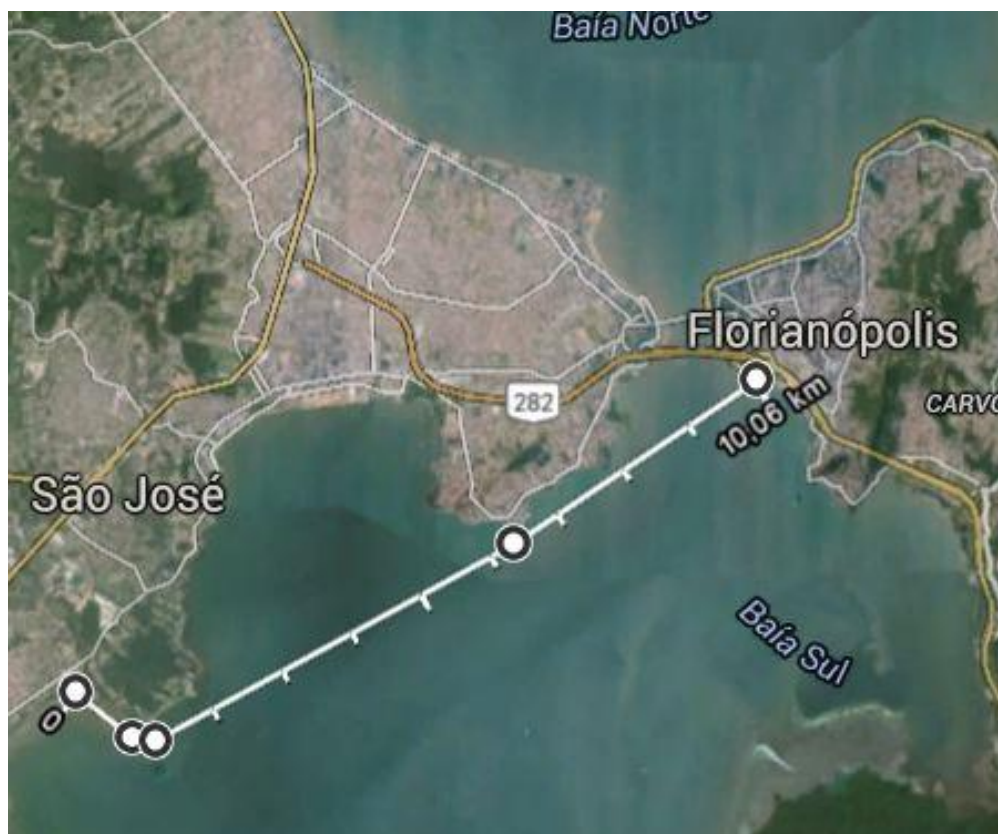
Florianópolis é a capital do estado brasileiro de Santa Catarina. É um município constituído por uma ilha principal e pela parte continental, além de algumas pequenas ilhas circundantes. A ilha de Florianópolis tem 42 praias e pode ser considerada um centro de atividade de navegação, mesmo que não haja nenhuma conexão hidroviária entre o continente e a ilha. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2016), a cidade tem uma população de 469.690 pessoas, enquanto a região metropolitana de Florianópolis tem 1.096.476, cuja uma grande porcentagem migra diariamente para ilha utilizando o único acesso existe: as pontes Pedro Ivo e Colombo Salles.

O âmbito de atuação do presente projeto se encaixará, portanto, nesse gargalo que as pontes geram resultando nos transtornos e engarrafamentos diários, propondo rotas hidroviárias para o transporte marítimo de passageiros utilizando a embarcação solar.

4.1.1 Definição de Rota

O município de Palhoça conta com 150.623 habitantes, fazendo parte da região Metropolitana de Florianópolis. A cidade conta com muitos habitantes que diariamente se deslocam para a ilha de Florianópolis. Propõe-se então a primeira rota para atuação da embarcação solar representada na Figura 40 visando atender os moradores da cidade de Palhoça que necessitam desse transporte.

Figura 40 – Rota Ponta de Baixo, Palhoça para o Centro, Florianópolis

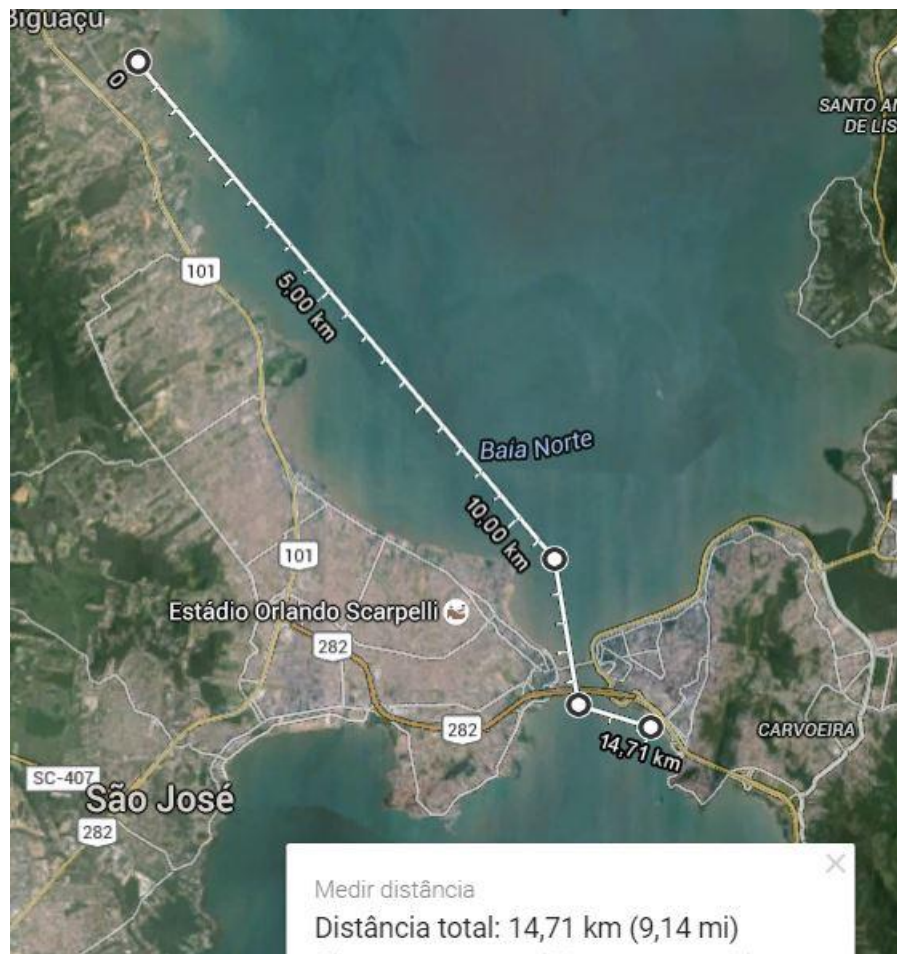


Fonte: Google Maps

Segundo o Google Maps, sem trânsito nenhum, o trajeto via rodovia pode ser percorrido de carro em 26 min. O mesmo trajeto via ônibus leva 37 minutos. Procura-se obter para os 10.6 km, pelo menos, o mesmo tempo do trajeto que se leva de carro sem trânsito, portanto, a velocidade desejada para o serviço da embarcação é em torno dos 12 nós.

Como uma segunda proposta para utilização do transporte hidroviário entre a região metropolitana e a ilha de Florianópolis, sugere-se a rota Centro de Biguaçu, até o Centro de Florianópolis. O município possui uma população de 63.440 habitantes, onde grande parte se locomove para o Centro de Florianópolis diariamente.

Figura 41 - Rota Centro de Biguaçu - Centro de Florianópolis



Fonte: Google Maps, 2016

Sugere-se também uma hidrovia representada pela Figura 41 interligando o município de Biguaçu ao centro de Florianópolis. A distância percorrida será de 14,71 km. O mesmo deslocamento, quando percorrido por carro é de 21,3 km, leva 27 min sem trânsito e 1 hora e 29 minutos quando percorrido por ônibus, entre troca de linhas e locomoções a pé. Buscando analisar a mesma velocidade de doze nós da primeira rota, o tempo de viagem é de 39 minutos. Se visarmos o mesmo tempo de viagem que o carro realiza em terra quando na ausência de trânsito, a velocidade desejada para o serviço da embarcação nesse caso é de 17,6 nós. Sabe-se de antemão que é muito improvável tal velocidade de serviço ser mantida para uma embarcação movida à energia solar.

Há um projeto em andamento em Florianópolis para instalação de uma marina na Avenida Beira Mar Norte, com espaço para 500 vagas molhadas de embarcações, além de um espaço reservado que funcionará como um terminal hidroviário para atender o tipo de transporte proposto no presente trabalho. O projeto conceitual pode ser visto na Figura 42

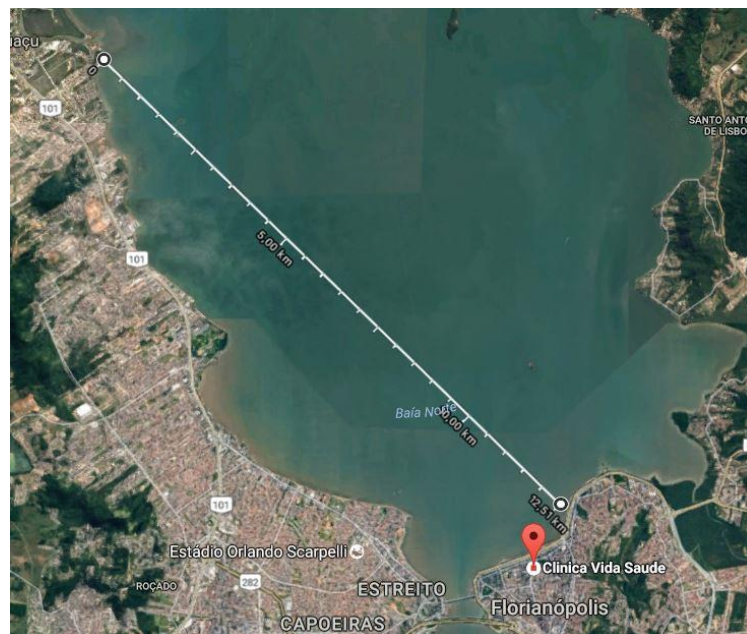
Figura 42 - Projeto da Marina com terminal Hidroviário na Av. Beiramar



Fonte: WebSite da AKR7 Arquitetos

Adequando-se ao projeto da marina em Florianópolis sugere-se a seguinte rota para aplicação futura, representada na Figura 43, atendendo novamente à cidade de Biguaçu.

Figura 43 - Rota Centro de Biguaçu até o Terminal Hidroviário da Marina na Av. Beira Mar



Fonte: Google Maps

É importante frisar que a escolha do ponto de atracação no centro da cidade de Florianópolis nas duas primeiras rotas foi no Clube Veleiro da Ilha, por já possuir tomadas de cais capazes de carregarem as baterias da embarcação no período da noite ou inoperância. Em

Palhoça e Biguaçu, terminais deverão ser construídos para que possam atracar e carregar as baterias das embarcações nos horários em que estiverem fora de operação.

Definidas as rotas, pode-se concluir que uma velocidade de doze nós atenderia de maneira eficiente todas às rotas propostas como alternativas de acesso à ilha de Florianópolis.

4.2 Capacidade de Transporte

Na tentativa de quantificar a capacidade de transporte (número de passageiros) da embarcação, buscou-se uma análise de embarcações semelhantes, tanto solares, quanto a combustão, destacando principalmente às que se destinam ao transporte de passageiro, com usos semelhantes à proposta do trabalho.

A pesquisa por semelhantes foi realizada consultando a base de Gorter (2010) e também diversos sites dos fabricantes. Buscou-se para cada embarcação pesquisada dados sobre arranjos gerais, velocidades de serviço, potências e a capacidade de transporte de passageiros.

Na Tabela 7 pode-se visualizar um resumo das informações de cada embarcação selecionada como semelhante:

Tabela 7- Embarcações semelhantes e seus principais atributos

Modelo	L (m)	B(m)	Passageiros	Δ	Fonte Energética	Motorização	V.Max (nós)	V.Cruz(nós)	Casco
Solar Uno WATERTAXI	9,5	3,2	20	-	Solar	Kräutler 48V , 4.3 KW	7		Monocasco
SunCat 58	17,6	6,85		13	Solar	Kräutler 2x8 kW			Catamarã
SunCat 46	14,12	6,8	60	-	Solar	Kräutler 2x8 kW	7.8	4.9	Catamarã
Túranor PlanetSolar	31	15	-	85 ton ³ (?)	Solar	2x64 kW sínc magnet	14	7	Trimarã/Swatch
SunRider	12,1	3,4	20	-	Solar	-	8	6.5	Monocasco
TeCAT 1	18,1	6,35	100	-	Combustão	2x Scania DI12	24	-	Catamarã
CAT BB 43	14,34	4,9	77	10,98 t	Combustão	2xMWM 294 HP	25	20	Catamarã
CAT BB 60	18.3	6,27	112	28.06	Combustão	2x Scania 500 HP	28	22	Catamarã
PEGASUS	25,48	8.6	178	102.367	Combustão	-		22	Catamarã
Solar Wave 46	13,9	7,5		12	solar	2x 10kW Aquawatt	8	6	Catamarã
SUN 21 (TG)	14	6,6	6	-	Solar	2x8kW	7	5,94	Catamarã
Solar Heritage	14	6,6	20	-	Solar	2x10kW	9,71	7,5	Catamarã
Berger NY Class Water Taxi	16,24	5,5778	64	-	Combustão	2x540 HP	28	24	Catamarã

Fonte: Elaborada pelo autor

Na Tabela 7 destacou-se três embarcações com grande semelhança, sendo duas catamarãs com 14 metros de comprimento, destinadas ao transporte de 60 e 77 passageiros e uma embarcação catamarã com 16 metros e capacidade de 64 passageiros.

Definiu-se, portanto, com base nesses semelhantes, uma capacidade de transporte em 70 pessoas, atendendo a demanda das pessoas que usufruirão do serviço através da variação do número de embarcações na frota.

4.3 Escolha do tipo de casco

Sabe-se que uma das principais restrições para utilização da energia solar para atividades do cotidiano das pessoas é a necessidade de ampla área para captação de energia pelos painéis fotovoltaicos. Mais precisamente, quanto maior a área disponível, mais energia se tem para utilização nos equipamentos e para a locomoção da embarcação. Além disso, um amplo espaço no convés para o transporte dos passageiros também é necessário, juntamente com boa estabilidade e segurança na navegação.

Visto a predominância do conceito no estado da arte de embarcações de passageiros, os requisitos acima e as embarcações semelhantes faz-se a escolha pela classe Catamarã, que se caracteriza principalmente por possuir dois cascos em contato com a água, dispondo de grande área de convés entre eles, com baixa relação LOA/BOA.

4.4 Resistência ao avanço

A resistência ao avanço de uma embarcação representa a força que o mar exerce sobre a área molhada do casco na velocidade em que essa se movimenta. Em posse dessa análise, obtém-se a potência efetiva, em Watt, necessária para o movimento da embarcação na velocidade desejada, por meio da equação:

$$Potência\ efetiva = R_t * V_s \quad (1)$$

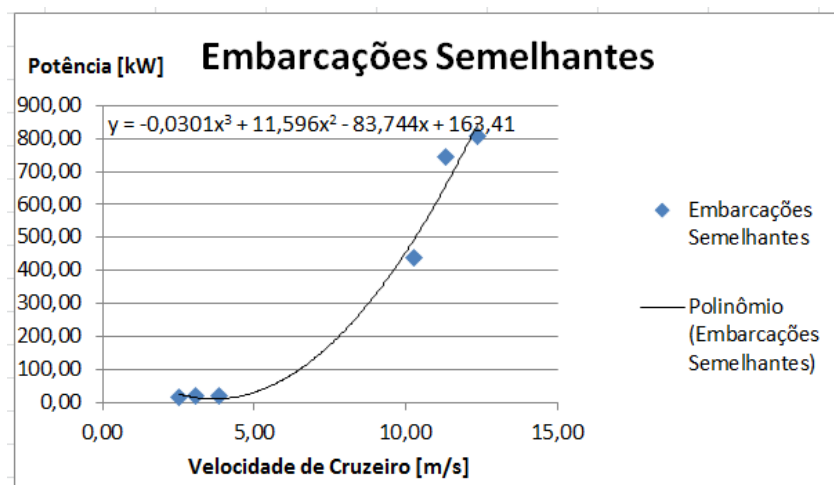
Como o casco da embarcação ainda não foi modelado, para uma primeira iteração na espiral, a potência efetiva será extrapolada a partir das potências instaladas e velocidades de serviço das 07 embarcações semelhantes com as características mais similares ao projeto em desenvolvimento. Para tanto, os dados das embarcações semelhantes do tipo catamarã foram interpolados por uma função cúbica, que correlaciona a potência em função da velocidade de serviço das embarcações, tanto elétricas, quanto à combustão. Observa-se, na Tabela 8 e na Figura 44 as informações das embarcações semelhantes, bem como a curva de interpolação, respectivamente.

Tabela 8 - Embarcações e suas respectivas potências e velocidades de serviço

	Potência	Vel. Cruzeiro
	kW	m/s
SunCat 46	16	2,52056
CAT BB 43	438,4716	10,288
CAT BB 60	745,7	11,3168
Solar Wave 46	20	3,0864
SUN 21	16	3,055536
Solar Heritage	20	3,858
Berger NY Class Water Taxi	805,356	12,3456

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 44 - Curva extrapolada da Potência x Velocidade de Serviço



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir dessa extrapolação, pode-se fazer uma estimativa para a potência instalada da embarcação em desenvolvimento a partir da velocidade de serviço desejada tomando a velocidade de 12 nós como viável para o funcionamento desse modal de transporte, conforme os dados mostrados na Tabela 9

Tabela 9 - Potência instalada extrapolada

Velocidade de serviço	6,17	m/s
Potência instalada	81,5	kW
V em nós	12	nós

Fonte: Elaborada pelo autor

Cabe, posteriormente, avaliar o balanço energético da embarcação para saber se essa velocidade de operação será viável ao analisar a real potência instantânea na velocidade de serviço.

4.5 Definição de Painéis, Motores e Baterias

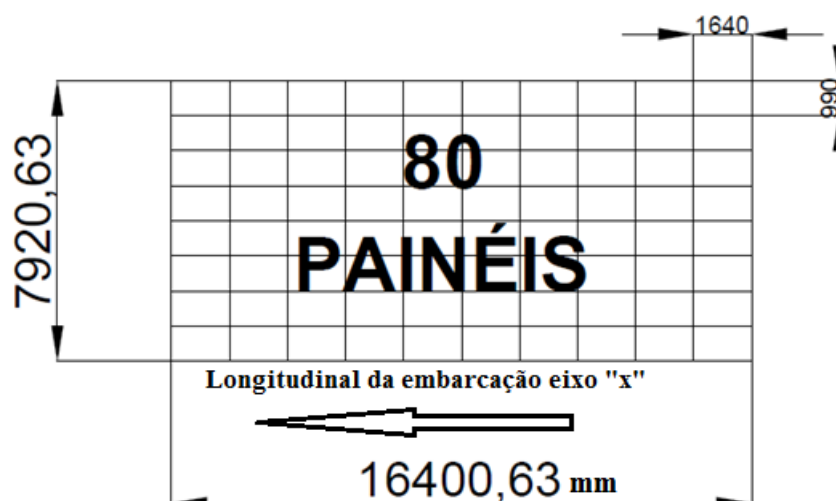
4.5.1 Definição dos Painéis

Como visto no Capítulo 2.3.2, os painéis mais consolidados no mercado, os ditos de primeira geração, são os módulos que utilizam como principal elemento o Silício. Busca-se, nesse projeto, a maior captação de energia solar possível através dos módulos solar, dentro de uma viabilidade econômica, portanto, a escolha será efetuada através do painel com maior eficiência na captação por metro quadrado que atualmente é o Módulo Fotovoltaico de Silício Monocristalino, chegando a até 20% de eficiência.

Definido o tipo do painel fotovoltaico a ser utilizado, necessita-se selecionar um painel disponível no mercado. Buscou-se no catalogo da empresa Yingli Solar e, novamente, buscando o painel com maior eficiência e maior potência, selecionou-se o seguinte modelo: Painel Monocristalino Serie de células Panda 60 YL300C-30b, com potência nominal 300 Wp (Watts pico). O *datasheet* do painel pode ser encontrado no Anexo C.

A fim de definir a quantidade de painéis que o barco comportará, foram posicionados como ilustrado na Figura 45 painéis no sentido longitudinal, na longitudinal da embarcação, dentro da faixa de comprimento total e boca total das embarcações semelhantes tendendo à relação de $L/B = 2$, característica dos catamarãs. Os painéis transversais, na longitudinal da embarcação também foram posicionados, porém apresentaram pior resultado na relação L/B.

Figura 45 - Disposição e quantidade de Painéis Fotovoltaicos



Fonte: Elaborado pelo autor

Com os painéis e sua quantidade definidos, têm-se uma área fotovoltaica de 129,90 metros quadrados. Os painéis terão seu arranjo posicionado na horizontal sob o teto da embarcação.

4.5.2 Definição de Motores:

A partir da extrapolação de potências vista na seção 5.4, chegou-se a potência nominal dos motores elétricos para uma velocidade de serviço 12 nós de 81,5 kW.

Vista a análise feita por Kar (2006), citada no capítulo 2.3.1, os padrões de eficiência, confiabilidade, densidade de potência, maturidade da tecnologia e custos, quando confrontados entre os tipos de motores elétricos levam a decisão por um motor de indução de corrente alternada, principalmente pela vantagem nos quesitos custo, confiabilidade e maturidade da tecnologia.

Sabendo da consolidação da empresa brasileira desenvolvedora de motores elétricos WEG, além do interesse na cooperação com conhecimento técnico que demonstraram para a realização deste trabalho, buscou-se selecionar um motor desenvolvido pela empresa que se encaixe na aplicação pretendida.

A WEG apresenta diversas soluções para motores elétricos com aplicação naval com a linha WGM, arrefecidos por manto d'água, os quais apresentam volumes e pesos reduzidos quando comparados com motores de mesmas potências e arrefecidos a ar. No entanto, a linha trabalha com potência mínima de 315 kW. A WEG informou que fabricaria sob encomenda um motor de 45 kW arrefecido por manto d'água para a aplicação no projeto.

No catálogo “WEG - Soluções para o segmento Naval” a empresa apresenta os motores arrefecidos a ar desenvolvidos para aplicação nas embarcações, como visto no capítulo 2.3.1. A linha indicada pela empresa para aplicação em propulsores de popa é a HGF, porém novamente apresenta características padrões como potência nominal entre 90kW e 2800kW e tensões entre 380Vca e 6600Vca excedendo o requerido pelo projeto

Para efeitos de seleção de um motor catalogado, já fabricado e possível de ser utilizado em um protótipo da embarcação solar, buscou-se a linha W22 IR3 Premium.

“Os motores W22 IR3 Premium são motores de alta eficiência e possuem rendimento que superam os da linha W22 IR2 e excedem os níveis de rendimento definidos na portaria 553 da lei de eficiência energética 10.295, em vigor desde de janeiro de 2010. Excelente relação custo-benefício, redução do consumo de energia elétrica, baixos níveis de ruído e vibração e fácil manutenção são algumas das características que definem esse produto. Um motor que surge antecipando conceitos sobre eficiência energética, desempenho e produtividade.” (WEG, 2016)

Uma seleção final ainda não poderá ser realizada em função do não conhecimento da rotação do motor. Sabe-se, até o final do capítulo, que o motor terá uma potência de 45 kW e a tensão utilizada será de 380 V afim de que mais baterias possam ser ligadas em série para armazenar a energia da embarcação. Uma imagem dos motores da linha W22 IR3 Premium pode ser visualizada no Anexo D.

4.5.3 Definição de Baterias

Selecionado os motores utilizados na embarcação, é possível definir o banco de baterias que se combinará para armazenar a energia da embarcação. Deve-se ressaltar neste momento que a bateria é a principal fonte energética da embarcação, sendo os painéis fotovoltaicos apenas auxiliares na manutenção do sistema.

Sabe-se que o motor WEG selecionado trabalha em tensão de 380 V_{ca} (corrente alternada), o restante do sistema, no entanto, trabalha em corrente contínua. Para tanto, necessitamos multiplicar a tensão 380 V_{ca} por $\sqrt{2}$, para dessa forma obter a tensão de trabalho em corrente contínua.

Portanto:

$$V_{cc} = V_{ca} \times \sqrt{2} \quad (2)$$

$$V_{cc} = 537,4 \text{ V} \quad (3)$$

Sabes que a tensão nominal das baterias é de 12 V, dessa forma, busca-se combinar um arranjo de baterias em série para chegar a tensão de trabalho em corrente contínua.

Portanto:

$$N^{\circ}Baterias = \frac{537,4}{12} = 44,7 \quad (4)$$

Sabe-se então, que o banco de baterias deve ser configurado com em torno de 44 baterias de 12 V ligadas em série.

Viu-se anteriormente como a vida em ciclos das baterias de chumbo-ácido, as mais utilizadas no ramo de barcos solares, é afetada com descargas profundas e cargas com velocidades elevadas, fator que terá recorrência no barco em questão, que exige ciclos longos e uma vida longa.. Sabe-se também, que numa embarcação solar, o quesito massa deve ser levado em consideração.

As baterias de Lítio-Íon se encaixam como solução para os requisitos listados acima. Estas, no entanto, levam a necessidade de um controle e monitoramento de todas as células do

banco de bateria, uma vez que seus eletrodos são constituídos por material reativo e altas tensões que podem causar reações exotérmicas levando a explosões da bateria.

Altas amperagens indicam maior energia disponível nas baterias, fator também buscado pelos barcos solares.

Através de uma pesquisa na internet, encontrou-se a empresa norte americana Smart Battery, que possui uma linha indicada para uso náutico/naval, com recomendação do fabricante para o uso como backup de energia solar e valores de amperagens de 7 Ah até 300 Ah. Buscando a maior amperagem, selecionou-se a bateria de 300 Ah. As baterias da Smart Battery já vêm acompanhadas do sistema BPS (*battery protection system*), que se encarrega de que não haja sobrecarga nas baterias.

No Anexo E, o *datasheet* da bateria selecionada, com sua ilustração e suas principais características e especificações:

Com a tensão nominal de 12,8 V da bateria selecionada, posicionando 42 células em série pode-se obter a tensão de corrente contínua de 534,7 V, a qual é muito perto da tensão necessária para a alimentação do motor.

4.6 Planta Elétrica

Selecionados os principais componentes da embarcação solar, surge a necessidade de estabelecer o arranjo elétrico para funcionamento do sistema. Para tanto, deve-se entender o comportamento da tensão e da corrente em cada componente, desde a captação até o fornecimento da energia para o motor.

Começando a análise pelos painéis fotovoltaicos, sabe-se que foi definida a utilização de 80 placas distribuídas no convés da embarcação cuja tensão de circuito aberto de cada placa é de 39,1 V_{CC} . (tensão no exato momento em que o painel é conectado ao sistema). Os 80 painéis disponíveis serão divididos entre os dois bordos da embarcação e para a tração elétrica, serão conectados em dois grupos paralelos de 19 painéis ligados em série, totalizando uma tensão de circuito aberto para o arranjo de painéis de 742,9 V_{CC} , abaixo dos 1000 V_{CC} . estabelecido como limite superior pelo fabricante.

O arranjo das 42 baterias de 12,8 V_{CC} ligadas em série trabalha a uma tensão nominal de 534,7 V_{CC} . Para regular a tensão advinda dos painéis, desconectá-los na ausência de luminosidade e proteger as baterias de sub e sobre cargas, faz-se necessário a presença de um controlador de carga com MPPT (*Máximum Power Point Tracking*).

Por fim, o motor WEG selecionado é de Indução Corrente Alternada e um inversor de frequência deverá transformar a carga vinda da bateria e dos painéis em corrente alternada e também deve ser selecionado para completar o arranjo elétrico de tração da embarcação.

4.6.1 Seleção dos Controladores de Carga

Não foi encontrado um controlador de carga comercial para a aplicação necessária neste projeto. A empresa MidNite Solar, americana e a empresa Cebra, brasileira, foram contatadas buscando a possibilidade da fabricação do equipamento conforme as especificações citadas abaixo. Até a presente data (novembro, 2016), ainda não foi obtida uma resposta.

O arranjo dos painéis fotovoltaicos será de dois conjuntos de 19 painéis ligados em série, que em tensão de circuito aberto, resultam em $742,9 V_{cc}$. A tensão em potência máxima fica em $594,7 V_{cc}$. A corrente de circuito aberto é $9,5 A$ e a corrente de potência máxima é de $8,9 A$. Os painéis solares alimentarão a bateria e/ou o motor, que trabalham na tensão de $537,4 V$. Portanto, os controladores de carga da tração elétrica da MCR Solar necessitam de uma entrada de tensão variável entre 500 e $750 V$ e saída estática de $537,4 V$, com corrente de entrada $9,5 A$ (circuito aberto) e $8,9 A$ (potência máxima).

O controlador deve possuir MPPT e ser capaz de cortar a corrente uma vez que as baterias estejam totalmente carregadas, e, também, cortar a corrente no sentido contrário para os painéis não puxarem corrente na ausência de luminosidade.

4.6.2 Seleção do Inversor

Sabe-se que a geração de energia pelos painéis fotovoltaicos fornece corrente CC, bem como a corrente fornecida pelas baterias. Uma vez optada pela utilização do motor WEG CA $380 V$, necessita-se de um inversor de frequência para converter a corrente CC em CA. Analisando as opções disponibilizadas pelo mesmo fabricante do motor com suas tensões de entrada e correntes de saída, buscando afinidade com o motor, selecionou-se o modelo CFW11.

O inversor selecionado possui indicação para ser utilizado com a linha W22 de motores e possui características de trabalho de acordo com as demandas de tensão, corrente nominal e de partida do motor. A imagem do Inversor selecionado pode ser visualizada no Anexo F.

4.6.3 Diagrama elétrico Motor Bombordo e Boreste

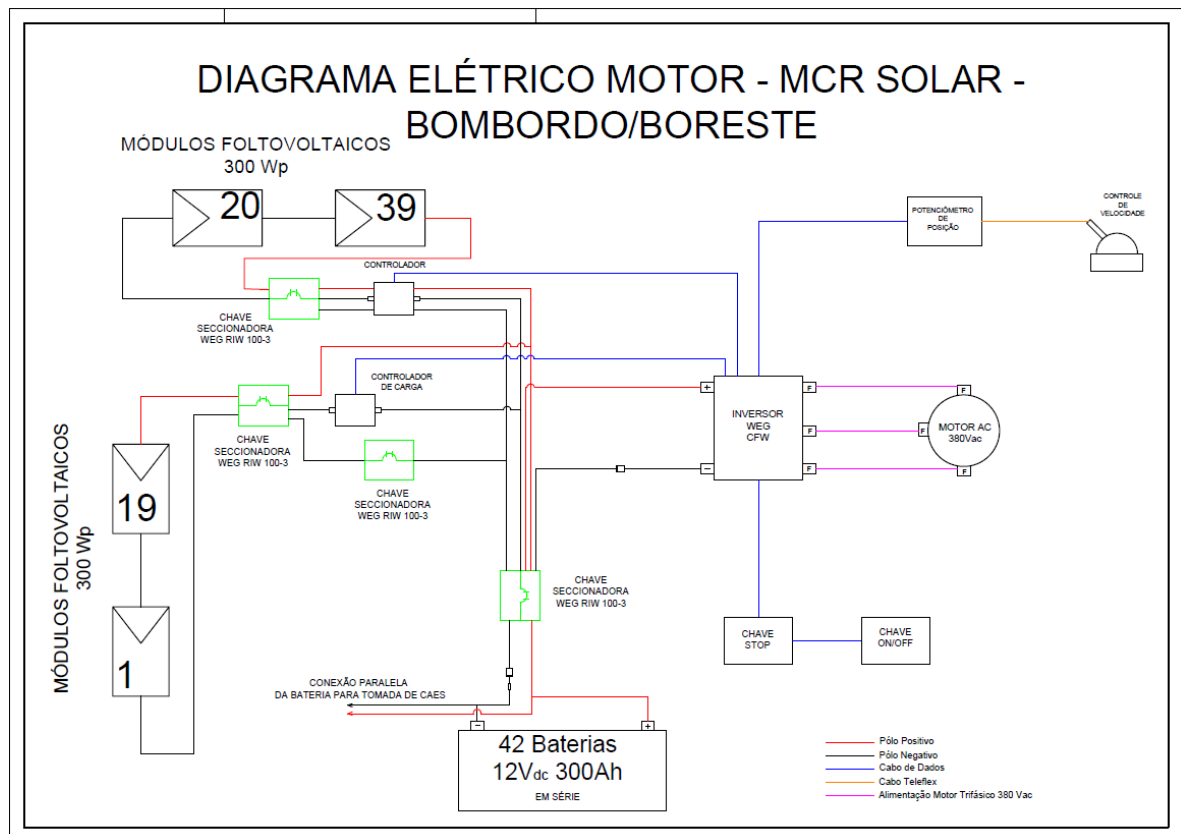
Definidos todos os principais componentes que farão parte do sistema de tração-elétrica da embarcação, faz-se o arranjo e as conexões entre eles para que o sistema de captação, armazenamento e fornecimento de energia funcione de maneira segura e eficiente.

Os painéis fotovoltaicos estão posicionados em série em dois conjuntos de 19 módulos, totalizando uma tensão máxima em circuito aberto de $742,9 V_{cc}$, abaixo da máxima imposta pelo fabricante de $1000 V_{cc}$. Essa tensão é controlada pelo controlador de carga variando entre $742,9$ e $594,7 V_{cc}$ para $537,4 V_{cc}$, tensão do banco de baterias ligadas em série, e tensão de trabalho em corrente contínua do motor elétrico. Esse banco de bateria possuirá uma conexão paralela para que possam ser carregadas quando atracados.

Todos os principais elementos estão isolados por uma chave seccionadora para que a qualquer momento possam ser separados do sistema. A corrente sai da bateria ainda como corrente contínua, onde passa pelo inversor de frequência que converte a corrente contínua em alternada, alimentando o motor $380 V_{ca}$. O controle da potência do motor é feito por um potenciômetro de posição associado a um controlador de velocidade.

Na Figura 46 pode-se visualizar a planta elétrica desenhada no AutoCAD pelo autor

Figura 46 - Diagrama Elétrico dos motores bombordo/boreste



Fonte: Elaborado pelo autor

4.6.4 Diagrama elétrico Equipamentos Gerais

Os equipamentos para funcionamento da embarcação com segurança em geral, funcionarão de forma totalmente independente ao sistema elétrico que gera a locomoção da embarcação. Nesta primeira volta da espiral, serão projetados dentro desse sistema apenas os equipamentos obrigatórios para a navegação de uma embarcação para transporte de passageiros em segurança. Segundo NORMAN 02, os equipamentos elétricos obrigatórios são: luzes de navegação de bombordo, boreste e alcançado, bomba de porão ligada antes de qualquer chaveamento com automático e rádio VHF.

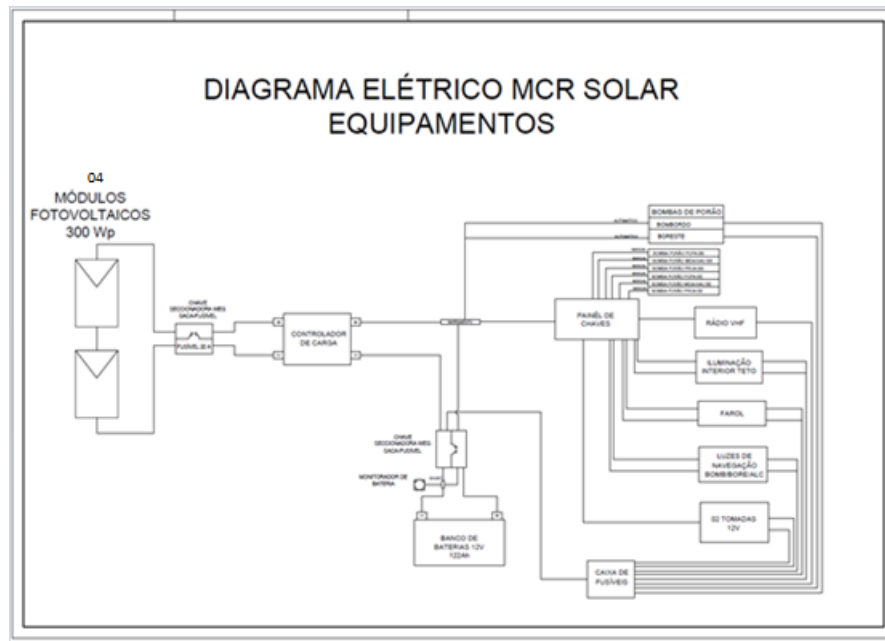
Como a embarcação se destinará para o transporte de pessoas e este pode acontecer em horários de pouca luminosidade, um farol de navegação será instalado na embarcação, bem como luzes internas para os passageiros.

Para manutenção da energia desse sistema, 02 painéis dos 80 disponíveis na embarcação serão destinados à recarga da bateria independente. Novamente, será necessário um controlador de carga para regular a tensão de carga das baterias de 60 V_{CC} . para 12 V_{CC} ., porém, este não será citado neste trabalho.

O sistema também será constituído com Chaves Seccionadoras selecionadas da empresa WEG afim de obter o isolamento dos painéis fotovoltaicos e/ou banco de baterias. Para segurança, todos os equipamentos possuirão fusíveis.

O sistema de bombas de porão será constituído por 01 automática em cada banana do catamarã, além de mais 03 ativadas manualmente, na proa, meia nau e popa no fundo de cada casco. Na Figura 47 a seguir pode-se visualizar o diagrama elétrico dos equipamento auxiliares projetado para a embarcação em desenvolvimento.

Figura 47 - Diagrama elétrico dos Equipamentos a bordo da MCR SOLAR



Fonte: Elaborada pelo autor

4.7 Caracterização da Embarcação

Nesta secção são apresentadas o dimensionamento da embarcação, bem como a definição das características principais do projeto.

4.7.1 Dimensões Principais

Como definido anteriormente, em função das embarcações tomadas como base para o projeto e do número de painéis solares posicionados sobre o teto da embarcação, definiu-se o comprimento e a boca da embarcação.

-Comprimento Total (LOA):

$$L = 16,4 \text{ m} \quad (5)$$

-Boca Total (BOA):

$$B = 7,92 \text{ m} \quad (6)$$

-Calado (T):

$$T = 0,93 \text{ m} \quad (7)$$

Para a primeira iteração na espiral, o calado foi retirado da média das 04 embarcações mais próximas a aquelas utilizadas como base do projeto. As seguintes relações foram retiradas dos semelhantes de Gorter:

-Boca na L_{wl} de um Casco (b)

$$b = \frac{L}{9} \quad (8)$$

-Pontal (D)

$$D = T + 1,1 \quad (9)$$

O valor de pontal foi definido a partir das embarcações semelhantes de Gorter, e visa garantir a altura de borda livre e a distância mínima de 600 mm entre o ponto mais baixo da plataforma e a superfície da água, a fim de evitar que as vigas de ligação entre cascos toque a água e aumentem o arrasto. (OLIVEIRA, 2013)

Para a determinação do coeficiente de bloco dos cascos da embarcação, partiu-se para a modelagem do casco. Buscaram-se referências das linhas de casco de catamarãs e Armstrong, (2004), sugere o plano de linhas típico para catamarãs visto na Figura 48:

Figura 48 - Planos de linhas típicos de catamarãs

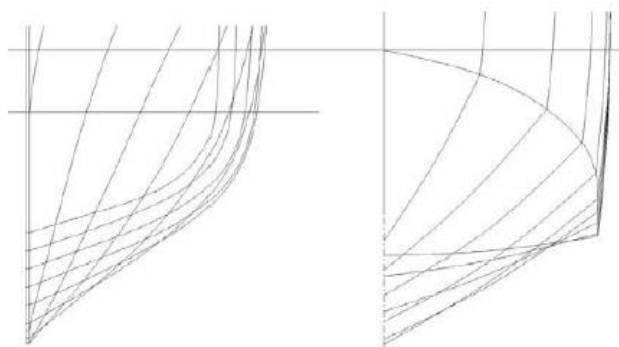


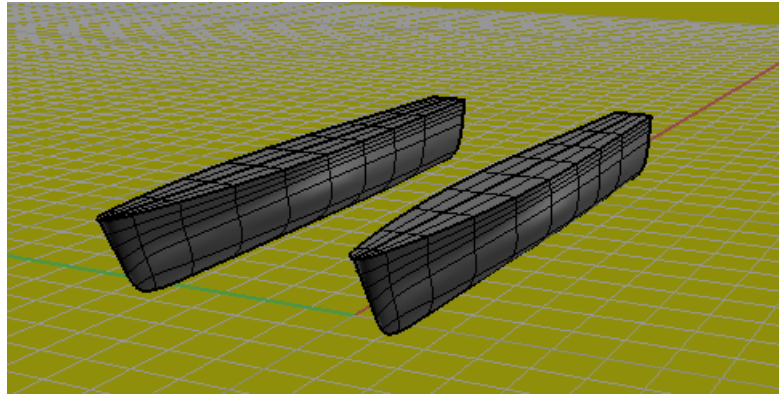
Figure 45.13 Round Bilge and Hard Chine Hull Shapes Typical of Catamarans

Fonte: Armstrong, 2004

Para a modelagem utilizou-se do software Rhinoceros, no qual modelou-se o casco a partir das dimensões principais e do plano de balizas do casco arredondado da esquerda da Figura 48

O modelo final dos cascos pode ser visualizado na Figura 49:

Figura 49 - Modelagem dos cascos no Rhinoceros



Fonte: Imagem capturada pelo autor no Rhinoceros

Na Tabela 10 podem-se visualizar um resumo das características principais da embarcação em desenvolvimento.

Tabela 10 - Parâmetros principais

Comprimento (L)	16,4	m
Boca (B)	7,92	m
Boca de um casco na LWL (b)	1,82	m
Coefficiente de Blocco (Cb)	0,48	
Calado (T)	0,93	m
Pontal (D)	2,03	m
Velocidade de serviço (V)	12	Nós
Velocidade de serviço (V)	6,1728	m/s
Nºde Froude	0,486	
LCB (meia-náu)	-1,01	m
Deslocamento	16,091	t

Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.2 Geração de energia e propulsão

Visa-se nessa etapa quantificar a energia que será captada pela embarcação em função da quantidade de painéis disponíveis no tijupá da embarcação e a irradiação atuante na cidade de Florianópolis. Em posse dessas informações, tem-se a energia fornecida pelos painéis, a energia disponível armazenada pelas baterias e posteriormente a energia consumida pelos motores.

-Área dos painéis fotovoltaicos:

$$A_{fv} = L * B \quad (1)$$

-Potência fornecida pelos painéis fotovoltaicos

$$Pot_f = \frac{E_{sol\ dia} * A_{fv} * Efic_{fv}}{t_{op}} \quad (11)$$

Painéis fotovoltaicos são definidos em função de sua potência nominal, utilizando a unidade Watt-pico, ou seja, esse valor é obtido somente com o sol em seu pico e na ausência de nuvens, ou seja a máxima potência possível de ser obtida.

Utilizar a potência nominal resultaria em um valor superestimado da potência captada pelos painéis fotovoltaicos. Portanto, busca-se informações referentes às variações anuais e locais da irradiação que atinge ao painel. Na cidade de Florianópolis, essas informações foram retiradas da base de dados SWERA e a média anual pelo software RadiaSol2. O valor da média da energia por metro quadrado é de 4,617 kWh/m².

O tempo de operação no maior trajeto proposto, percorrido pela velocidade de 12 nós, no trajeto de ida e de volta duas vezes no período da manhã e duas no período da tarde, resulta em um tempo total de operação de 5,3h, considerando 40 minutos por trecho navegado. Este tempo representa o tempo de operação do motor, sem contar o tempo de manobra, embarque e desembarque.

A eficiência do painel selecionado é a maior encontrada no mercado com valor de 20,1%.

$$E_{emb} = E_{sol\ dia} * A_{fv} * Efic_{fv} \quad (2)$$

E, portanto, o valor é a potência fornecida pelos painéis fotovoltaicos que o motor dispõe quando em operação, uma vez que relaciona a energia produzida com o tempo de operação do motor:

$$Pot_f = \frac{E_{emb}}{t_{op}} \quad (3)$$

Assim, a potência fornecida pelos painéis no intervalo de operação tem o valor de 23,77 kWh.

4.8 Projeto Geométrico

O projeto geométrico da embarcação tomará como base a embarcação Sun Cat 46, embarcação catamarã movida à energia solar e o *LayOut* interno das embarcações CAT BB

43 e CAT BB 60. As imagens tomadas como referência para início do esboço 2D estão ilustradas na Figura 50:

Figura 50 - Vista de topo, perfil, isométrica e frontal da embarcação base SunCat 46

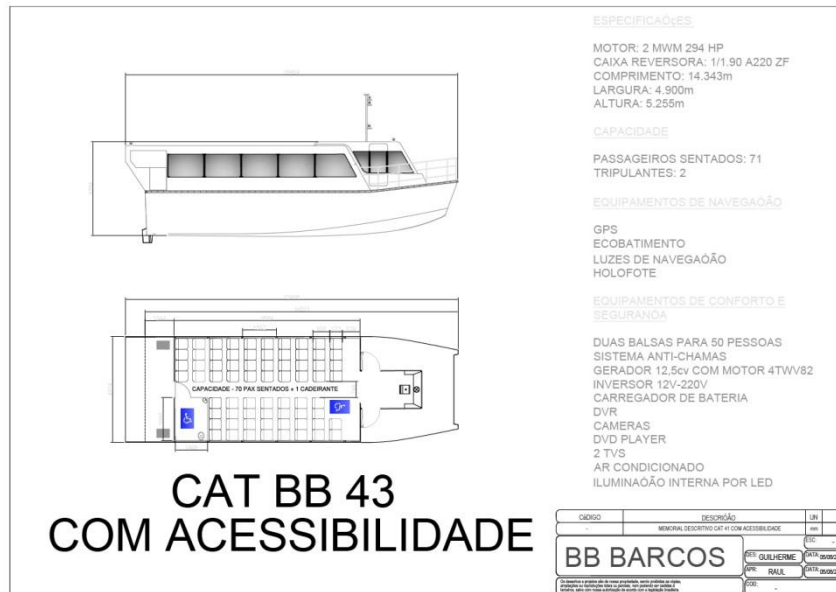


Fonte: Solar Water World, 2016/

Apesar de o fabricante informar que o barco é para o transporte de passageiros, o arranjo interno dessa embarcação se encaixa mais como um barco de esporte e recreio, distanciando-se da proposta deste trabalho. Buscaram-se então arranjos internos de embarcações que acomodassem passageiros sentados em maior quantidade.

A empresa BB Barcos fabrica catamarãs voltadas para o transporte de passageiros, porém movidos à combustão, suas linhas e arranjos internos podem ser visualizados nas figuras a seguir:

Figura 51 - Vista de perfil e arranjo interno do CAT BB 43

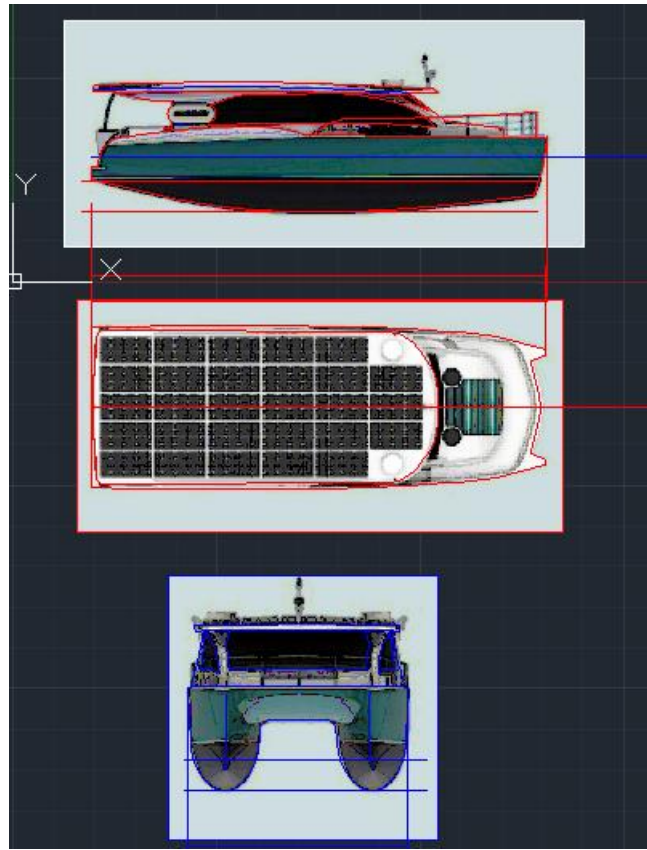


Fonte: BB Barcos, 2016

O arranjo interno dessas duas últimas embarcações se assemelha bastante com a proposta de projeto da embarcação em questão.

A fim de retirar algumas informações da embarcação base, as imagens foram adicionadas ao programa AutoCAD, de onde se obteve as linhas e proporções da embarcação base. Na Figura 52 são mostradas algumas das linhas usadas para definir a linha do convés, o ressalto na popa, o tamanho da plataforma de popa, a altura interna na embarcação, a linha d'água, dentre outras informações pertinentes.

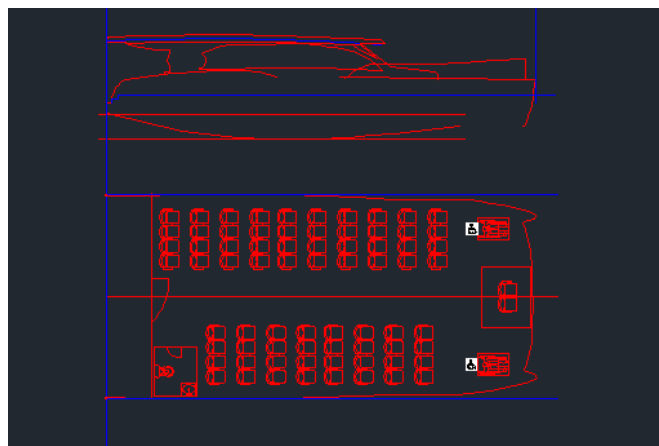
Figura 52 - Retirada de informações de alturas e Desing da embarcação base



Fonte: Elaborado pelo autor

As linhas base foram então escalonadas de forma coerente para representarem o casco em desenvolvimento, que deste ponto em diante passa a se chamar MCR SOLAR, representando as iniciais do nome do autor. O resultado do desenho do casco é mostrado na Figura 53

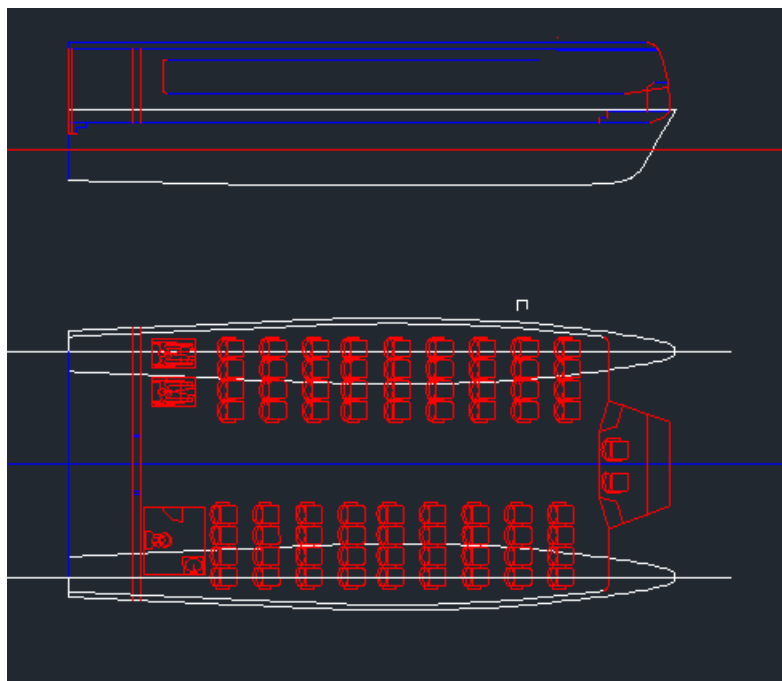
Figura 53 - Expansão das linhas retiradas da embarcação base e esboço do arranjo interno



Fonte: Elaborado pelo autor

O arranjo apresentado na figura acima é então adicionado aos cascos da embarcação catamarã descritos e modelados na secção 4.7.1 resultado no projeto conceitual representado na Figura 54:

Figura 54 - Vistas lateral e de topo da embarcação MCR Solar

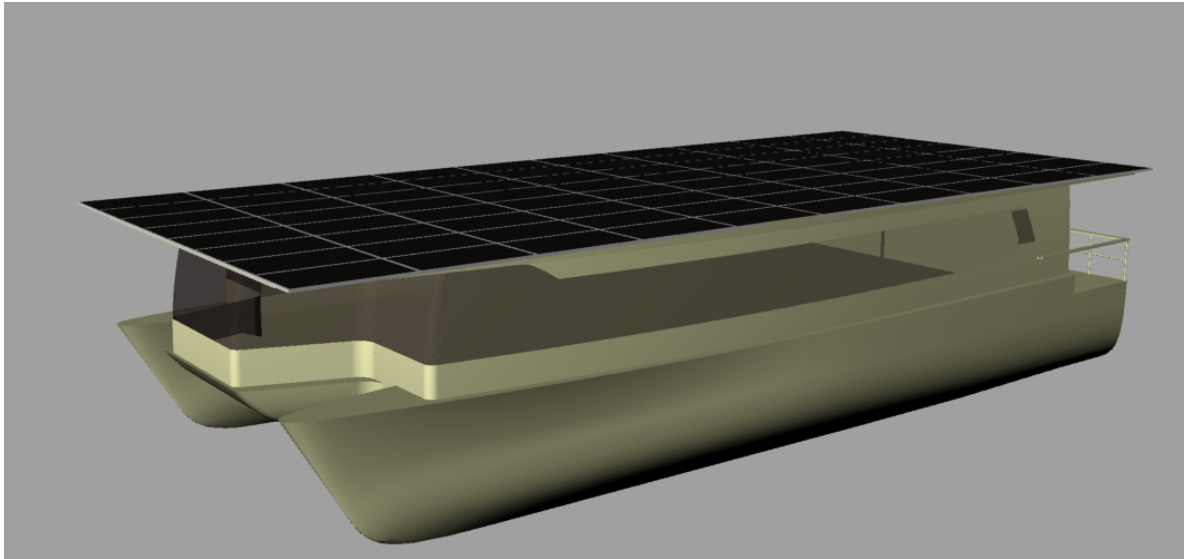


Fonte: Elaborado pelo autor

O arranjo interno da embarcação possui 72 assentos ergonômicos para o transporte de passageiros sentados. Nota-se também um local destinado ao transporte de passageiros cadeirantes na popa a bombordo da embarcação, ao contrário do visto nas semelhantes, que destinavam um espaço na proa para os cadeirantes. Essa mudança visa evitar o deslocamento do cadeirante ao longo de toda a embarcação, visto que o acesso ao navio ocorre pela popa da embarcação. Na popa boreste, há um lavabo destinados à passageiros e a tripulação. O *cockpit* de comando fica na proa e há duas cadeiras para o comando da embarcação.

A seguir, as duas vistas foram exportadas para o *software* Rhinocerus e foram posicionadas em topo e em lateral para que através de superfícies e cortes a embarcação fosse modelada em três dimensões. Por fim, o casco foi ajustado para se obter um melhor *desing*. O resultado da modelagem geométrica em três dimensões pode ser visualizado nas Figuras 55 56, 57 e 58 a seguir:

Figura 55 - Vista isométrica da modelagem 3D MCR Solar



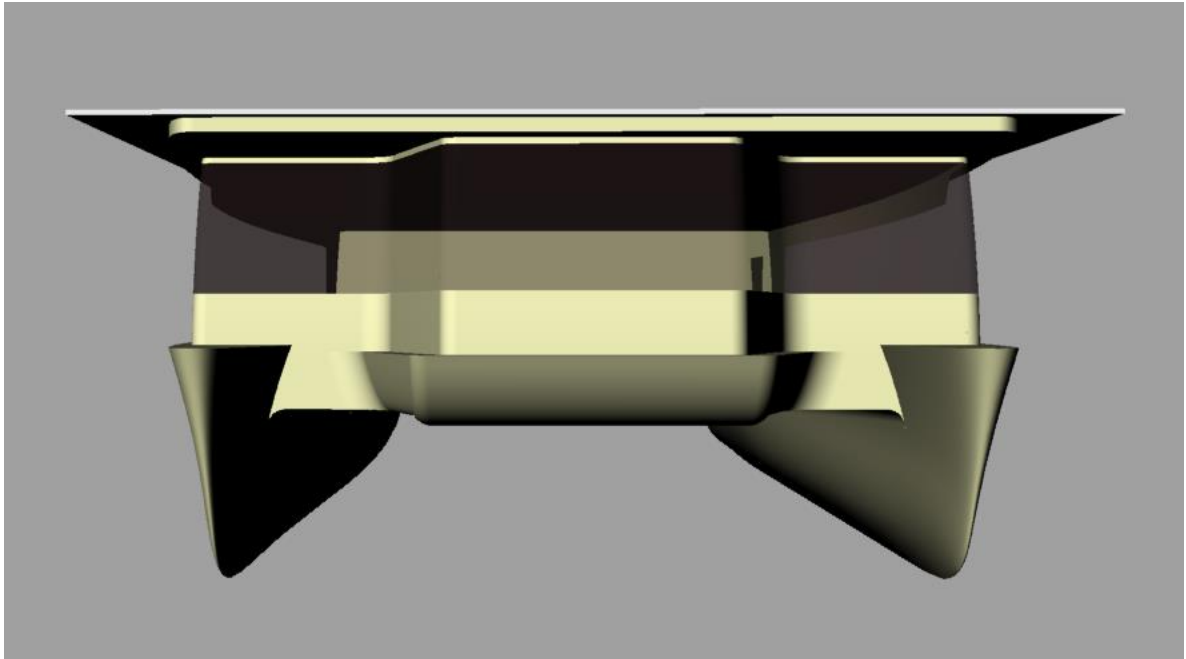
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 56 - Vista de popa MCR Solar



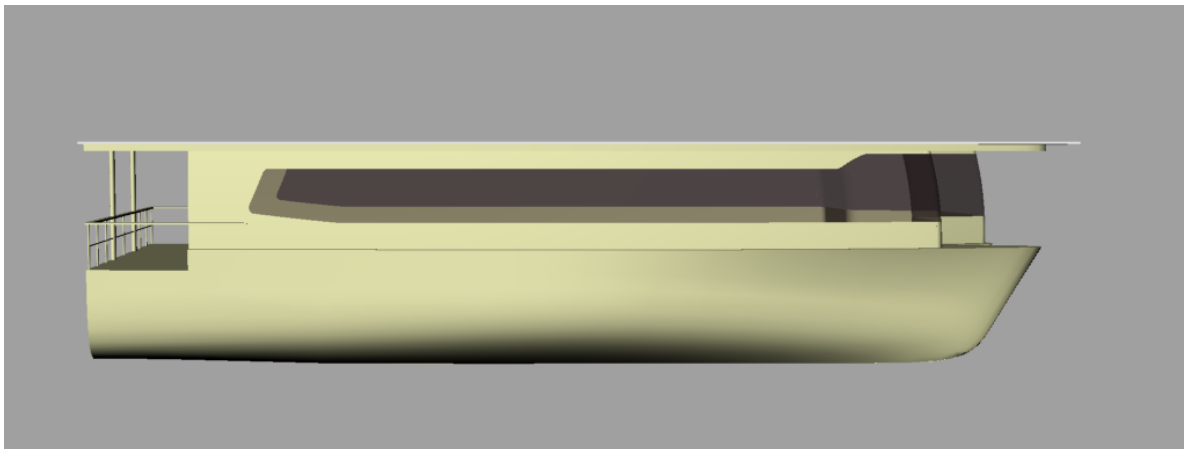
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 57 - Vista frontal MCR Solar



Fonte: Elaborado pelo autor

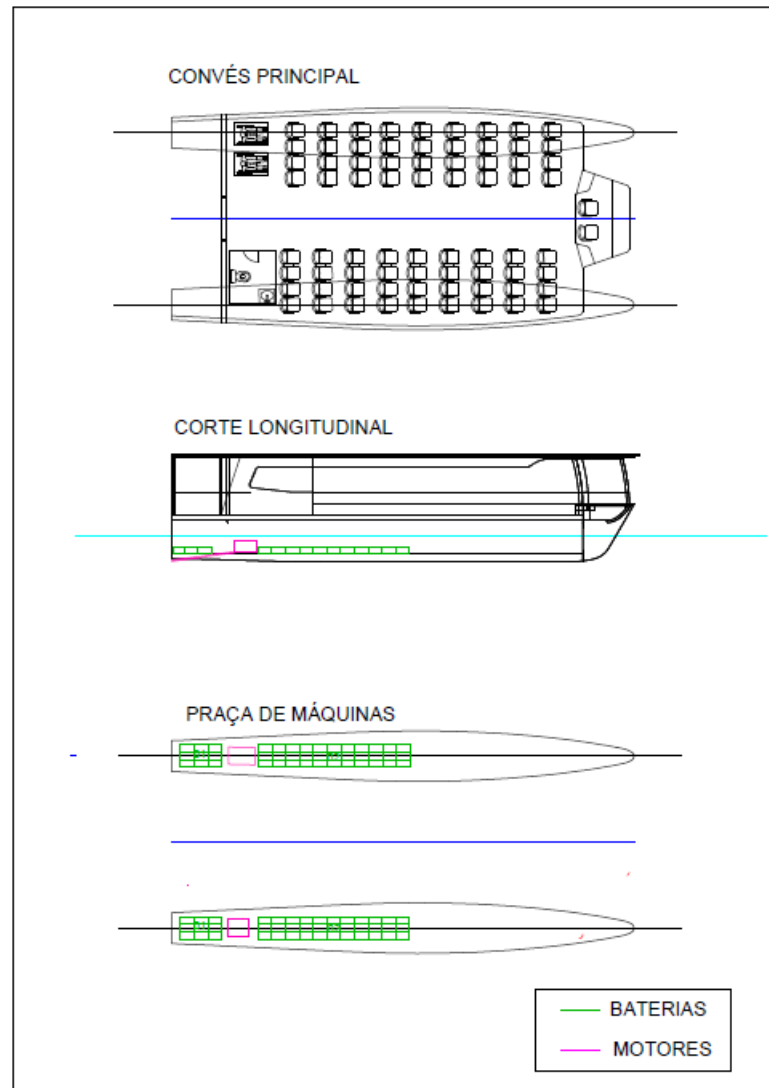
Figura 58 - Vista de perfil MCR Solar



Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez modelado o casco, as vistas foram extraídas novamente para o AutoCAD, onde foram posicionados os motores e baterias da embarcação com suas respectivas dimensões constituindo o arranjo geral final da embarcação MCR Solar.

Figura 59 - Arranjo geral MCR Solar



Fonte: Elaborado pelo autor

4.9 Pesos e Centros

Em posse do arranjo geral e da modelagem 3D da embarcação, os centros de cada elemento presente na embarcação foram medidos através do CAD. Para a estimativa do peso da casaria e dos cascos, utilizou-se da modelagem 3D para obter-se as áreas referentes aos cascos e a casaria, a qual foi multiplicada por uma densidade superficial típico de um laminado de fibra de vidro.

As posições de referência tomadas foram a meia nau para o eixo “x” longitudinal, meia-boca para o “y” transversal e linha de base para o eixo “z” vertical. Na Tabela 10 são

mostradas as posições longitudinais, transversais e verticais de cada um dos principais elementos da MCR Solar. As posições são multiplicadas por suas respectivas massas, esse valor posteriormente é somado com todos os outros e por fim dividido pelo deslocamento total da embarcação, obtendo-se o LCG, TCG e VCG.

Tabela 11 - Pesos e Centros MCR Solar

PESOS E CENTROS									
Referências: meia-náu +AV -RÉ, meia-boca +BB -BE, base-line									
ITEM	QUANTIDADE	PESO (kg)	massa total	LCG (mm)	TCG (mm)	VCG (mm)	LCG*mt (kg*m)	TCG*mt(kg.m)	VCG*mt(kg.m)
PASSAGEIROS BOMBORDO	38	75	2850	1028	2313	2048	2929,8	6592,05	5836,8
PASSAGEIROS BORESTE	36	75	2700	509	-2313	2048	1374,3	-6245,1	5529,6
MOTOR BOMBORDO	1	623	623	-5439	3300	517	-3388,497	2055,9	322,091
MOTOR BORESTE	1	623	623	-5439	-3300	517	-3388,497	-2055,9	322,091
CONJUNTO 01 BATERIAS BB	9	42	378	-7164	3330	425	-2707,992	1258,74	160,65
CONJUNTO 01 BATERIAS BE	9	42	378	-7164	3330	425	-2707,992	1258,74	160,65
CONJUNTO 02 BATERIAS BB	33	42	1386	-2437	3300	425	-3377,682	4573,8	589,05
CONJUNTO 02 BATERIAS BE	33	42	1386	-2437	-3300	425	-3377,682	-4573,8	589,05
PAINEIS SOLARES	80	18,5	1480	0	0	3810	0	0	5638,8
CASCOS	2	780	1560	-783	0	0,93	-1221,48	0	1,4508
BANHEIRO	1	160	160	-5530	-2313	1476	-884,8	-370,08	236,16
CASARIA	1	1156	1156	778	0	2000	899,368	0	2312
PILOTOS	2	75	150	6491	0	2348	973,65	0	352,2
TANQUE DE ÁGUA	1	150	150	-7164	3330	425	-1074,6	499,5	
							SOMA LCG	SOMA TCG	SOMA VCG
							-15952,104	0	22050,5928
	DESLOCAMENTO (kg)		14980	LCG	-1,06489				
				TCG	0				
				VCG	1,472002				

.Fonte: Elaborado pelo autor

As baterias representam uma quantidade significativa do deslocamento da embarcação e foram posicionadas de maneira que o LCG da embarcação se aproximasse do LCB, de maneira a zerar o ângulo de trim da embarcação.

O tanque de água e os banheiros foram posicionados buscando um centro transversal de gravidade bem a meia-boca, buscando uma similaridade para o carregamento transversal.

O deslocamento final não corresponde ao deslocamento de projeto, cabendo uma análise da nova linha de flutuação do casco no próximo capítulo.

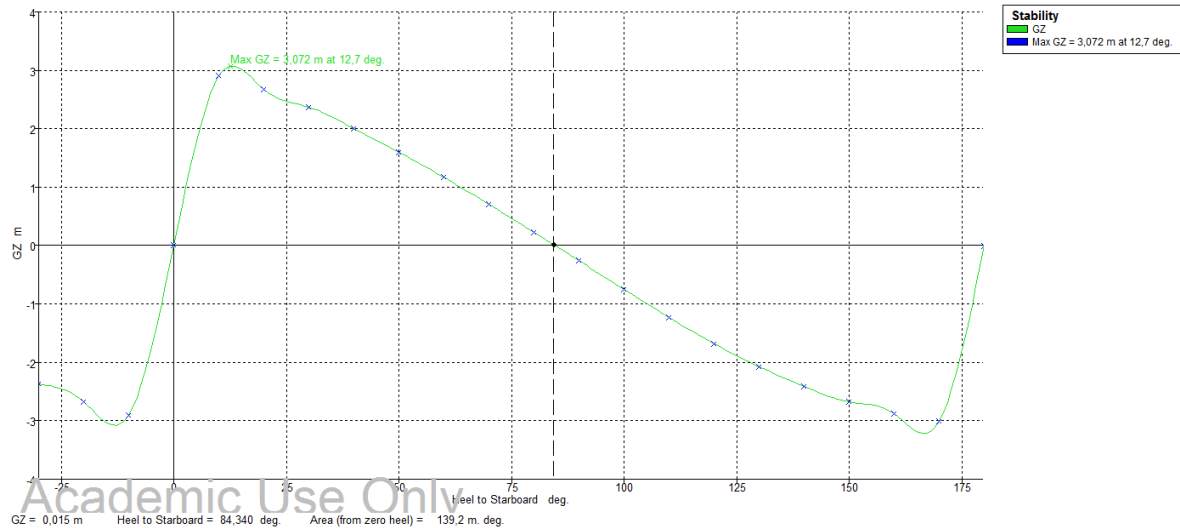
4.10 Estabilidade

Embarcações que levam o conceito catamarã geralmente são caracterizadas por possuírem boa estabilidade transversal, uma vez que possuem grande relação L/B e são caracterizadas por possuírem dois cascos, com grande inercial transversal do plano de linha d'água.

Para comprovar a estabilidade da embarcação projetada, o modelo do Rhinoceros foi exportado para o software MaxSurf, onde os dados de carregamento foram inseridos. A análise *Large Angle Stability* foi realizada visando estabelecer a curva de restauração

resultante da inclinação transversal da embarcação. O resultado da análise é mostrado na Figura 60 - Curva GZ Obtida pela análise Large Angle Stability

Figura 60 - Curva GZ Obtida pela análise Large Angle Stability



Fonte: Extraído do software MaxSurf

Da curva GZ obtida, encontra-se o ângulo de rotação em torno do eixo longitudinal onde acontece o maior braço restaurador da embarcação, que tem 3,072 metros. O ângulo de alagamento é 84°.

Em seguida, a análise de *Equilibrium* foi realizada. A tabela completa com os dados hidrostáticos pode ser visualizada no Anexo G. O calado novo obtido possui 0,691 metros, o GMt ficou em 21,2 metros, o que é muito elevado para a embarcação, implicando em uma rigidez muito elevada para a rolagem, a qual é proporcional à aceleração no mesmo sentido de rotação. Algumas tentativas de alteração do VCG da embarcação foram realizadas buscando um menor valor para o GMt porém não resultaram em alterações significativas no seu valor.

Os critérios de estabilidade da Normam 02 de embarcações empregadas em Área 2 foram atendidos.

4.11 Planta Propulsiva

Neste capítulo será apresentado o dimensionamento do sistema propulsivo para embarcação solar em desenvolvimento. A propulsão utilizará um propulsor do tipo hélice, sendo que o objetivo é selecionar um hélice da série B, que maximize a eficiência do sistema.

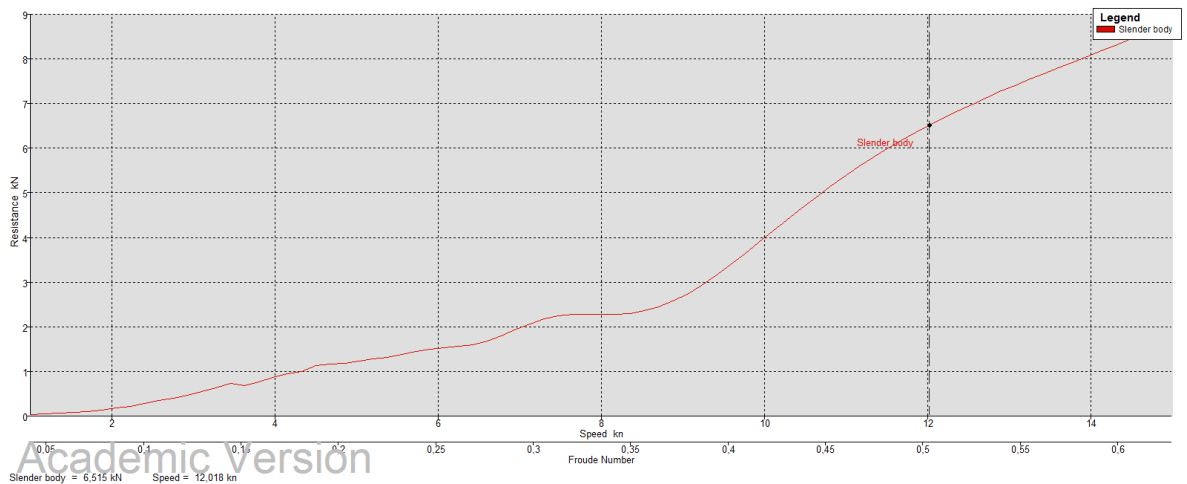
A transmissão será direta por eixo, cujo dimensionamento foge ao escopo deste trabalho. A seleção do propulsor resulta em um ponto de operação para o sistema, cuja

rotação e a potência permite escolher um motor para compor a planta propulsiva da embarcação.

4.11.1 Análise de resistência ao avanço

De posse do modelo CAD do casco é possível aplicar técnicas numéricas para se determinar a resistência ao avanço da embarcação. Dentre as técnicas presentes no programa MaxSurf Resistance, o método Slender Body é o mais indicado para catamarãs esbeltos. Na Figura 61 é mostrada a estimativa de resistência ao avanço calculada a partir dos cascos CAD modelado para a embarcação em projeto.

Figura 61 - Resistência ao avanço x Velocidade MCR Solar



Fonte: Retirado do MaxSurf Resistance

Para a velocidade de projeto de 12 nós, a resistência ao avanço estimada pela análise numérica foi de 6515 N, definindo uma potência efetiva de 40,27 kW, com 100% de eficiência na propulsão.

4.11.2 Seleção do propulsor

Para a seleção do propulsor foram utilizadas as características de hélice da série B (KUIPER, 92). Utilizou-se do trabalho de Mendes (2015), que gentilmente forneceu sua planilha onde iterativamente pode-se otimizar a determinação do passo, do número de pás, do diâmetro, da razão $Ae/A0$ para maximizar a eficiência do propulsor. Na Tabela 12 a seguir é mostrada a inserção dos dados na planilha utilizada.

Tabela 12 - Entrada dos parâmetros na embarcação

Parâmetros do Casco	
Comprimento na Linha D'Água (Lwl)	15,39 m
Boca (B)	1,96 m
Calado Médio (T)	0,69 m
Coefficiente de Bloco (Cb)	0,48
Velocidade de Serviço em m/s (V_s)	6,1728 m/s
Resistência ao Avanço (Rcmcm)	3257,5 N
Constantes	
Densidade da Água Salgada (rho)	1026 kg/m ³
Aceleração da Gravidade (g)	9,8 m/s ²
Pressão de Vapor da Água (pv)	1671 N/m ²
Pressão Atmosférica (patm)	101300 N/m ²
Coeficientes	
Coefficiente de esteira (w) (Sugerido)	0,0488
Coefficiente de esteira (w)	0,0488
Coefficiente de redução da força propulsora (t) (Sugerido)	0,0696
Coefficiente de redução da força propulsora (t)	0,0696
Curva KT casco	
Rt navio/J ²	0,23008 N
Empuxo Fornecido pelo Hélice (Th)	3885,96 N

Fonte: Mendes, 2015

Para realizar a integração casco-hélice, que define o propulsor a ser usado, utilizou-se a metade da resistência ao avanço obtida, ou seja 3257,5 N, visto que serão usados 2 propulsores do tipo hélice.

Na Tabela 13 pode-se visualizar os parâmetros obtidos para o propulsor após inúmeras tentativas visando maximizar a eficiência do hélice.

Tabela 13 - Parâmetros do propulsor projetado

Parâmetros do Hélice	
Número de Pás do Hélice (Z)	3
Diâmetro do Hélice (Dh)	0,691 m
Profundidade Propulsor (Hp) (Sugerido)	0,8292 m
Profundidade Propulsor (Hp)	0,8292 m
Razão de Área Expandida - Ae/Ao (Recomendado)	0,17
Razão de Área Expandida - Ae/Ao	0,4
Razão Passo-Diâmetro - P/D	0,7
Parâmetros do Hélice do Usuário	
Coefficiente de Avanço (J)	0,590
Eficiência em Água Aberta- η_o	0,659
RPM	890 1/min
Parâmetros do Hélice P/D Otimizado	
Razão Passo-Diâmetro - P/D (Ótimo)	1,1
Coefficiente de Avanço (J)	0,83
Eficiência em Água Aberta- η_o	0,71
RPM	864 1/min
Bollard Pull	15,71 kg/kW

Fonte: Mendes, 2015

O diâmetro do propulsor foi definido como o tamanho do calado. A razão de áreas expandidas quando tendida ao seu limite inferior imposto pela Serie B de 0,3 melhora a eficiência do propulsor, porém, pode apresentar problemas estruturais e de vibração, portanto

foi tomada como 0,4. O mesmo acontece para o número de pás do hélice, visto que um hélice de duas pás apresenta a melhor eficiência, porém maior vibração, levando a decisão por um propulsor típico de três pás. A razão passo/diâmetro foi variada dentro do intervalo proposto pela série B, buscando a maior eficiência em água aberta possível. A eficiência do propulsor selecionado é de 65,9%, com uma rotação de cerca de 900 RPM.

4.11.3 Seleção final do Motor

Para a definição final do motor é necessário estabelecer a potência requerida pelo sistema propulsivo, pois a potência consumida na velocidade do motor é definida por,:

$$BHP = P_{ef}/\eta_e \quad (4)$$

A eficiência do propulsor foi definida na secção anterior como valendo 0.66. Na Tabela 14 são apresentados os valores típicos de eficiência dos demais componentes do sistemas propulsivo.

Tabela 14 - Eficiência da tração elétrica

Elemento	Eficiência
Temperatura do Painel	0,95
Controlador Mppt	0,98
Motor/Inversor	0,92
Transmissão	0,98
Hélice	0,66
Total	0,55

Fonte: Elaborado pelo autor

$$BHP = 73,21 \text{ kW} \quad (5)$$

Essa potência se refere à velocidade de 12 nós, portanto, a estimativa preliminar de de dois motores de 45 kW pode ser mantida, uma vez que o motor trabalha em cerca de 75% de sua potência máxima, sua faixa de maior eficiência. Portanto, resta definir o número de polos do motor, diretamente relacionado ao RPM deste. Como o propulsor selecionado tem sua melhor eficiência em 900 RPM, o número de polos para que não seja necessário redução na transmissão é encontrado pela Equação 16:

$$N^{\circ}Polos = \frac{7200}{RPM} \quad (6)$$

For fim, um motor da linha W22 IR3 Premium é selecionado através do sistema de seleção de motores WEG, entrando com potência, tensão e número de polos. As especificações podem ser visualizadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Características do motor da linha W22 IR3 Premium

Características
<ul style="list-style-type: none"> • Carcaça: 280S/M • Potência: 45 kW • Frequência: 60 Hz • Polos: 8 • Rotação nominal: 890 • Escorregamento: 1,11 % • Tensão nominal: 220/380 V • Corrente nominal: 160/92,5 A • Corrente de partida: 959/555 A • Ip / In: 6,0 • Corrente a vazio: 70,0/40,5 A • Conjugado nominal: 483 Nm • Conjugado de partida: 170 % • Conjugado máximo: 200 % • Categoria: --- • Classe de isolamento: F • Elevação de Temperatura: 80 K • Tempo de Rotor Bloqueado: 20 s (quente) • Fator de serviço: 1,25 • Regime de serviço: S1 • Temperatura Ambiente: -20°C – +40°C • Altitude: 1000 m • Proteção: IPW55 • Massa aproximada: 623 kg • Momento de inércia: 2,2565 kgm² • Nível de ruído: 63 dB(A)

Fonte: Catálogo W22 IR3 Premium WEG

Tabela 16 - Rendimentos em função da porcentagem da potência

Rendimento (%)		
50%	75%	100%
93,5	93,7	93,5

Fonte: Catálogo W22 IR3 Premium WEG

É importante observar que o motor escolhido trabalha com média tensão, o que permite armazenar na embarcação uma maior quantidade energia, na forma de baterias ligadas em série.

4.12 Balanço energético

Uma vez definido todo o sistema propulsivo, é possível realizar uma análise do balanço energético do sistema quando esse opera na velocidade de serviço.

Sabe-se do Capítulo 4.7 que os painéis fotovoltaicos gerarão uma energia de 23,77 kWh (para as 5,3 horas de trabalho do motor estipuladas anteriormente. As baterias, quando 100% carregadas, dispõem de uma energia de 291,84 kWh e os motores, consumirão 73,21 kW instantâneos, ou seja 73,21 kWh em energia. A autonomia da embarcação dada em tempo é representada pela Equação 7:

$$t = \frac{E_{armazenada}}{E_{sai} - E_{entra}} \quad (7)$$

Na equação, a energia que sai representa a energia que o motor consumirá, enquanto que a energia que entra representa a energia absorvida pelos painéis fotovoltaicos. Por fim, a energia armazenada representa a energia das baterias.

Esse cálculo permite dizer que a embarcação tem autonomia para navegar durante 5,9 h ininterruptas, o que supre o tempo de operação calculado no capítulo 4.7.2. atendendo a proposta de que cada embarcação da frota é capaz de fazer duas viagens no período da manhã e duas viagens no período da tarde.

Portanto, a embarcação se mostra viável para a operação, atendendo aos requisitos de projeto, em especial a velocidade de serviço de 12 nós.

4.13 Segurança e Salvatagem

A fim de definir os equipamentos de segurança e salvatagem obrigatórios para a embarcação em questão, uma consulta à NORMAM (2005) foi feita. Para o caso da embarcação em projeto, que será destinada à navegação interior, a referência tomada será a NORMAM 02. O Anexo 4-B apresenta os requisitos referentes aos equipamentos de salvatagem e segurança necessários, os quais podem ser vistos resumidamente na Tabela 17

Tabela 17 - Materias de salvatagem

DOTAÇÃO DE MATERIAL DE SALVATAGEM/SEGURANÇA						
Embarcação	Embarcação de sobrevivência	Colete salva-vidas Tam. Grande	Coletes salva-vidas p/ crianças	Artefatos pirotécnicos	Boias salva-vidas	Extintores
Transporte de qualquer nº de passageiros (AB≤20) Ct<24	Isento	100%	10\$	isento	2	2 de 4kg CO2, próximo ao motor. 1 de 2kg de Pó-químico no comando ou covés

Fonte: NORMAM, 2005

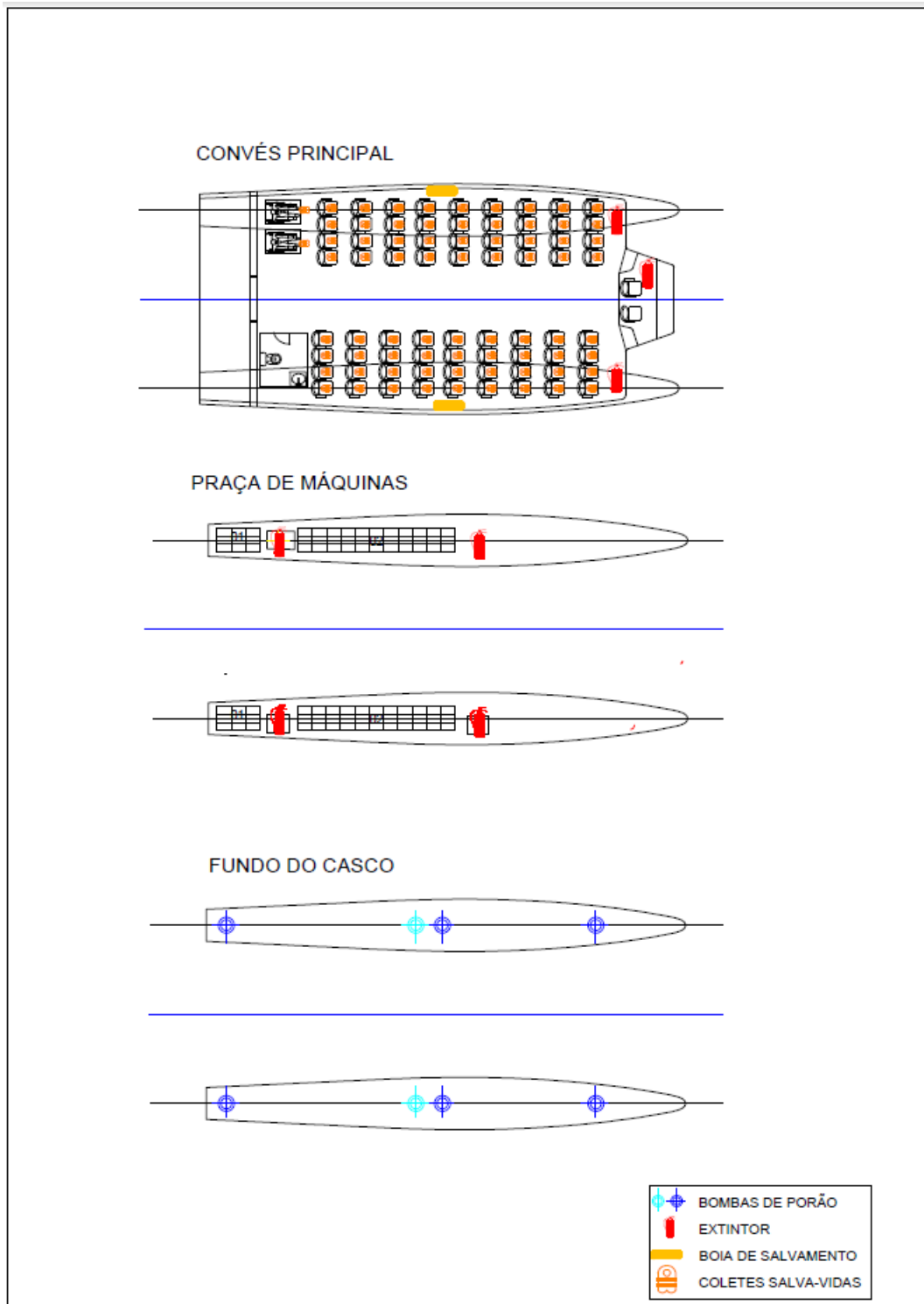
O total de passageiros, incluindo os cadeirantes e tripulantes, é de 76. Portanto, a embarcação estará dotada de 76 coletes salva-vidas Classe II, tamanho grande, além de 7 da Classe II tamanho pequeno, conforme porcentagem indicada pela NORMAM (2005). Os coletes serão posicionados embaixo dos assentos de modo que o passageiro tenha fácil acesso em caso de emergência.

As boias de salvamento são posicionadas dentro da casaria a meia nau, uma em cada bordo da embarcação, enquanto que os extintores são posicionados ao longo de toda a embarcação. Sendo quatro na casa de máquinas e três no convés principal, perto do comando.

Serão instaladas quatro bombas de porão, posicionadas na popa, meia nau e proa da embarcação, conforme disposição mostrada na Figura 62. É importante observar que duas bombas possuem sensor de ativação automático e são ligadas diretamente na bateria, antes da chave geral. Todas bombas atuando juntas, possuem uma capacidade de expulsão de água de 12000 L/min.

Na Figura 62 é possível visualizar o plano de segurança da embarcação.

Figura 62 - Plano de segurança da embarcação



Fonte: Elaborado pelo autor

Como medida de segurança, recomenda-se incluir ao projeto a utilização de um gerador a diesel para suprir uma possível descarga total das baterias e ausência de luz solar.

4.14 Custos

O estudo de custos da embarcação desenvolvida se limitará somente aos principais elementos constituintes da tração elétrica da embarcação, pois são esses elementos que representam um diferencial em relação as embarcações convencionais de mesmo porte e tipo. Para esta análise, os fabricantes WEG, Yingli e SmartBattery foram contados em busca de valores de referência pra essa análise, os quais são mostrados na Tabela 18.

Tabela 18 - Custos dos equipamentos do sistema de tração elétrica

CUSTOS			
Item	Quantidade	Preço Unitário R\$	Total
Motor WEG W22 IR3 Premium 45 kW	2	35.500	71000
Inversor WEG CFW 11	2	19.470	38940
Baterias 300 Ah 12 V SmartBattery	84	11879	997836
Controlador de carga	4	-	-
Paineis Yingli 300 Wp Panda 60	80	850	68000
		Valor total R\$	1.175.776

Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONCLUSÃO

Motivado pelo clamor mundial por uma alternativa para substituição dos combustíveis fósseis visando barrar o aquecimento global, apresentou-se neste trabalho, o projeto de uma embarcação viável para auxiliar na mobilidade urbana da cidade de Florianópolis.

Analisando a região e o fluxo urbano, definiu-se uma rota proposta que contribuiria para a redução no trânsito da região, além de estabelecer uma velocidade de serviço atrativa para os passageiros.

Definidos os requisitos, desenvolve-se o projeto conceitual da embarcação seguindo a tradicional metodologia iterativa representada pela espiral de Evans. O resultado final foi o projeto conceitual de uma embarcação solar que atendeu a todos os requisitos estabelecidos para o projeto.

O resultado consiste em um projeto promissor que, se levado a fases posteriores, pode representar um importante desenvolvimento para o transporte urbano da cidade de Florianópolis, além de um importante desenvolvimento para a Engenharia Naval.

Ao analisar embarcações semelhantes, notou-se um mau aproveitamento da área disponível para captação de energia fotovoltaica, enquanto que no projeto desenvolvido, a área total disponível entre a proa, popa e bordos foi 100% aproveitada, sendo esse um fator decisivo para a viabilidade energética e sócio-econômica da embarcação. Ainda nessa viabilidade energética, frisa-se a utilização de 380 V no motor de indução corrente alternada, o que permite a utilização de um arranjo de baterias ligadas em série mais robusto.

Numa segunda interação na espiral, alguns ajustes e estudos devem ser realizados. Recomenda-se uma análise logística de quantas pessoas de fato utilizariam o serviço, qual seria o preço da passagem e em quanto tempo haveria um retorno do investimento da tecnologia empregada na embarcação. Deve-se estudar ainda, a distância entre cascos e avaliar a interferência de ondas entre estes, reduzindo, possivelmente, a resistência ao avanço da embarcação.

Por fim, seria interessante analisar a utilização dos painéis solares de terceira geração, pois a variação no calado resultante da diferença de massa entre as duas tecnologias pode ser um fator decisivo na resistência ao avanço e no balanço energético da embarcação.

6 REFERÊNCIAS

AMSTRONG, Tony. SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION . Michigan: The Society Of Naval Architects And Marine Engineers Ship Production Committee Education And Training Panel (sp-9), 1986. 490 p.

AQUAWATT. Aquawatt: motores de popa elétricos. 2016. Disponível em: <<http://www.aquawatt.at/>>. Acesso em: 02 nov. 2016.

BARCOS, Bb. CAT BB 43. 2016. Disponível em: <<http://www.bbbbarcos.com.br>>. Acesso em: 26 mar. 2016.

BATTERY, Smart. 12V 300AH LITHIUM ION BATTERY. 2016. Disponível em: <<http://www.lithiumion-batteries.com/products/lithium-ion-solar-batteries/12v-300ah-lithium-ion-battery.php>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

BEER, R., 2015, *O sol é para todos*, disponível em: *Revista veja*, Edição 2416, Acesso em 11.mar.2015.

BURT, C. M., PIAO, X., GAUDI, F., et al, 2006, *Electric Motor Efficiency under Variable Frequencies and Loads*, In: ITRC Report, n° R06-004, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA, United States of America.

CARBONESI, L. F. D. L., 2010, *Desenvolvimento de um método de projeto racional de embarca ões solares classe “A” Articulando Elementos Analíticos e Experimentais, Projeto Final de Curso*, DENO/UFRJ, RJ, Brasil.

CHAGAS, M. W. P., 2007, *Novas Tecnologias para Avaliação de Baterias*, Dissertação de Mestrado Profissionalizante, IEP/LACTEC, Curitiba, PR, Brasil.

CHAN, C. C., 2002, “The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles”, *Proceedings of the IEEE*, vol 90, n°2(Fev), pp.247-275.

CRESESB. Características elétricas dos módulos fotovoltaicos. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=331>. Acesso em: 08 nov. 2016.

DUARTE, F. M. B. , 2007, *Projecto de uma embarcação com propulsão eléctrica e pilha de combustível a hidrogênio*, Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

GORTER, T., VOERMAN, E., JOORE, P., et al, “*PV-boats: design issues in the realization of PV powered boats*”, ERSCP-EMSU conference, Delft, The Netherlands, , 2010.

GORTER, Tim. *Design Considerations of a Solar Racing Boat: Propeller Design Parameters as a Result of PV System Power. Holanda: Conference Paper In Energy Procedia, 2015. 7 p.*

HAWTHORNE, E., 1998, *100 years of Going With the Current*, disponível em: <<http://www.electric-boat-association.org.uk/history.htm>>. Acesso em: 08.nov.2015

KAR, N. C., NANDA, G., “A survey and comparison of characteristics of motor drives used in electric vehicles” CCECE/CCGEL IEEE, 811-814, Ottawa, May 2006.

KUIPER, G., THE WAGENINGEN PROPELLER SERIES. MARIN Publications 92-001, 1992.

LAMB, Thomas. ENGINEERING FOR SHIP PRODUCTION. Michigan: The Society Of Naval Architects And Marine Engineers Ship Production Committee Education And Training Panel (sp-9), 1986. 490 p.

LUMINI, M., 2014, *Ônibus representam apenas 3% dos veículos que cruzam a ponte Colombo Salles em horário de pico*, *Diário Catarinense*, disponível em: <<http://diariocatarinense.clicrbs.com.br/sc/geral/noticia/2014/11/onibus-representam-apenas-3-dos-veiculos-que-cruzam-ponte-colombo-salles-em-horario-de-pico-4652853.html>>. Acesso em: 08.set.2015.

MENDES, Elisa Rego. PROCEDIMENTO PARA SELEÇÃO OTIMIZADA DE UM PROPULSOR DA SÉRIE B. 2015. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Ctg, Universidade Federal de Santa Catariina, Joinville, 2015.

NISENBAUM, M. A., 2008?, “*Pilhas e Baterias*” disponível em: <http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_pilhas_e_baterias.pdf>. Acesso em: 08.nov.2015.

NORMAM. NORMAM 02: Normas de Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior. 02 ed. 2005. 412 p. Disponível em:

<<https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/normam02.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2016

OLIVEIRA, Maurício Aguilar Nepomuceno de. ANÁLISE DA VIABILIDADE DE EMBARCAÇÕES SOLARES PARA TRANSPORTE DE PASSAGEIROS. 2013. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Oceânica., Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em:

<http://www.oceanica.ufrj.br/intranet/teses/2013_Mestrando_Mauricio_Aguilar_Nepomuceno_de_Oliveira.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2016.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (Org.). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel - Crecesb, 2014.

POMILIO, J. A., *Uma breve história da eletricidade industrial e da eletrônica de potência*, 2011. disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/eltpot/historia.pdf>>. Acesso em: 08.nov.2015.

PROENÇA, E. D. R. B., 2007, *A Energia Solar Fotovoltaica em Portugal- estado da arte e perspectivas de desenvolvimento*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

ROSOLEM, Maria de Fátima N. C. et al. Bateria de lítio-íon: conceitos básicos e potencialidades*. 8. ed. Campinas: Cad. Cpqd Tecnologia, 2012. Disponível em: <https://www.cpqd.com.br/cadernosdetecnologia/Vol8_N2_jul_dez_2012/pdf/artigo7.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2016.

SOLAR, Portal. TIPOS DE PAINEL FOTOVOLTAICO. 2016. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

UOL. Células Solares. 2012. Disponível em: <<http://ambiente.hsw.uol.com.br/celulas-solares1.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

VALLÊRA, A. M., BRITO, M. C., 2006, “*Meio Século de História Fotovoltaica*”, *Gazeta da Física*, vol29, Fascículo 1-2, pp. 10-15.

WEG. CFW 11. 2016. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Inversores-de-Frequencia/CFW11>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

WEG. Inversores de Frequência. 2016. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Inversores-de-Frequencia>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

WEG. Motores MWM, mais potência e praticidade. 2009. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Media-Center/Noticias/Produtos-e-Solucoes/Motores-WGM-Mais-potencia-e-praticidade>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

WORLD, Solar Water. SunCat46. Disponível em: <<http://www.solarwaterworld.de/>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

YINGLI. Monocrystalline Solar Panels. 2016. Disponível em: <Fonte: <http://www.yinglisolar.com/br/products/monocrystalline/>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

7 ANEXOS

ANEXO A – Catálogo Soluções para a Indústria Naval



Linha W22

- W22 Plus: nível de eficiência de acordo com as normas em vigor atualmente ¹⁾
- W22 Premium: excede o nível de eficiência especificada nas normas
- W22 Super Premium: excede em dois níveis a eficiência especificada nas normas
- Potências: 0,12 a 550 kW ²⁾
- Tamanhos de carcaça: 63 a 355A/B ²⁾
- Número de polos: 2, 4, 6 e 8 ²⁾
- Aplicações: bombas de transferência, bombas de recirculação, bombas de resfriamento, guincho da âncora, equipamentos de içamento, compressores, entre outros.



Linha W22Xn

- Segue os mais altos padrões de segurança
- Flexibilidade para se adaptar às mais diferentes aplicações
- Garante a segurança em áreas em que uma atmosfera explosiva pode estar presente
- Faixa de potência: 0,12 a 550 kW
- Tamanhos de carcaça: 63 a 355A/B
- Número de polos: 2, 4, 6 e 8
- Aplicações: bombas de transferência, bombas de combate a incêndio



Linha WELL

- Maior vida útil
- Maiores intervalos de lubrificação
- Alta resistência a ambientes agressivos e corrosivos
- Menores custos operacionais
- Faixa de potência: 0,37 a 550 kW
- Tamanhos de carcaça: 90S a 355A/B
- Número de polos: 2, 4, 6 e 8
- Aplicações: bombas de transferência, bombas de recirculação, bombas de resfriamento



Linha HGF

- Alto desempenho nas aplicações mais difíceis
- Alta resistência, durabilidade e baixo custo de manutenção
- Faixa de potência: até 800 kW
- Tamanhos de carcaça: 315, 355 e 400
- Número de polos: 2, 4, 6, 8, 10 e 12
- Aplicações: propulsores de proa, propulsores de popa, propulsores azimutais
- Linha disponível para tipo de proteção ExnA

ANEXO B – Inversores de Frequência WEG

	CFW11 Inversores de frequência, com tecnologia de última geração. Alta precisão e confiabilidade no controle de velocidade e torque; estrutura compacta, ideal para instalação em espaços reduzidos.		CFW10 Destinado para o acionamento de motores trifásicos. Na faixa de potência de 0,25 a 5cv.		CFW08 Destinado para o acionamento de motores trifásicos. Na faixa de potência de 0,25 a 20cv.
	MWW01 Destinado à variação de velocidade em média tensão. O MWW-01 possui uma estrutura multinível com IGBTs de alta tensão (6,5 kV), reduzindo as correntes harmônicas no motor a níveis extremamente baixos.		CFW100 O inversor de frequência CFW100 é um acionamento de velocidade variável, compacto, de alta performance para motores de indução trifásicos que oferece flexibilidade e excelente custo benefício.		CFW300 Ideal para aplicação em máquinas ou equipamentos que necessitam de controle preciso e facilidade de operação, o CFW300 é um acionamento de velocidade variável de alta performance para motores de indução trifásicos.
	CFW500 É um acionamento de velocidade variável com tecnologia avançada para motores de indução trifásicos que oferece excelente desempenho, flexibilidade e ótimo custo benefício.		CFW501 HVAC Inversor de frequência da linha HVAC WEG.		CFW700 Especialmente otimizado para as mais diversas aplicações, possui controle vetorial, robustez e vários acessórios já incorporados no produto padrão, aliados à qualidade dos inversores WEG sempre com ótimo custo benefício.
	CFW701 HVAC É um acionamento de velocidade variável com tecnologia de última geração para motores de indução trifásicos. É ideal para aplicações em HVAC.		CVW300 Os inversores de frequência para tração elétrica CVW300, Conversor Veicular WEG, são direcionados para o mercado de veículos elétricos, sendo específicos para o controle de motores de indução trifásicos de baixa tensão.		LDW900 O LDW900 é um conversor de frequência dedicado ao mercado de elevadores, com design flat que permite a instalação no perfil da porta ou no poço do elevador, sem a necessidade de casa de máquinas.
	MW500 Inversor de frequência de alta performance para utilização em soluções descentralizadas, pode ser instalado diretamente sobre o motor ou o mais próximo possível conforme a necessidade da aplicação.				

Fonte WEG, 2016

ANEXO C – Datasheet Painéis fotovoltaicos

PANDA 60 CÉLULAS SÉRIE 2

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Parâmetros elétricos para STC							
Tipo de módulo			YLxxxC-30b (xxx=P _{max})				
Potência de saída	P _{max}	W	280	275	270	265	260
Tolerância	ΔP _{max}	W	0 / + 5				
Eficiência do módulo	η _m	%	17,2	16,9	16,6	16,3	16,0
Tensão em P _{max}	V _{mpp}	V	31,3	30,9	30,5	30,1	29,7
Corrente em P _{max}	I _{mpp}	A	8,96	8,91	8,85	8,79	8,74
Tensão em circuito aberto	V _{oc}	V	39,1	38,8	38,6	38,3	38,1
Corrente de curto-circuito	I _{sc}	A	9,50	9,47	9,43	9,37	9,35

STC: 1000 W/m² irradiância, temperatura do módulo de 25° C, distribuição espectral AM1.5gr de acordo com a norma EN 60904-3. Redução média de eficiência de 1,9% em irradiância de 200 W/m² de acordo com EN 60904-1.


Fonte: Monocrystalne Panels, 2016

ANEXO D - Imagem do motor W22 IR3 Premium



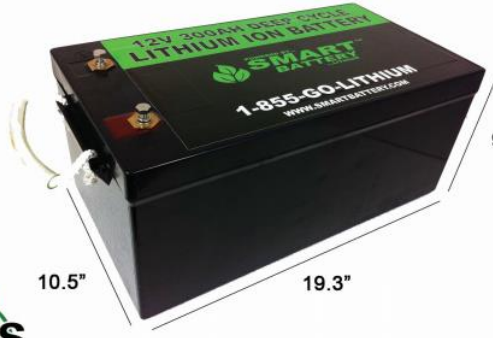
Fonte: WEG (2016)

ANEXO E – Datasheet bateria selecionada



SMARTBATTERY
LITHIUM ION TECHNOLOGY

12V 300AH Lithium Ion Battery

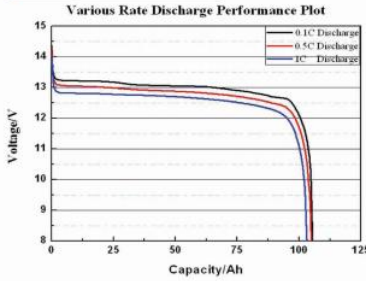


10.5" x 19.3" x 9.0"

SB300 DATA SHEET


● Discharge Curves 25°C (77°F)

Various Rate Discharge Performance Plot




● Cycle life

Capacity at different cycles(%)	100 cycles	102
	500 cycles	96.3
	1000 cycles	90.8
	1500 cycles	85.4
	2000 cycles	80.1
Max.Charge Voltage	14.6 V	
Cut-off Voltage	8 V	



LEAD FREE
RoHS
COMPLIANT




CE
SGS
TS 16949
Registered


Amp Hours: 300AH
Voltage: 12.8V Nominal
Cold Cranking Amps: 3000
Life Expectancy: 3000 - 5000 Cycles
LiFePo4 - SAFE BATTERY

Weight: 93 Lbs.
Group Size 8D
Minutes @ 20A 720
Efficiency: 99%
No Memory

Zero Maintenance
Max Continuous Discharge 120A
Operating Temp. - 4 F + 175 F
Auto Low Voltage Cutoff 8V
Auto Over Voltage Cutoff 16V



Smart Battery®
6011 Benjamin Rd. Tampa FL, 33634
WWW.SMARTBATTERY.COM 1-855-GO-LITHIUM



Fonte: SmartBattery, 2016

Anexo F – Inversor WEG CFW11



Fonte: WEG, 2016