

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

GUILHERME OLIVEIRA DE SOUZA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DA
UTILIZAÇÃO DE MÓDULO SOLARES FOTOVOLTAICOS EM
EMBARCAÇÕES: ESTUDO DE CASO EM UM BARCO DE 33 PÉS**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

GUILHERME OLIVEIRA DE SOUZA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DA
UTILIZAÇÃO DE MÓDULO SOLARES FOTOVOLTAICOS EM
EMBARCAÇÕES: ESTUDO PRELIMINAR DE CASO EM UM BARCO
DE 33 PÉS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo(a) em Sistemas de Energia.

Orientador:
Prof. Daniel Tenfen, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2023.

De Souza, Guilherme Oliveira
**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DA UTILIZAÇÃO
DE PLACAS SOLARES EM EMBARCAÇÕES:** estudo de caso em
um barco de 33 pés / Guilherme Oliveira De Souza;
orientação de Daniel Tenfen. - Florianópolis, SC,
2023.

61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. CST
em Sistemas de Energia. Departamento Acadêmico de
Eletrotécnica.

Inclui Referências.

1. Embarcações. 2. Fotovoltaica. 3. Viabilidade.
I. Tenfen, Daniel . II. Instituto Federal de Santa Catarina.
III. ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA
DA UTILIZAÇÃO DE PLACAS SOLARES EM EMBARCAÇÕES.

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DA UTILIZAÇÃO DE PLACAS SOLARES EM EMBARCAÇÕES: ESTUDO PRELIMINAR DE CASO EM UM BARCO DE 33 PÉS

GUILHERME OLIVEIRA DE SOUZA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnólogo(a) em Sistemas de Energia e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 18 de dezembro, 2023.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 DANIEL TENFEN
Data: 16/02/2024 15:53:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Daniel Tenfen, Dr. Eng.

Documento assinado digitalmente
 RICARDO LUIZ ALVES
Data: 16/02/2024 16:57:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ricardo Luiz Alves, Dr. Eng.

Documento assinado digitalmente
 EVERTHON TAGHORI SICA
Data: 16/02/2024 18:25:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.

Eu dedico este trabalho a todos que
participaram da minha jornada
acadêmica, professores e familiares.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho contou com a ajuda de diversas pessoas que gostaria de agradecer:

Ao meu orientador, que me acompanhou durante todo o desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso, dando todo o suporte necessário para a elaboração do projeto.

Aos professores que através dos seus ensinamentos, me proporcionaram conhecimento para realizar este trabalho de conclusão de curso.

A todos que participaram das pesquisas, pela colaboração no processo de obtenção de dados.

Aos meus familiares, que sempre me apoiaram e incentivaram finalizar minha formação acadêmica.

“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível”.

Max Weber

RESUMO

A utilização de sistemas fotovoltaicos em embarcações pode melhorar a saúde dos sistemas de armazenamento, diminuir o uso de combustíveis fósseis e os problemas de emissões que estes causam, como a qualidade do ar e sua contribuição para o efeito estufa. Com o crescimento do uso e a evolução da tecnologia de geração de energia solar fotovoltaica é possível ter noção o quanto é importante a utilização desse método de geração de energia, tanto para o meio ambiente quanto para o consumidor. O uso em embarcações ainda é pouco explorado, mas este pode ser uma fonte alternativa de energia para reduzir os gastos com combustíveis, ruídos e manutenção se todo projeto for bem dimensionado e executado. Quando o tema é tratado em território brasileiro os resultados podem ser ainda melhores por conta dos bons índices de irradiação em todo território nacional. Neste trabalho é proposto um estudo inicial sobre a instalação de módulos fotovoltaicos em embarcações, para auxiliar a geração de energia para o consumo de cargas essenciais e comuns, mais especificamente em uma embarcação de 33 pés, apresentada ao longo do estudo. Neste sentido, há uma busca pelo equilíbrio do número de baterias e o tamanho da geração fotovoltaica, pois afetam o peso do barco e o espaço é limitado. O resultado do trabalho é promissor e demonstra esta viabilidade teórica inicial, tanto técnica quanto financeira.

Palavras-chave: Embarcações. Fotovoltaica. Análise técnica e financeira.

ABSTRACT

The use of photovoltaic systems on vessels can improve the health of storage systems, reduce the use of fossil fuels and the emissions problems they cause, such as air quality and their contribution to the greenhouse effect. With the growth in the use and evolution of photovoltaic solar energy generation technology, you can understand how important the use of this method of energy generation is, both for the environment and for the consumer. The use on vessels is still little explored, but this can be an alternative source of energy to reduce fuel, noise and maintenance costs if the entire project is well designed and executed. When the topic is treated in Brazilian territory, the results can be even better due to the good irradiation rates throughout the national territory. This work proposes an initial study on the installation of photovoltaic modules on vessels, to help generate energy for the consumption of essential and common loads, more specifically on a 33-foot vessel, presented throughout the study. In this sense, there is a search for a balance between the number of batteries and the size of the photovoltaic generation, as they affect the weight of the boat and space is limited. The result of the work is promising and demonstrates this initial theoretical feasibility, both technical and financial.

Keywords: Vessels. Photovoltaic. Technical-financial analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Embarcações no pátio da marina.....	14
Figura 2 – Tensão do banco de baterias de um barco na marina	15
Figura 3 – Schaefer 770.....	18
Figura 4 – Circuito de 12/24 volts usando um equalizador em um único alternador instalação com um motor de partida 12 volts	19
Figura 5 – Características construtivas de baterias de chumbo ácido	21
Figura 6 – Vida útil em serviços cíclicos – modelos de 33 a 250 Ah.....	24
Figura 7 – Curva característica de descarga diferentes regimes a 25°C.....	24
Figura 8 – Fases de carga com carregador ideal.....	25
Figura 9 – Melhor horário para gerar energia solar.....	26
Figura 10 – Esquematização de sistema <i>on grid</i>	27
Figura 11 – Diagrama de blocos de um sistema isolado em série	28
Figura 12 – Diagrama de bloco de um sistema fotovoltaico isolado paralelo.....	28
Figura 13 – Diferença entre controle PWM e MPPT	31
Figura 14 – Gráfico comparativo entre onda senoidal modificada e pura	32
Figura 15 – Relé de carga.....	36
Figura 16 – Chave seletora Cais e Gerador.....	37
Figura 17 – Informações do motor	47
Figura 18 – Comportamento do banco de baterias com placas solares.....	48
Figura 19 – Comportamento do banco de baterias sem placa solar	49
Figura 20 – Gerador Panda 5000i.....	50
Figura 21 – Módulo fotovoltaico	53
Figura 22 – Controlador de carga tipo MPPT.....	53
Figura 23 – Suporte de fixação dos módulos solares.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cargas e tempo de uso estimado do barco.....	38
Tabela 2 – Consumo estimado do barco.....	38
Tabela 3 – Dimensionamento novo banco de bateria	39
Tabela 4 – Comportamento do sistema elétrico sem energia solar.....	43
Tabela 5 – Média de geração de energia nos períodos do dia.....	44
Tabela 6 – Comportamento das baterias com auxílio de placas solares	46
Tabela 7 - Comportamento das baterias com auxílio de placas solares e alternador	46
Tabela 8 – Comparação de carga do sistema.....	48
Tabela 9 – Casamento da utilidade do gerador com a necessidade das baterias	51
Tabela 10 – Orçamento kit fotovoltaico	52
Tabela 11 – Estimativo do consumo de combustível com sistema original	55
Tabela 12 – Estimativo do consumo de combustível com energia fotovoltaica.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Amperes

Ah – Ampere hora

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

C - Celsius

CA – Corrente contínua

CC – Corrente alternada

DAE – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia

mm - Milímetros

MPPT – *Maximum Power Point Tracking*

NiCd – Níquel Cádmio

PWM – *Pulse Width Modulation*

SLI – *Starting, light ingendigniton*

V – Volts

Wh – Watt hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Definição do Problema	12
1.2	Justificativa	13
1.3	Objetivo Geral	14
1.4	Objetivos Específicos	15
1.5	Estrutura do trabalho	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Embarcações	16
2.1.1	Barcos de Recreação	17
2.1.2	Sistema Elétrico	18
2.2	Baterias de Chumbo Ácido	19
2.2.1	Características	19
2.2.2	Comportamento das baterias	20
2.2.3	Utilização	21
2.3	Energia Solar Fotovoltaica	24
2.3.1	Sistema <i>on grid</i>	26
2.3.2	Sistema <i>off grid</i>	26
2.3.3	Equipamentos para sistemas fotovoltaicos <i>off grid</i>	28
2.3.3.1	<i>Placas solares</i>	29
2.3.3.2	<i>Banco de baterias</i>	29
2.3.3.3	<i>Controlador de Carga</i>	30
2.3.3.4	<i>Inversor</i>	31
2.3.4	Utilizações sistema solar fotovoltaico <i>off grid</i> em Embarcações	32
3	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO	33
3.1	Consumo de Energia	33
3.2	Conversão de Energia	34
3.2.1	Barcos sem gerador	34
3.2.2	Barcos com gerador	35
3.3	Dimensionamento	36
3.3.1	Dimensionamento do Banco de Baterias	39
3.3.2	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico	40
3.3.3	Dimensionamento do Controlador de Carga	41
3.4	Comportamento do sistema energético com e sem placas solares fotovoltaicas	41
3.4.1	Embarcação sem sistema fotovoltaico incluso	41
3.4.2	Embarcação com sistema fotovoltaico incluso	42
3.5	Comparação e Análise Financeira	46
3.6	Nova Hipótese	47
3.7	Modelo com gerador	49
3.8	Análise Financeira Simplificada	51
3.8.1	Orçamento kit instalação fotovoltaico	51
3.8.2	Consumo do motor	53
3.8.3	Payback Simples	53
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a implementação de fontes alternativas de geração de energia elétrica em embarcação não é regularmente adotada (OLIVEIRA, 2017). Pode-se observar um aumento significativo desta geração em outras aplicações tanto *on grid* como *off grid*, com o aumento de incentivos, eficiência, menores custos e o amadurecimento tecnológico. (SANTOS; SOUZA; DALFIOR, 2016)

Com relação ao consumo de energia elétrica em uma embarcação, exceto para a propulsão que usualmente é um motor de combustão interna, algumas embarcações são dependentes apenas de um sistema de alimentação de Corrente Contínua (CC) com um carregador de bateria que é dependente de uma tomada de cais. Este consumo de energia é destinado aos equipamentos eletrônicos, bombas, iluminação e inversores; outras contêm gerador em Corrente Alternada (CA) e acabam possuindo outros tipos de equipamentos: ar-condicionado, fogão, churrasqueira entre outros.

A viabilidade de um possível projeto fotovoltaico em uma embarcação é algo para abordar, principalmente no Brasil que, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), possui incidência de luz solar muito boa. Esta energia poderia ser muito bem aproveitada a fim de economizar em horas de uso do gerador ou manter a saúde do banco de baterias usualmente presente.

1.1 Definição do Problema

No cenário náutico brasileiro, observando o desenvolvimento elétrico de geração de energia de um iate, visto como “barcos luxuosos” por toda sua estrutura e a forma que atende diversas necessidades em alto mar, nota-se a ausência de novas fontes de geração de energia. Navarro (2015) descreve a geração de energia de uma embarcação, que conta com geradores a combustão e sistema de armazenamento com bateria de chumbo ácido entre outros a fim de energizar os quadros de distribuição tanto em CC quanto em CA.

Portanto, este trabalho questiona se a utilização apenas de geradores a combustão e baterias usuais que sem um projeto de inovação, causam problemas ambientais que poderiam ser evitados e, se são viáveis do ponto de vista tecnológico e financeiro para utilização direta em embarcações.

1.2 Justificativa

No sul do país, principalmente no inverno e para embarcações com a finalidade principal de recreação, é comum que as baterias destas embarcações se descarreguem totalmente. A Figura 1 apresenta uma cena comum em barcos de recreação em uma marina, que ficam sem receber a devida atenção por períodos prolongados, sendo uma das consequências o descarregamento das baterias. Este descarregamento afeta diretamente a vida útil do banco de bateria que, por vezes, devem ser substituídas muito antes das especificações de vida útil do fabricante.

Figura 1 – Embarcações no pátio da marina



Fonte: Autoria própria (2022)

O ideal é que as baterias estejam sempre em carga especificada pelo fabricante, caso contrário se inicia um processo de sulfatação permanente das placas que resulta na diminuição irreversível da capacidade de carga. A utilização intermitente apenas do alternador do motor não é o suficiente para garantir a carga plena das baterias, tendo então a necessidade da utilização de carregadores inteligentes. (ALLFLAGS, 2018)

A Figura 2 apresenta um banco de baterias em que sua tensão está em 3,4 Volts, situação essa muito normal em períodos que a embarcação não está em atividade.

Figura 2 – Tensão do banco de baterias de um barco na marina



Fonte: Autoria própria (2022)

Além da manutenção das baterias, tanto em uso quanto na marina, a geração fotovoltaica também poderia contribuir para a diminuição do consumo de combustível. Assim, estudar a viabilidade da instalação de sistemas solares fotovoltaicos em embarcações, analisar os métodos e benefícios tanto para o proprietário quanto ao meio ambiente, não se atendo apenas na manutenção das baterias, justifica este trabalho.

1.3 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a viabilidade de projetos fotovoltaicos em embarcações, propondo maior autonomia elétrica e amenizar os problemas econômicos e ambientais associados à baixa vida útil do banco de baterias, emissão de gases e ruídos do gerador.

1.4 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral proposto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) pesquisar sistemas fotovoltaicos e embarcações;
- b) analisar as características e sobre vida útil das baterias em embarcações; e
- c) analisar e comparar os resultados destacando os desafios, pontos positivos e negativos.

1.5 Estrutura do trabalho

O Capítulo 1 apresenta a introdução, os objetivos, a justificativa e a definição do problema do trabalho. A fundamentação teórica é apresentada no Capítulo 2 e discorre sobre as embarcações, os sistemas fotovoltaicos e os sistemas de armazenamento em embarcações, mais especificamente sobre as baterias. Já, o Capítulo 3 apresenta a metodologia de dimensionamento e o estudo de caso e, por fim, o Capítulo 4 apresenta os comentários finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentadas as diversas mudanças energéticas e da construção social do uso de eletricidade que viemos passando ao longo dos anos. Historicamente com a revolução industrial tivemos avanços tecnológicos, mas trouxe problemas ambientais. Desde então tem-se realizados estudos para retornar com a energia limpa e mantendo os avanços tecnológicos, visando a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável.

Na busca de energia limpa, o mercado atual incentiva inovações de projetos elétricos relacionado a energia renovável, esse capítulo tem como proposta mostrar um pouco da evolução dos barcos com o passar dos anos, justificar o porquê da exploração da luz solar destacando a incidência do sol no Brasil e detalhar um sistema fotovoltaico *off grid* (componentes e funcionamento) para analisar em que pontos o mesmo pode agregar no sistema elétrico de um barco.

2.1 Embarcações

Historicamente, as embarcações sofriam com a falta de tecnologia, uma das primeiras formas de navegação surgiu com a utilização de grandes velas usando o vento como combustível (energia limpa), como meio de transporte devido a necessidade de escoamento da produção de bens e serviços em alta escala que já não estava dando conta de transportar apenas por meio terrestre. (SALES, 2001)

Com a revolução industrial rapidamente as máquinas a vapor são projetadas nas embarcações, porém não muito eficiente, pois exigia uma sala de máquinas muito grande, o custo era muito alto e a velocidade em relação aos veleiros era a mesma, então os veleiros seguiram dominando por muito tempo. Em determinado período as embarcações se tornaram híbridas contendo as duas formas de locomoção: a vapor e a vela. Em seguida surgiram os motores a combustão que são utilizados até nos dias de hoje, com rendimento muito melhor e ocupação de espaço menor. (OLIVEIRA; SUEMITSU, 2017)

2.1.1 Barcos de Recreação

Hoje em dia os barcos são muito mais que apenas objetos de trabalho, seja ele para transporte de carga ou de pessoas ou até mesmo para pesca. Pode-se observar um grande número de iates “barcos de luxo” no litoral de todo o Brasil, conforme Figura 3; esses barcos variam de pequeno, médio e grande porte com um projeto arquitetônico e tecnologia avançada, possuindo muitas vezes um sistema de ar condicionado, todos os eletrodomésticos (geladeira, fogão, forno etc.), sistema de som, eletrônicos, sistema de automação, sistema de segurança enfim tudo para um maior conforto do proprietário e passageiros. (SILVEIRA, 2010)

Figura 3 – Schaefer 770



Fonte: Kodja (2020)

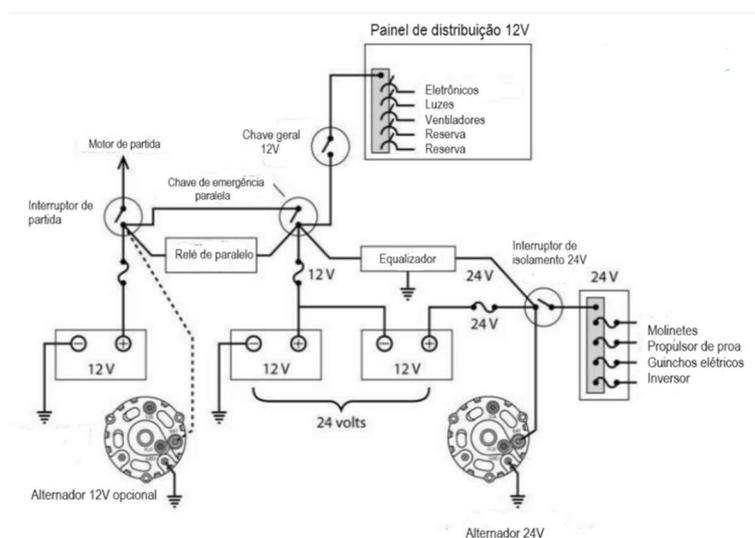
Por disponibilizar tantos recursos e por ter equipamentos desenvolvidos especialmente para indústria náutica de alta tecnologia e eficiência desde a utilização de nanotecnologia na fibra com diferentes métodos de infusão, até equipamentos de navegação de última geração, o valor costuma ser elevado variando pelo tamanho, e modelos de equipamentos instalados. (SILVEIRA, 2010)

2.1.2 Sistema Elétrico

Barcos necessitam de um projeto elétrico robusto, com equipamentos instalados com grande cuidado para evitar uma série de problemas, principalmente pelo ambiente de atuação dos barcos. Não há um padrão único na questão elétrica dos barcos, pois estes contam com inúmeros projetos e, cada um, com a sua particularidade e necessidade. Alguns possuem sistemas de alimentação apenas com baterias e alternadores dos motores principais, outros, com alternadores auxiliares, contudo, há também embarcações com um ou mais geradores a diesel com carregadores, geração de energia solar fotovoltaica entre outros. (CALDER, 2015.)

Conforme **Figura 4**, um exemplo de projeto que podemos ter em embarcações, possui um alternador 24 volts (V), que tem como função carregar um banco de baterias (ligado em série) com a mesma tensão. Para carregar outro banco de bateria 12 V o sistema conta com um equalizador com função de equilibrar as tensões e um relé de paralelismo, então o alternador 24 V consegue carregar o banco de 12 V; no mesmo sistema há também um alternador auxiliar 12 V descrito como opcional. (CALDER, 2015.)

Figura 4 – Circuito de 12/24 volts usando um equalizador em um único alternador instalação com um motor de partida 12 volts



Fonte: Calder (2015)

2.2 Baterias de Chumbo Ácido

As baterias são um conjunto de células interligadas em série ou paralelo no seu meio de construção para que se atinjam características (tensão e corrente) necessárias para tal instalação. Baterias têm como função armazenar energia e conservá-la para restituí-la posteriormente de forma controlada. (SAAD, 2012).

2.2.1 Características

Baterias recarregáveis (secundária) existem três classificações: bateria *Starting, lighting and ignition (SLI)*, bateria de tração e bateria estacionária. Baterias SLI são mais utilizadas no meio automotivo, pois é desenvolvido para operarem em ciclos de curta duração, o motor exige uma determinada carga da bateria para o próprio acionamento e fornecimento da demanda energética do carro, inclusive para energia que foi drenada da bateria na partida, é o alternador. Já, bateria de tração tem características totalmente oposta, desenvolvidas para permitir descargas profundas e ciclos longos, é recomendada para veículos elétricos e sistema de geração fotovoltaico autônomo; e estacionária permite descargas mais profundas em ciclos menores sendo projetada para ocasionais descargas. (SAAD, 2012).

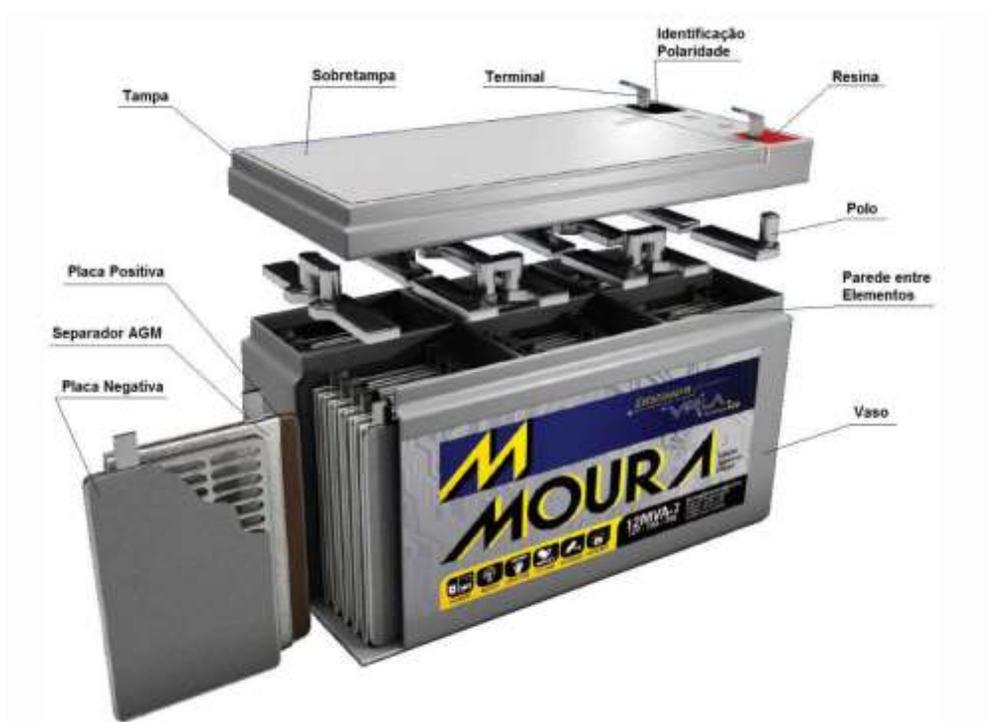
Ainda considerando as três classificações temos as baterias inundadas e as seladas. As inundadas necessitam de manutenção e contam com abertura para verificar o nível e concentração de eletrólito e reposição de água. Já, as seladas dispensam manutenção e reposição de água, por isso para manter sua vida e durabilidade devem ter cuidados especiais como temperatura, sobrecarga e descargas profundas. (SAAD, 2012).

As condições de armazenamento e instalação das baterias é de extrema importância para seu tempo de vida útil, as mesmas são projetadas para operarem em condições de baixa sobretensão caso contrário pode ocorrer formação excessiva de gases durante a carga, eventuais, sobrecargas podem debilitar o sistema de combinações de gases e acentuar a depleção de água. (PEGORETTI, 2020).

As baterias têm diferentes tecnologias, isso impacta também na retenção de carga. Enquanto que as baterias *Nickel Cadmium* (NiCd) descarregam 40% da energia armazenada em um período de três meses, as baterias Valve Regulated Lead

Acid (VRLA) descarregam a mesma porcentagem em um ano. Baterias descarregadas causam sulfatação irreversível das placas tornando difícil ou até impossível a recarga da mesma. (PEGORETTI, 2020). Na Figura 5 é apresentada a construção de uma bateria de chumbo ácido com seus elementos construtivos.

Figura 5 – Características construtivas de baterias de chumbo ácido



Fonte: Pegoretti (2020)

O processo de sulfatação das placas é causado após a descarga da bateria onde se cria sulfato nas áreas internas das placas caso a bateria não seja carregada ou tenha cargas incompletas, o sulfato junto a placa entra em processo de cristalização irreversível perdendo material ativo. (CALDER, 2005).

2.2.2 Comportamento das baterias

Segundo Chagas (2007), são definidas quatro tensões importantes de operação nas baterias de chumbo ácido:

- Tensão nominal é definido pelo sistema eletroquímico utilizado vezes o número de unidades elementares interligados em série que no caso de baterias de chumbo ácido é 2 V;

- Tensão de flutuação é a tensão que é aplicada na bateria para evitar auto descarga, circula uma corrente de flutuação que compensa as perdas devido às reações de auto descarga. A uma temperatura ambiente de 25°C, as baterias de chumbo ácido possuem uma tensão de flutuação de 2,20 V a 2,25 V por elemento. Exemplo de uma Bateria 12 V teria 6 elementos ligados em série com uma tensão de flutuação de mais ou menos 13,4 V;

- Tensão de equalização é atenção aplicada a um conjunto de baterias interligadas em série paralelo com tensões individuais que se diferem acentuadamente. Muitas vezes essas baterias não têm essa sintonia e estão desequalizadas trazendo problemas ao banco de baterias; e

- Tensão de descarga é a menor tensão permitida durante uma descarga, no caso de baterias de chumbo ácido, a tensão deve chegar ao máximo até 1,75 V por elemento, abaixo disso já corre o risco de danificar o elemento devido a sulfatação das placas ou a inversão de polaridades das mesmas. A tensão de descarga pode ser alcançada ainda mais rápido quando a bateria possui resistência interna elevada, dificultando a passagem de corrente quando exigida. Exemplo de uma bateria 12 V na teoria ela não pode baixar de 10,5 V a partir disso já pode trazer sérios problemas.

Baterias são acumuladores de energia recarregáveis por fontes externas, a corrente de carga e descarga de uma bateria é medida em ampere (A), elas são capazes de fornecer energia na velocidade necessária pela demanda sem perdas, porém sabemos que ser capaz de armazenar grande quantidade de energia não significa liberar grande quantidade de energia. (CHAGAS, 2007).

“Uma capacidade definida num regime de descarga um C é aquela que se obtém ao aplicar uma corrente de descarga em valor igual à capacidade declarada”. Por exemplo, uma bateria com capacidade nominal em regime de descarga de 1 hora, declarada na sua etiqueta de identificação igual a um Ah, deverá suportar uma descarga com corrente de um A durante 1 hora. (CHAGAS, 2007, p.21).

2.2.3 Utilização

O cálculo para descobrir a carga em ampere que uma determinada bateria suporta sem que atinja a sua tensão final de descarga é o produto da taxa da capacidade declarada (5,10 e 20 horas com taxas respectivas de 0,2; 0,1; 0,05) por Ah da bateria. (CHAGAS, 2007).

Por exemplo: uma bateria automotiva de 55 ampere hora (Ah) com regime declarado de 20 horas.

Carga suportada = $0,05 \times 55 \text{ Ah}$

Carga suportada = 2,75 A no período de 20 horas

O tempo de vida útil das baterias está totalmente ligada às atividades de descarga dos ciclos, esse processo leva a deterioração precoce do material (formação de estruturas cristalinas de sulfato de chumbo cujo processo de formação é irreversível), reduzindo a expectativa de vida da bateria, é de enorme importância salientar que os limites impostos pelo fabricante no produto tem que ser respeitado para evitarmos o encurtamento da sua vida útil. (PEGORETTI, 2020.)

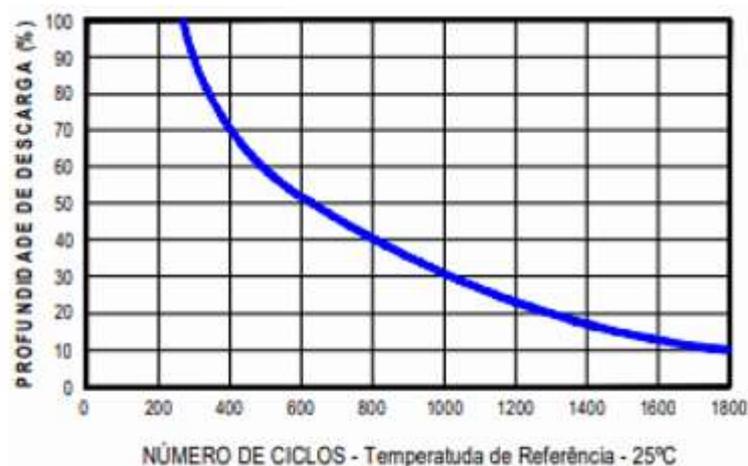
Durante o processo de descarga de uma bateria o ácido contido na solução (absorvida) é consumido pelas placas e quanto mais profunda for a descarga mais ácido será consumido, onde temos como resultado da reação química de descarga a transformação da solução em água. A partir desse momento a bateria atinge seu maior índice de concentração de sulfato de chumbo, aumentando consideravelmente a resistência interna. (PEGORETTI, 2020, p.12).

Considera-se em porcentagem a profundidade de descarga retirada da bateria, sendo 0% quando a bateria ainda se encontra com total carga e 100% quando a bateria chega ao seu limite de potencial de descarga especificado que no caso é de 1,75 V por elemento ou 10,5 V em uma bateria 12 V.

Bateria de chumbo ácido possui mais de 1000 ciclos sendo utilizada corretamente com descargas de no máximo 30%, os ciclos caem pela metade quando temos descargas de 50% e com descarga total a durabilidade é de 150 a 200 ciclos. (CHAGAS, 2007).

Os ciclos de descarga podem ser ainda mais baixos dependendo da temperatura, as baterias de chumbo ácido são fortemente afetadas quando são expostas a altas temperaturas podendo dobrar a taxa a cada 10° Celsius (C) de elevação referente a temperatura especificada como ideal. A Figura 6 apresenta este comportamento em gráfico. A tecnologia de chumbo ácido é a que sofre menos com a alta descarga, sendo os índices inferiores a 5%.

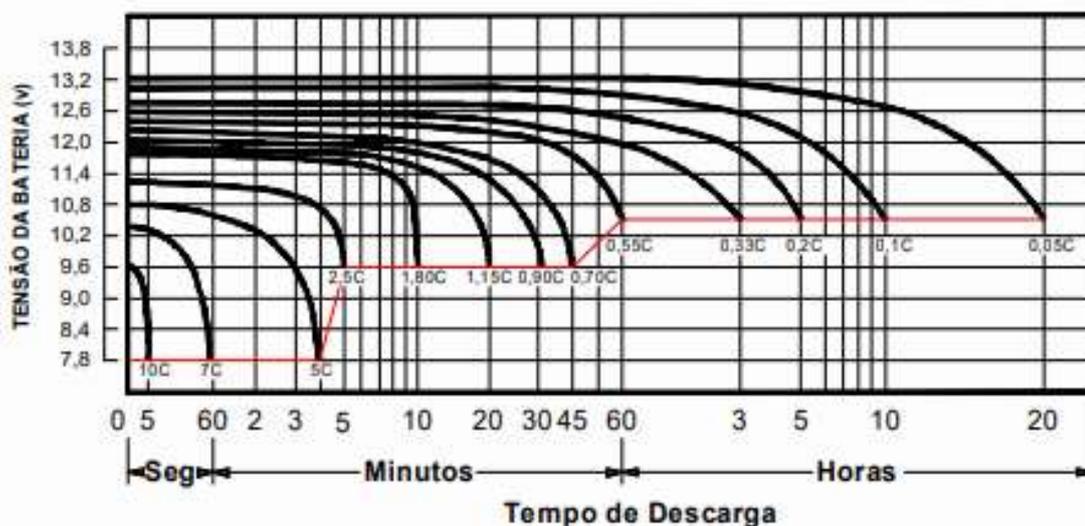
Figura 6 – Vida útil em serviços cíclicos – modelos de 33 a 250 Ah



Fonte: Pegoretti (2020)

A Figura 7 abaixo mostra características típicas de descarga das baterias moura estacionária, em condições de tensão e temperatura com regime de média intensidade de descarga. Devido à resistência interna a tensão de descarga tende a diminuir enquanto que a corrente de descarga tende a aumentar, a baixo é apresentada a menor tensão final permitida. (PEGORETTI, 2020.)

Figura 7 – Curva característica de descarga diferentes regimes a 25°C



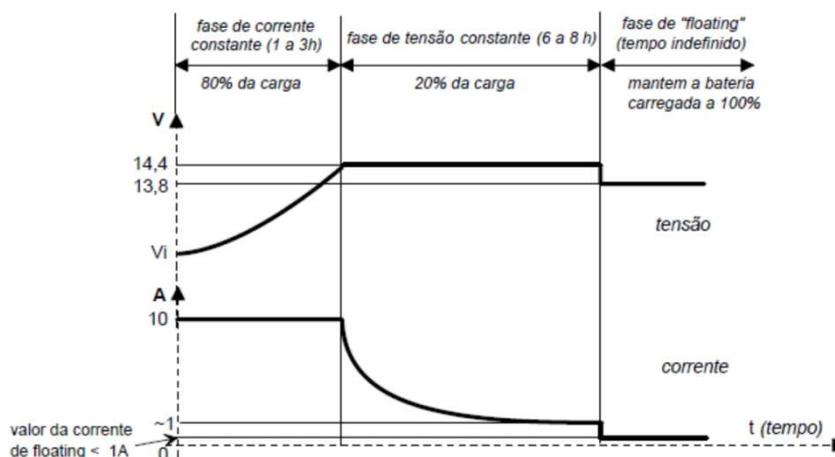
Fonte: Pegoretti (2020)

Segundo Calder (2016), as baterias têm maior facilidade de carregamento até cerca de 70% e 80% do seu estado de carga total, após isso a dificuldade é maior pois o ácido e a água exigirão tempo para se difundir então a taxa de aceitação de carga reduz drasticamente, caso não ocorra a diminuição de carga injetada na bateria

a mesma apresenta danos. Com isso buscou-se um ponto de equilíbrio com descargas de 50% e recargas com a utilização de alternadores de até 80%, os outros 20% exigem um tempo maior, considerando os custos de funcionamento e manutenção do motor não compensados.

Segundo Saad (2012) a bateria de chumbo ácido possui três fases de carregamento; a primeira fase de carregamento tem como característica uma corrente constante aceita pela bateria que não force a geração de gás e a perda de eletrólito, este processo em uma bateria descarregada dura entre uma e duas horas correspondendo a 80% de carga da bateria. A segunda fase vem após um determinado aumento de tensão onde o gás começa a ser liberado fazendo com que a corrente diminua e a tensão se estabilize, esta fase dura entre seis e oito horas e corresponde a 20% da carga. A terceira fase de carga da bateria é onde ocorre a queda da tensão para tensão de flutuação compensando as perdas químicas internas da bateria. A Figura 8 a baixo ilustra claramente as três etapas de carga de uma bateria.

Figura 8 – Fases de carga com carregador ideal



Fonte: Saad (2012)

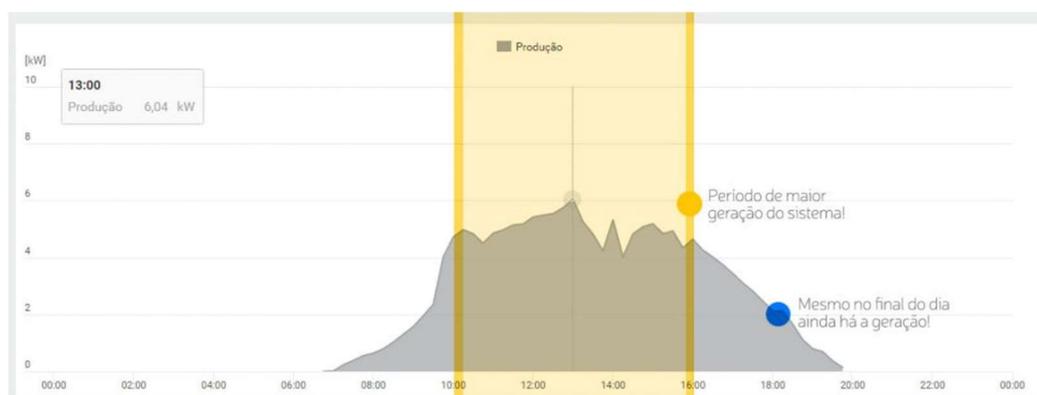
2.3 Energia Solar Fotovoltaica

O nível de irradiação no Brasil é o maior do mundo, pelo fato de estar próximo a linha do equador o país recebe alta incidência de sol durante todo o dia, porém o Brasil não é o país referência em energias provenientes do sol, nosso país não tem nem a metade da potência instalada que tem a Coreia do Sul que é a décima

do ranking. A referência mundial nesse quesito é a Alemanha, a número 1 no ranking conta com 40% a menos de irradiação solar que o Brasil. (ATLAS, 2017)

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (2019) o Brasil teve um avanço significativo no setor de energia fotovoltaica, com uma adição de 2,1 GW em 2019 tendo um aumento de 12% com relação ao ano anterior, contando com as usinas solares de grande porte, sistemas de pequeno e médio porte o Brasil atinge a potência acumulada de 4,5 GW. Além de produzir energia limpa e inesgotável, os módulos solares fotovoltaicos têm durabilidade entre 30 e 60 anos e alto índice de reciclabilidade, cerca de 96% de sua estrutura pode ser recicláveis e quem opta em utilizar esse tipo de tecnologia, no período de um ano, deixa de emitir com a produção de 130 kg de dióxido de CO₂. Para se ter noção, uma árvore levaria entre 15 e 20 anos para consumir um montante equivalente de CO₂. (MARCHI, 2020).

Figura 9 – Melhor horário para gerar energia solar



Fonte: Solar valle

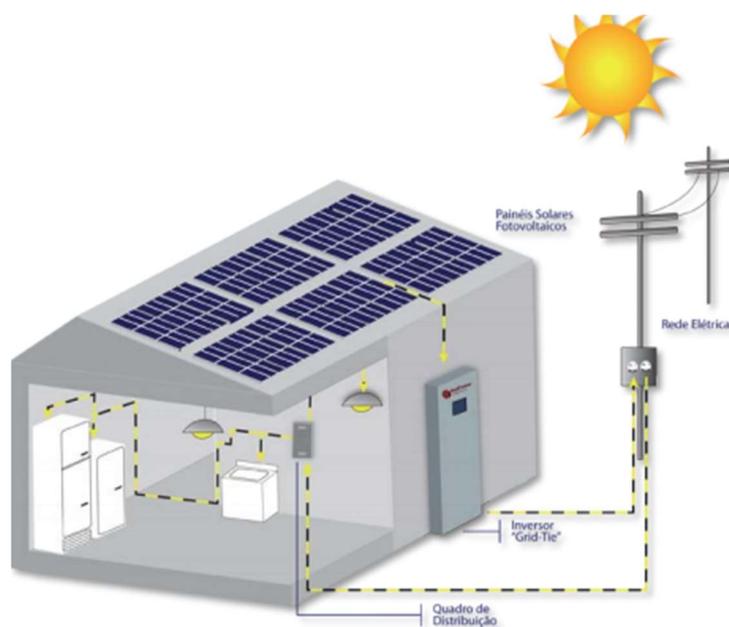
Segundo Marchi (2020) uma pesquisa da ABSOLAR, em parceria com o SEBRAE, revelou que 96% dos empreendimentos tiveram resultados positivos depois da implementação do sistema fotovoltaico; e 60% demonstraram interesse em investir novamente em energia renovável nos próximos dois anos. Segundo a Solar Valle o período de maior produção de energia em um dia é entre 10 horas da manhã e 16 horas da tarde como mostrado na Figura 9.

2.3.1 Sistema *on grid*

Sistemas *on grid* utilizam da rede para fazer a compensação de energia captada pelo sol, caso o sistema estiver gerando mais energia do que está sendo

consumido, esta energia se transforma em créditos na concessionária, portanto o usuário só pagará à concessionária o consumo de energia (desconsiderando taxas) quando a sua geração for menor do que seu consumo. Nesse modelo, a rede funciona como se fosse seu banco de bateria, porém não é necessário controlador de carga e sim um medidor bidirecional. (BORTOLOTO *et al.*, 2017)

Figura 10 – Esquemática de sistema *on grid*



Fonte: Lomeu (2015)

2.3.2 Sistema *off grid*

O sistema *off grid* é composto por módulos solares fotovoltaicos que transformam a luz solar em corrente elétrica que através de cabearios seguem até o controlador de carga, o mesmo faz o gerenciamento da carga injetada nas baterias, estas baterias alimentam um inversor que transforma a corrente contínua em corrente alternada, podendo então fazer a ligação de aparelhos domésticos como por exemplo: geladeira, microondas, televisão entre outros. (BORTOLOTO *et al.*, 2017)

O sistema pode ser interligado em série ou paralelo, a desvantagem de um sistema fotovoltaico *off-grid* em série (Figura 11) é a passagem de toda energia gerada e consumida do sistema pelo banco de baterias, pelo fato de ocorrer pelo menos três formas de conversão no circuito com perdas, o banco de baterias é prejudicado tendo

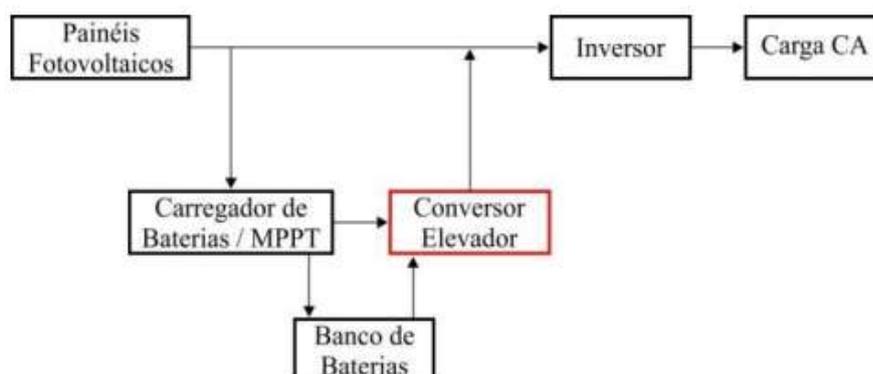
como impacto a redução da vida das baterias e aumento de custo de manutenção. O sistema interligado em paralelo (Figura 12) reduz o número de estágios, cargas e descargas desnecessárias aumentando a eficiência global do sistema. Outra vantagem é no dimensionamento do sistema, na configuração paralela a potência processada pelo controlador para bateria é diferente da potência processada do controlador para o inversor, a frequência de operação é dimensionada de acordo com a potência processada, diferente da ligação série que é dimensionada de acordo com a potência nominal. A configuração paralela permite que as baterias sejam exigidas apenas quando a geração fotovoltaica instantânea for menor que o consumo instantâneo, com isso a bateria serve como um acumulador para momentos em que o consumo é maior que a geração e momentos que não a irradiação solar. (REITER, Renê; REITER, Renan; PERES, 2015, p.2).

Figura 11 – Diagrama de blocos de um sistema isolado em série



Fonte: Reiter, (2015)

Figura 12 – Diagrama de bloco de um sistema fotovoltaico isolado paralelo



Fonte: Reiter, (2015)

Os projetos fotovoltaicos *off grid* são muito utilizados em *motorhome*, áreas rurais, fazendas e regiões que não são supridas pela rede elétrica, é o mais interessante no cenário náutico para auxiliar na geração de energia em alto mar e em momentos que o barco não é muito utilizado fazendo com que as baterias tenham

mais um meio de carregamento e não sofram com descargas profundas devido ao tempo de inatividade.

Propulsão a combustão por combustíveis fósseis são os principais causadores de poluição devido a emissão de gases como: monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis são alguns agravantes do meio ambiente.

Com isso nos Estados Unidos soluções elétricas e híbridas são realidade no meio de transporte, porém devido ao peso dos caminhões e ônibus, a necessidade da complementação do sistema de bateria com o sistema fotovoltaico é uma opção. A instalação de painéis solares nesse meio de transporte pode ser feita tanto na parte de cima quanto nas laterais, porém estudos apontam que na parte de cima possuindo a metade de placas em comparação com as laterais a energia gerada é 5% maior, isso acontece devido a exposição dos módulos fotovoltaicos a radiação direta. Portanto, a utilização de módulos nas laterais tem um tempo de retorno mais longo. (MALLON; ASSADIANE; FU, 2017)

Segundo Paulson e Chacko (2019), em 2050 a quantidade de emissões de gases de efeito estufa aumentará (referente a 2019) 17%, decorrente ao uso de motores a diesel que são utilizados para alimentar muitos navios, que liberam grandes quantidades de gases de exaustão, por esse motivo é estudado a necessidade de energia renovável no transporte marítimo. Devido a contribuição ao efeito estufa, a organização internacional marítima inseriu alguns padrões e regulamentos para aumentar a qualidade ambiental do transporte marítimo mundial, assim a indústria naval foi forçada a encontrar novas soluções para redução de emissões.

2.3.3 Equipamentos para sistemas fotovoltaicos *off grid*

Para obter um sistema de energia solar em um barco é necessário a presença dos equipamentos listados nesta seção.

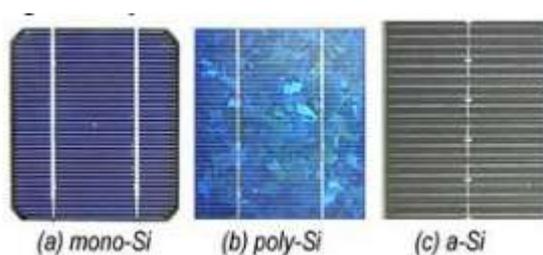
2.3.3.1 Módulos solares fotovoltaicos

Os módulos são responsáveis pela captação da radiação solar e conversão em energia elétrica, são denominadas como célula, módulo e painel; constituídos de

materiais semicondutores como o silício, as células produzem 1,5 Watts-pico (Wp). Para adquirir potência maiores as células são ligadas em série e em paralelo para obter módulos que geram entre 50 e 100 Wp. (CASTRO, 2002)

Segundo Ribeiro (2020 *apud* LOUREIRO, 2020) existem diversas tecnologias sendo as três principais: monocristalina, policristalina e filme fino. Os painéis monocristalinos contam com eficiência entre 16% e 23%, são os melhores entre os três, porém o preço é mais elevado. Painéis policristalinos devido ao método de produção têm algumas imperfeições na estrutura do cristal, reduzindo assim sua eficiência e preço. A tecnologia de filme fino tem em torno de 35% menos eficiência em relação aos outros, porém a importância aqui é em projetos que a leveza, portabilidade e o custo são mais importantes do que a própria energia.

Figura – Tipos de células fotovoltaicas comerciais



Fonte: Ribeiro (2020)

2.3.3.2 Banco de baterias

Transforma a energia elétrica em química ao ser carregada em períodos de geração do sistema como forma de armazenamento, para quando necessário em períodos de descarga, (normalmente períodos noturnos onde não há radiação solar) e, transforma a energia química em energia elétrica novamente, ao ser descarregada. (CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2007)

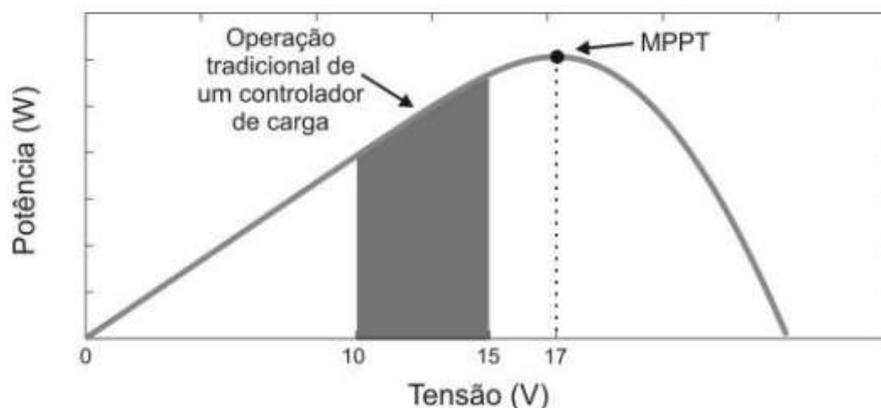
2.3.3.3 Controlador de Carga

Gerencia a energia elétrica utilizada pelos aparelhos elétricos e tem como principal função monitorar as baterias para evitar a sobrecarga e o excesso de descarga tornando o sistema eficiente e seguro. (OLIVEIRA; SUEMITSU, 2017)

A tecnologia PWM (*Pulse Width Modulation*) surgiu para substituir o sistema de *on-off* nos anos de 1970, a fim de melhorar os meios de geração fotovoltaica tendo possibilidade de recuperar a capacidade, aumentar a recuperação de carga da bateria, manter a auto capacidade da bateria (90% a 95%) em comparação com os níveis regulados *on-off* que normalmente são de 55% a 60%, reduzir o aquecimento da bateria e gaseificação. A tecnologia PWM conta com a função de reduzir os níveis de corrente quando a bateria chega perto de sua carga máxima, e diferente do sistema *on-off* ele continua mandando o máximo de energia necessário a bateria. (REITER; REITER; PERES, 2015, p.4).

Controladores do tipo MPPT (*maximum power point tracking*) com tecnologia atual, fazem o rastreamento do ponto máximo de potência em um painel de energia fotovoltaica. Para carregar a bateria, a tensão dos módulos fotovoltaicos tem que estar acima da tensão da bateria, caso ao contrário a corrente tende a zero, por isso os módulos são fabricados para fornecer em uma temperatura de 25°C, 17 V, com isso no verão onde a temperatura tende a ser mais alta a tensão deve cair para perto dos 15 V. (REITER; REITER; PERES, 2015, p.4).

Figura 13 – Diferença entre controle PWM e MPPT



Fonte: Reiter (2015)

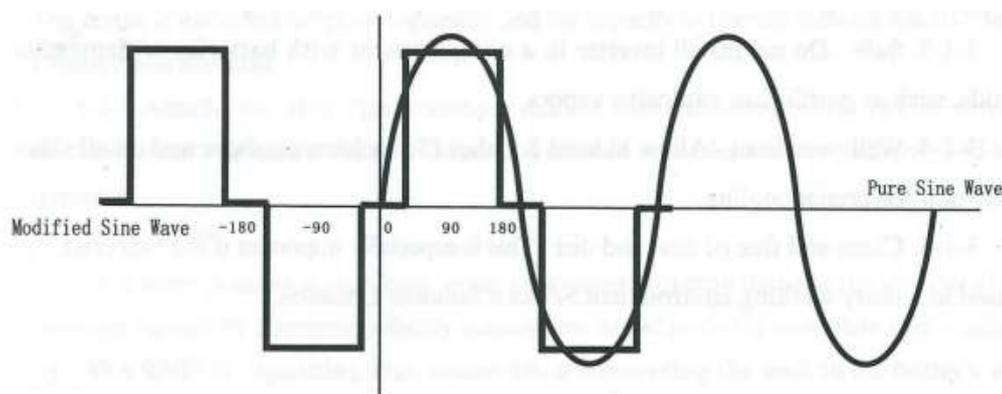
De acordo com Reiter, Reiter e Peres (2015, p.4) a escolha entre um controlador PWM ou um MPPT, depende do arranjo, condições meteorológicas e cargas elétricas conectadas, o MPPT tende a custar duas vezes mais que um PWM, porém possui uma tecnologia mais avançada e eficiência de 30% maior.

2.3.3.4 Inversor

Equipamento responsável por converter a energia solar (irradiação) transformando a energia fotovoltaica gerada em corrente contínua pelos módulos em corrente alternada. Para equipamentos que trabalham em corrente contínua não há necessidade deste dispositivo. (SOUZA, 2016)

Normalmente os inversores em um sistema fotovoltaico *off-grid* recebem uma tensão entre 12 V e 48 V em corrente contínua na entrada e são convertidos para alimentar equipamentos que funcionam em 120 V ou 240 V em corrente alternada. (BERTO, 2018)

Figura 14 – Gráfico comparativo entre onda senoidal modificada e pura



Fonte: Hotsat (2019)

Os inversores mais comuns são os de onda senoidal pura e de onda senoidal modificada (retangular), os dois têm as mesmas funções, porém o de onda modificada não atende todos os aparelhos que o de onda senoidal pura atende. O tipo de onda senoidal pura tem característica quase que igual à da rede elétrica convencional. Impressoras a laser, motores de velocidade variável e relógios digitais são alguns dos aparelhos que sofrem com a onda senoidal modificada. Porém, ao fornecer energia para celulares, notebook e televisores, o inversor de onda modificada é possivelmente adequado. O ideal é saber quais cargas vão ser conectadas no inversor antes de adquirir, pois o preço tem bastante diferença. Um inversor de onda senoidal pura chega a custar três vezes mais que o de onda senoidal modificada.

Algumas observações são importantes para a escolha e instalação correta desses equipamentos: saber quais equipamentos vão ser alimentados pelo inversor para constatar a necessidade de um investimento maior; procurar saber sobre o range

de tensão do inversor sendo o ideal entre 10,8 V e 16 V; e definir o local de instalação do inversor adequado, tem que ser ventilado e arejado com temperatura entre 0°C e 40°C (ideal entre 15°C e 25°C) afastado de compartimentos que contêm líquidos e gases inflamáveis.

2.3.4 Utilizações sistema solar fotovoltaico *off grid* em Embarcações

O avanço na área de sistemas fotovoltaicos terrestres contribui para o desenvolvimento desta energia renovável para navios, porém esta modalidade de energia em embarcações tem seus desafios: o local de instalação dos módulos, pois com a movimentação e mudança de direção influencia na radiação solar; os fenômenos naturais e suas intempéries que aumentam o risco de danificar os aparelhos devido às tempestades em alto mar. (PAULSON; CHACKO, 2019)

O posicionamento dos módulos solares fotovoltaicos devem ser estudados e analisados para que não haja interferência na área destinada a atividades recreativas e que não afete a parte estética da embarcação. O dimensionamento da demanda de energia de um barco para um sistema elétrico fotovoltaico é um fator importante para evitar problemas em alto mar, tais como falta de luzes de navegação, comprometimento do funcionamento da geladeira são alguns dos problemas que podem dificultar ou encerrar um passeio de barco. (CARRIJO, 2018)

Segundo Carrijo (2018), o uso das embarcações geralmente é diário acompanhada da luz do sol, porém mesmo em dias nublados ou chuvosos no qual a radiação solar é menor a embarcação pode contar com o abastecimento da concessionária de distribuição de energia elétrica no período noturno, assim o risco de uma embarcação ficar sem energia se restringe a falha do sistema de armazenamento ou distribuição de energia.

3 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO

O método de pesquisa utilizado é o exploratório, no qual foram utilizadas fontes bibliográficas como sites, manuais, artigos, monografias, revistas e livros. A abordagem utilizada é de forma qualitativa, que busca compreender e interpretar determinados comportamentos de projetos fotovoltaicos em diferentes áreas, bem como o uso energético em embarcações e quantitativa para o dimensionamento.

Deste modo, este trabalho considera um modelo de barco específico, com o auxílio de pessoas que trabalham diretamente (marinharia e engenharia) e indiretamente (fornecedores) com barco. Foram obtidos dados referentes ao sistema elétrico energético e informações que ajudam a entender a demanda de energia elétrica no período de 24 horas. Dados referentes ao sistema fotovoltaico também foram estimados. Dessa forma, são realizados estudos relacionados ao funcionamento do sistema elétrico de um barco com e sem o auxílio de um gerador a combustão. O estudo de caso foi escolhido para um barco de 33 pés, no qual no seu processo de fabricação o cliente pode optar ou não se quer um gerador a combustão.

Através da coleta de dados e informações de pessoas do ramo náutico e solar são realizados cálculos e, através de tabelas e gráficos, ilustra-se resultados para tentar criar um cenário ideal e atrativo aos proprietários de embarcação. O sistema elétrico de uma embarcação ou de um sistema *off grid* é específico pois, “cada barco deve ser tratado como uma entidade única com os requisitos peculiares de seu sistema elétrico avaliados em relação ao seu uso.” (CALDER, 2016, p.105).

3.1 Consumo de Energia

O barco em estudo conta com equipamentos de segurança, navegação e de consumo elétrico variados. Geladeira, vaso elétrico, som, radio VHF, buzina, display GPS, sonar, exaustores, lâmpadas de cortesia, lâmpadas no teto, luz de top, luz de navegação, ventiladores, atuador de abertura do capô, atuador regulador de mesa, rede de eletrônicos, sistema de combate a incêndio, bombas de porão, bomba de água doce, bomba águas negras, limpador de pára brisas, tomada 12 V, guincho de proa e dois motores Mercury – V8 Verado 300 HP, são os equipamentos mais comuns que consomem energia elétrica na embarcação estudada.

Com a adição de um gerador de energia alternada a lista de equipamento se torna ainda maior. O barco é equipado com fogão de indução, micro-ondas, churrasqueira elétrica, carregadores de bateria, televisão e ar-condicionado.

3.2 Conversão de Energia

O barco tem como sua principal fonte de energia os alternadores ligados aos motores à combustão e as baterias de chumbo ácido, que dependem de tecnologias de controladores de carga para manter seus níveis de carga ideais para o funcionamento correto do sistema elétrico. Alguns contam com gerador independente opcional, que fornece corrente alternada para alimentar outros equipamentos.

3.2.1 Barcos sem gerador

O barco fornece energia aos equipamentos DC através de baterias que têm como fonte dois alternadores de 1449 W/115 A, com carga ociosa, e um carregador dependente da rede elétrica (funciona pela tomada de cais). O sistema é formado por cinco baterias sendo distribuídas da seguinte forma: uma bateria para o motor boreste, uma bateria para o motor bombordo duas baterias ligadas em paralelo para o consumo e uma bateria para o guincho. As baterias de consumo e guincho são de 105 A, já as de motor são de 150 A cada uma.

O funcionamento do banco de bateria motor bombordo e guincho é o seguinte: após ligar a chave geral denominada motor bombordo o motor é alimentado junto ao seu comando; após a partida do motor, que deve ser feita apenas dentro da água ou com telefone (processo que liga uma mangueira da água na entrada de água do motor para arrefecimento), o alternador carrega o banco de bateria do motor BB, que é interligado através de um relé de carga com o banco de bateria do guincho, então, sempre que a tensão sobe devido ao alternador, o relé de carga fecha o circuito unindo os dois bancos e carregando os mesmos. No próprio relé de carga tem um LED indicando se há sobrecarga se os bancos estão separados ou se estão interligados em paralelo.

Figura 15 – Relé de carga



Fonte: Autoria própria (2023)

O mesmo acontece com os bancos de bateria do motor boreste. Existe também uma chave geral para o motor boreste que ao ser fechada o motor está pronto para partida. Com o motor em funcionamento o alternador é acionado carregando a bateria do próprio motor que é interligada através de outro relé de carga com as baterias de consumo, carregando assim os dois bancos de bateria. Com o barco atracado e com uma tomada de cais por perto, alimenta-se um carregador de bateria de 40 A que mantém as baterias em carga.

3.2.2 Barcos com gerador

Quando o barco conta com um gerador de corrente alternada, há mais uma fonte de energia no barco. O gerador quando ligado alimenta o painel AC com disjuntores de equipamentos de corrente alternada que inclui o carregador de bateria. Este é um carregador 12 V com três saídas de 40 A, capaz de carregar o banco de consumo, guincho e gerador. O sistema tem uma chave seletora de Cais / Gerador. Se o barco está em uma marina ou qualquer outro lugar que consiga ligar o barco a rede elétrica a seletora é posta na posição cais, caso ao contrário, a chave é colocada na posição descrita gerador. Assim como os motores o sistema de arrefecimento do gerador é através da água do mar, então não se liga o gerador fora da água.

Figura 16 – Chave seletora Cais e Gerador



Fonte: Aatoria própria (2023)

3.3 Dimensionamento

Segundo Calder (2016) a energia demandada é calculada em um período de 24 horas e as cargas são classificadas pela corrente demandada (dado que se considera a tensão constante, conforme tensão banco de baterias) ou pela potência demandada. Para o cálculo da energia de maneira simplificada, na situação de criar um dimensionamento para 12 horas ou três dias, basta dividir os resultados por dois ou multiplicar por três, respectivamente. Assim, inicia-se com a listagem dos equipamentos e seu consumo pela corrente ou potência demandadas.

O próximo passo é estimar o uso diário de cada equipamento, lembrando que cada barco tem suas peculiaridades. Com a coleta de dados através de medições e manuais, adquire-se os consumos que indicam o consumo de cada equipamento. Com a ajuda de dois marinheiros foi feito o levantamento de consumo e utilidade de cada equipamento em 24 horas para ter o consumo em ampere-hora (Ah) ou Watt hora (Wh) de toda a embarcação com quatro tripulantes. Um equipamento que consome 2 Amperes em um período de 5 horas durante um dia, tem um consumo de 10Ah/dia.

A Tabela 2 apresenta os equipamentos do barco em estudo de 33 pés dividido em classes de consumo A e B (A significa equipamentos de uso constante; B de uso esporádico, que são utilizados em raras ocasiões e dificilmente juntos, desta forma, é somado ao consumo total do barco apenas o equipamento com o maior consumo), com consumo estimado em 24 horas com quatro pessoas a bordo.

A próxima etapa é determinar a capacidade de armazenamento de energia para manter o sistema e atender a demanda dos equipamentos tendo certo equilíbrio entre peso, espaço e autonomia das baterias.

Tabela 1 – Cargas e tempo de uso estimado do barco

Equipamento	Consumo A/B	Consumo (Ah) por peça	Pçs	Tempo de uso no dia (7h às 20h)	Consumo Dia (Ah)	Tempo de uso anoite (20h às 7h)	Consumo noite (Ah)	Tempo de uso em 24	Consumo (Ah) em 24 hrs
Luminária teto deck	A	0,25	9	2	4,5	4	9	6	13,5
Luminária cabine	A	0,25	8	0	0	2	4	2	4
Luminária banheiro	A	0,25	2	0,33332	0,16666	0,33332	0,16666	0,66664	0,33332
Ventilador	A	1,2	2	1	2,4	8	19,2	9	21,6
Geladeira	A	4,16	1	6	24,96	3	12,48	9	37,44
Bomba de água doce	A	10	1	0,21657	2,1657	0,18327	1,8327	0,39984	3,9984
Sensores de tank	A	0,083	4	13	4,316	11	3,652	24	7,968
Tomadas USB cabine	A	1	1	5	5	7	7	12	12
Tomadas USB deck	A	1	1	5	5	0	0	5	5
Radio VHF	A	6	1	13	78	11	66	24	144
GPS display	A	2,46	2	5	24,6	2	9,84	7	34,44
Limpador parabrisas	B	11,66	1	1	11,66	1	11,66	2	23,32
Cortesia deck	A	0,083	18	1	1,494	4	5,976	5	7,47
Cortesia cabine	A	0,083	3	0	0	2	0,498	2	0,498
Luz de navegação	A	0,41	2	1	0,82	1	0,82	2	1,64
Luz de top	A	0,41	1	13	5,33	11	4,51	24	9,84
Aparelho de som	A	16,66	1	4	66,64	0	0	4	66,64
Bomba águas negras	B	3,5	1	0	0	0,08333	0,291655	0,08333	0,291655
Buzina	B	20	1	0,04998	0,9996	0,04998	0,9996	1,9992	1,9992
Vaso elétrico	B	16	1	0,06664	1,06624	0,06664	1,06624	0,13328	2,13248
Bomba de porão	A	8	2	0,5	8	0,5	8	1	16
Exaustor	A	2,083	2	1	4,166	1	4,166	2	8,332
Sonar	A	0,4	1	5	2	2	0,8	7	2,8
Sistema de incêndio	A	1	1	13	13	11	11	24	24
Total		106,942	67	90,16651	252,55836	82,21654	168,94136	172,38305	421,49972
Consumo A: equipamentos de uso contínuo	OBS: consumo B (células Verde) foi contabilizado apenas o equipamento de maior corrente (Buzina).			Total (Ah) 24 hrs	421,49972	Ah	Consumo total (Ah)	Dia	Noite
Consumo B: equipamentos de uso esporádico				Total (Wh) 24 hrs	5057,99664	Wh	Consumo total (Wh)	252,55836	168,94136
Equipamentos alimentados antes da chave geral								3030,70032	2027,29632
									Consumo (Ah)
									Consumo (Wh)

Fonte: Autoria própria (2023).

A Tabela 2 foi criada com base no consumo apresentado anteriormente, com a ideia de apresentar o banco de bateria ideal (1686 Ah) para um funcionamento de 24 horas sem qualquer tipo de auxílio. O banco de bateria atual é desta embarcação é de 210 Ah, que obteve duração média de 3 horas de autonomia sem qualquer tipo de auxílio, contando apenas com 30% da carga disponível a fim de prolongar o número de ciclos e vida da bateria. A tabela ainda apresenta um consumo estimado das 7 horas às 20 horas (horário que temos radiação solar) e das 20 horas às 7 horas (horário que não temos irradiação solar), ou seja, o dimensionamento de bateria foi feito em um período com radiação solar e outro sem radiação solar para se ter melhor noção da produção de energia solar necessária com o mínimo de placas possível.

Devido ao peso das baterias de chumbo ácido nem sempre há a possibilidade de ter um banco de bateria desejável que cubra muitas horas de autonomia. (CALDER, 2015)

Tabela 2 – Consumo estimado do barco

Situação da bateria	(%)	Dimensionamento de bateria com o consumo em 24 horas	(Ah)	Dimencionamento com consumo de 251,4 Ah no período de 13 horas	(Ah)	Dimencionamento com consumo de 168,1 Ah no período de 11 horas	(Ah)
Final do ciclo	50,00%	210,74986	Ah	126,27918	Ah	84,47068	Ah
Recarga	80,00%	337,199776	Ah	202,046688	Ah	135,153088	Ah
Carga disponível	30,00%	126,449916	Ah	75,767508	Ah	50,682408	Ah
Banco sugerido		1404,999067	Ah	841,8612	Ah	563,1378667	Ah
Fator de desgaste da bateria	20,00%	1685,99888	Ah	1010,23344	Ah	675,76544	Ah
Horas de duração e tamanho do banco	24	1685,99888	Ah	1010,23344	Ah	675,76544	Ah

Situação da bateria	(%)	Dimensionamento de bateria com o consumo em 24 horas	(Ah)	Dimencionamento com consumo de 251,4 Ah no período de 13 horas	(Ah)	Dimencionamento com consumo de 168,1 Ah no período de 11 horas	(Ah)
Final do ciclo	50,00%	210,74986	Ah	126,27918	Ah	84,47068	Ah
Recarga	80,00%	337,199776	Ah	202,046688	Ah	135,153088	Ah
Carga disponível	30,00%	126,449916	Ah	75,767508	Ah	50,682408	Ah
Banco sugerido		1404,999067	Ah	841,8612	Ah	563,1378667	Ah
Fator de desgaste da bateria	20,00%	1685,99888	Ah	1010,23344	Ah	675,76544	Ah
Horas de duração e tamanho do banco	3	210,74986	Ah	126,27918	Ah	84,47068	Ah

Fonte: Autoria própria (2023).

Na Tabela 2, segundo os cálculos, foi sugerido um banco de 1405 Ah, porém, foi recalculado com um fator de desgaste da bateria de 20% (referente ao tempo, as baterias vão perdendo suas propriedades e se desgastando ao passar dos anos), precisando então de um banco equivalente a 1686 Ah para durar um período de 24 horas de consumo sem recarga com a condição de 30% de carga disponível. O banco de bateria atual de consumo é composto por duas baterias de 105 Ah estacionárias, ou seja, um banco de 210 Ah que conseguiria manter o barco nas condições expostas por aproximadamente três horas. Nesse caso, esta situação é oito vezes menor que o banco ideal para manter o consumo em 24 horas. Substituindo o banco de baterias por duas baterias de 150 A é possível aumentar o tempo de carga disponível para aproximadamente 4 horas e 20 minutos considerando 24 horas, 7 horas durante o dia e 10 horas e 40 minutos no período noturno. A Tabela 3 ilustra provável instalação.

Tabela 3 – Dimensionamento novo banco de bateria

Situação da bateria	(%)	Dimensionamento de bateria com o consumo em 24 horas	(Ah)	Dimencionamento com consumo de 251,4 Ah no período de 13 horas	(Ah)	Dimencionamento com consumo de 168,1 Ah no período de 11 horas	(Ah)
Final do ciclo	50,00%	210,74986	Ah	126,27918	Ah	84,47068	Ah
Recarga	80,00%	337,199776	Ah	202,046688	Ah	135,153088	Ah
Carga disponível	30,00%	126,449916	Ah	75,767508	Ah	50,682408	Ah
Banco sugerido		1404,999067	Ah	841,8612	Ah	563,1378667	Ah
Fator de desgaste da bateria	20,00%	1685,99888	Ah	1010,23344	Ah	675,76544	Ah
Horas de duração e tamanho do banco	4,3	302,0747993	Ah	181,000158	Ah	121,0746413	Ah

Fonte: Autoria própria

3.3.1 Dimensionamento do Banco de Baterias

Para calcular e confirmar os resultados da Tabela 2, segundo Ribeiro (2020 apud GREENPRO, 2004), e assim determinar o banco de baterias ideal é:

$$E_A = (E_C/P_D) \times F_D \quad (1)$$

Sendo

E_A – Energia armazenada [Wh]

E_C – Energia consumida [Wh]

P_D – Profundidade de descarga [%]

F_D - Fator de desgaste [adm]

$$E_A = (5058 \text{ Wh} / 30\%) * 1+20\%$$

$$E_A = 20232 \text{ Wh}$$

OBS: O valor de energia armazenada é referente a um dia, para ter uma autonomia de dois dias basta multiplicar o valor por dois.

Capacidade do banco de baterias

$$C. \text{ banco} = E_A / V. \text{ banco} \quad (2)$$

$$C. \text{ banco} = 20232 \text{ Wh} / 12 \text{ V}$$

$$\mathbf{C. \text{ banco} = 1686 \text{ Ah}}$$

Número de baterias em paralelo

$$\text{NBP} = 1686 \text{ Ah} / 105 \text{ Ah}$$

$$\mathbf{\text{NBP} = 16 \text{ baterias}}$$

Situação do barco com duas baterias de 105 Ah

$$210 = E_A / 12 \text{ V}$$

$$E_A = 210 * 12 \text{ V}$$

$$E_A = 2520 \text{ Wh}$$

$$20232 \text{ Wh} = \underline{1 \text{ dia}}$$

$$2520 \text{ Wh} = \text{X dia}$$

$$X = 0,12455 \text{ dia}$$

$$\frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ horas}} = \frac{24 \text{ horas}}{24 \text{ horas}}$$

$$0,12455 \text{ dia} = X \text{ horas}$$

$$X = 3 \text{ horas}$$

3.3.2 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Com base no barco estudado, sem nenhum tipo de alteração no layout, dois módulos de 540 Wp com dimensões de 1134 mm x 2285 mm x 35 mm são capazes de serem instaladas no teto do barco. Segundo Ribeiro (2020) a fórmula para dimensionar a potência mínima de geração do sistema fotovoltaico *off-grid* já, considerando a pior média de irradiação diária anual e que os módulos serão instalados em um plano horizontal é:

$$P = ((C/R)/(EFI \times EFBC)) \quad (3)$$

Sendo

P – Potência mínima de geração dos painéis solares [Wp];

C – Consumo diário [KW]

R – Irradiação média diária anual [KWh/m².dia]

$EFBC$ – Eficiência do banco de baterias e cabeamento;

EFI – Eficiência do inversor;

$$P = ((5058 / 4,15) / (0,97 * 0,80))$$

$$P = 1570,61 \text{ Wp}$$

Nesse caso a solução seria três painéis de 540 Wp mono cristalino totalizando 1620 Wp, e um banco de bateria de 675,76 Ah para suprir a energia diária demandada no período da noite. Caso o barco, em estudo caso não tenha nenhum projeto de expansão do teto conseguirá apenas alojar dois módulos no plano horizontal.

A situação do barco onde tem espaço apenas para dois módulos de 540 Wp será:

$$1080 = ((C / 4,15) / (0,97 \times 0,80))$$

$$C = 3478 \text{ Wh}$$

$$\text{Total em [Ah]} = 3478 / 12$$

$$\text{Total em [Ah]} = 289,8$$

3.3.3 Dimensionamento do Controlador de Carga

O dimensionamento do controlador de carga é dado por (4):

$$I. \text{ controlador} = 1,25 \times N. \text{módulos} \times I_{sc}$$

(4)

Sendo

I.controlador – Corrente mínima do controlador [A]

N.módulos – Número de módulos

I_{sc} – Corrente de curto circuito do módulo [A]

$$I. \text{controlador} = 1,25 * 2 * 13,9$$

$$I. \text{controlador} = 34,75 \text{ A}$$

3.4 Comportamento do sistema energético com e sem placas solares fotovoltaicas.

A seguir será apresentado um comparativo do sistema elétrico de um barco com e sem energia solar fotovoltaica para poder analisar os prós e contras.

3.4.1 Embarcação sem sistema fotovoltaico incluso

Foi feito um levantamento de como é o comportamento do sistema sem a utilização de energia solar.

Tabela 4 – Comportamento do sistema elétrico sem energia solar

Horas do dia	0 / 1	1 / 2	2 / 3	3 / 4	4 / 5	5 / 6	6 / 7	7 / 8	8 / 9	9 / 10	10 / 11	11 / 12	12 / 13	13 / 14	14 / 15	15 / 16	16 / 17	17 / 18	18 / 19	19 / 20	20 / 21	21 / 22	22 / 23	23 / 00
50% de descarga																								
Capacidade (Ah) sem solar	131,1	120,0	188,0	156,6	143,4	132,3	210,0	196,8	186,6	166,3	151,1	135,7	125,6	107,0	172,0	143,3	114,8	168,0	149,4	137,9	124,0	108,2	168,0	146,5
Porcentagem da bateria	62,4%	57,1%	80,0%	74,6%	68,3%	63,0%	100,0%	93,7%	88,9%	79,2%	72,0%	64,6%	59,8%	50,9%	81,9%	68,2%	54,7%	80,0%	71,1%	65,7%	59,1%	51,5%	80,0%	69,8%
30% de descarga																								
Capacidade (Ah) sem solar	155,57	144,43	170	158,85	145,43	170,00	210	196,78	186,62	166,29	151,14	175,00	164,97	146,31	171,00	142,31	172,00	138,20	172,00	160,51	146,62	170,00	149,21	171,00
Porcentagem da bateria	74,1%	68,8%	81,0%	75,5%	69,3%	81,0%	100,0%	93,7%	88,9%	79,2%	72,0%	83,3%	78,6%	69,7%	81,4%	67,8%	81,9%	65,8%	81,9%	76,4%	69,8%	81,0%	71,1%	81,4%

Fonte: Autoria própria

Analisando a Tabela 4 é notória a falta de auxílio de geração de energia, pelos módulos solares fotovoltaicos, um carregador de baterias ou até mesmo um banco de baterias maior. No primeiro caso, onde temos descargas de 50% da carga total, o alternador teve que ser acionado quatro vezes no dia, em torno de pelo menos uma hora, para elevar a carga da bateria a 80%. No segundo caso o acionamento do motor foi mais constante para tentar manter o nível das baterias acima dos 70% e garantir mais ciclos, deixando o motor ligado por uma hora o nível das baterias sobe aproximadamente até 83%.

O barco sem o sistema solar fotovoltaica exige mais do motor, no caso de descargas de 50% o motor deve ser acionado quatro vezes durante uma hora gastando R\$ 65,97 (consumo do motor x preço do combustível x número de horas diárias) em caso de descargas de 30% o motor seria exigido oito horas gastando R\$131,90 por dia.

3.4.2 Embarcação com sistema fotovoltaico incluso

O barco com consumo de 252,55 Ah das 7 às 20 horas considerando a descarga de 30% de profundidade das baterias, terá autonomia de aproximadamente 3 horas como mostra a Tabela 2. Incluindo a geração de energia fotovoltaica estimada, há um aumento de carga disponível suprimindo toda demanda de energia no dia.

É comum que os barcos de recreação sejam utilizados em dias de sol. Dificilmente os passageiros vão passar a noite inteira em um barco desse porte, tornando o projeto de geração solar fotovoltaica ainda mais atrativo.

A Tabela 5 apresenta a produção de energia em cada horário do dia. Esta tabela foi baseada em uma publicação da Solar Valle (2020) junto com a capacidade de geração do sistema estipulado para a embarcação.

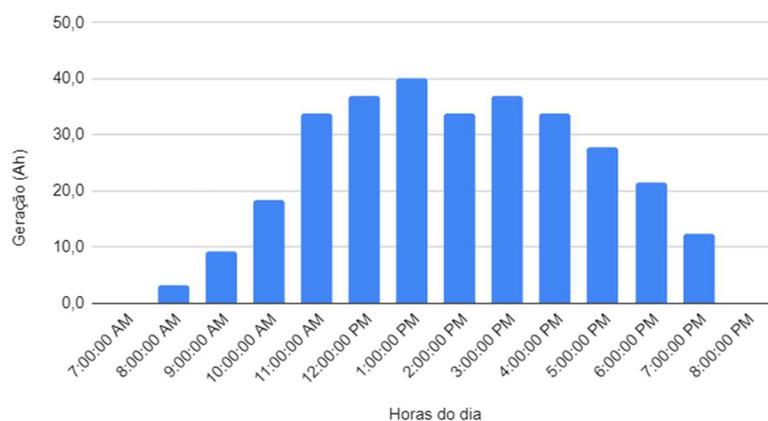
Tabela 5 – Média de geração de energia nos períodos do dia.

Horas do dia	%	Produção (Ah)	Produção (Wh)
7:00:00 AM	0%	0,0	0
8:00:00 AM	1%	3,1	36,95409
9:00:00 AM	3%	9,2	110,86227
10:00:00 AM	6%	18,5	221,72454
11:00:00 AM	11%	33,9	406,49499
12:00:00 PM	12%	37,0	443,44908
1:00:00 PM	13%	40,0	480,40317
2:00:00 PM	11%	33,9	406,49499
3:00:00 PM	12%	37,0	443,44908
4:00:00 PM	11%	33,9	406,49499
5:00:00 PM	9%	27,7	332,58681
6:00:00 PM	7%	21,6	258,67863
7:00:00 PM	4%	12,3	147,81636
8:00:00 PM	0%	0,0	0
	10%	70%	20%
			100%

Fonte: Autoria própria (2022)

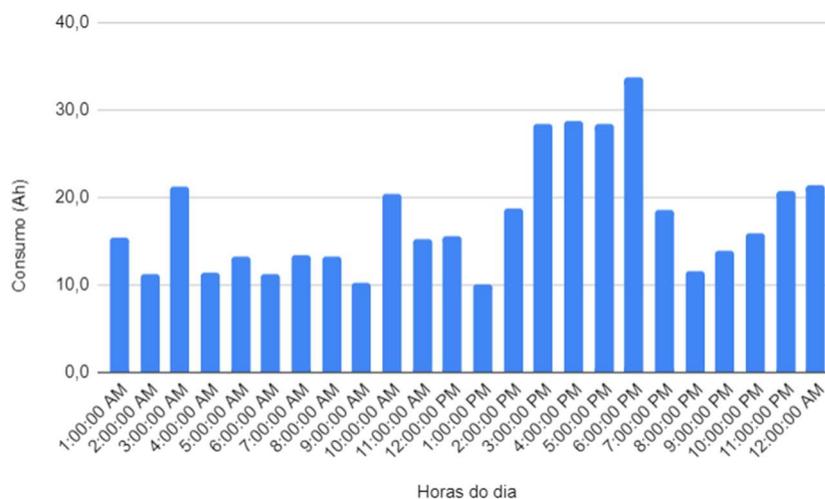
Com base no levantamento de dados e informações foi listado um consumo diário para a embarcação. Através de cálculos e dimensionamentos é possível alcançar informações de geração de energia solar fotovoltaica nos períodos do dia, assim como o consumo já estimado e, com isso, foram construídos os gráficos de geração e consumo, conforme Gráfico 1 e Gráfico 2.

Gráfico 1 – Média de geração solar



Fonte: Autoria própria (2022)

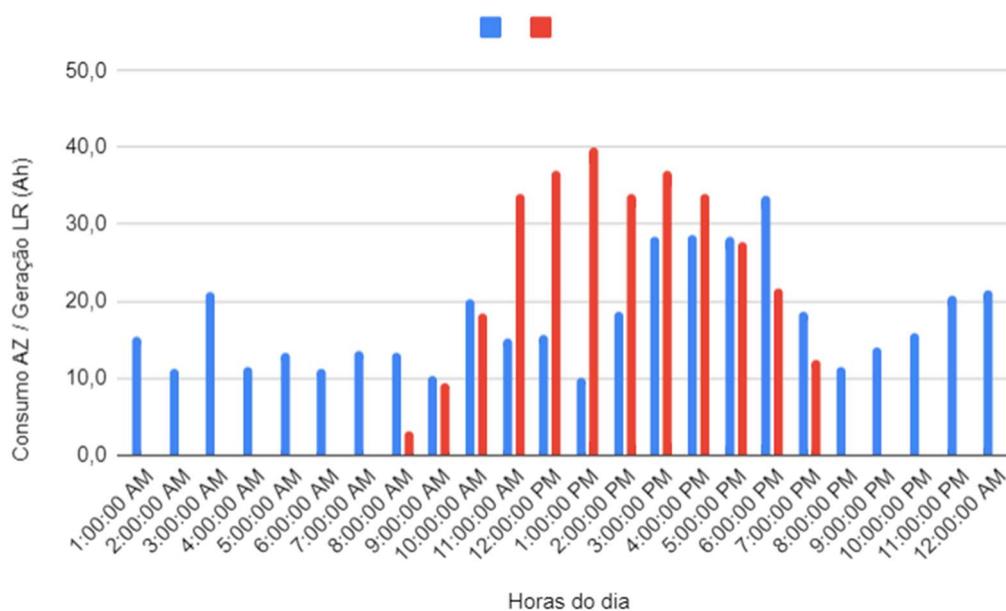
Gráfico 2 – Média de consumo do barco



Fonte: Autoria própria

Após obter os dados de geração e consumo nos períodos do dia e da noite, é possível obter o Gráfico 3 que ilustra momentos que tem mais geração que consumo ou mais consumo que geração.

Gráfico 3 – Consumo e geração



Fonte: Autoria própria

Com as informações levantadas no decorrer deste trabalho que envolve baterias, alternadores e módulos fotovoltaicos, foram levantadas algumas hipóteses de como o sistema poderá funcionar com o auxílio da energia solar fotovoltaica e de como ele funcionava sem o auxílio do mesmo.

Tabela 6 – Comportamento das baterias com auxílio de placas solares

Horas do dia	6 / 7	7 / 8	8 / 9	9 / 10	10 / 11	11 / 12	12 / 13	13 / 14	14 / 15	15 / 16	16 / 17	17 / 18	18 / 19	19 / 20	20 / 21	21 / 22	22 / 23	23 / 00
Consumo (Ah)	13,43	13,22	10,16	20,34	15,14	15,48	10,03	18,66	28,48	28,69	28,48	33,80	18,60	11,49	13,90	15,86	20,79	21,46
Geração (Ah)	0	3,08	9,24	18,48	33,87	36,95	40,03	33,87	36,95	33,87	27,72	21,56	12,32	0	0	0	0	0
Energia solar																		
Capacidade (Ah)	210,0	199,9	198,9	197,1	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	209,2	197,0	190,7	179,2	165,3	149,5	128,7	107,2
Porcentagem da bateria	100,0%	95,2%	94,7%	93,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,6%	93,8%	90,8%	85,3%	78,7%	71,2%	61,3%	51,4%

Fonte: Autoria própria

A Tabela 6 representa quantas horas o barco consegue ser autossustentável com o auxílio apenas de módulos fotovoltaicos (Laranja), considerando que o banco de baterias descarregue 30% (verde) e 50% (azul). O dia de passeio se inicia às 6 horas da manhã com as baterias totalmente carregadas, entre 21 e 22 horas o barco chega a 30% de carga solicitada e até meia-noite o banco de baterias chega a 50% de sua carga total. O restante dos períodos a bateria ficaria abaixo do nível de carga recomendado, precisando então de recarga.

Na Tabela 7, é mostrado o comportamento das baterias em um período semelhante à tabela anterior, porém, com o auxílio de mais uma fonte de energia, o alternador do motor (cinza).

Tabela 7 - Comportamento das baterias com auxílio de placas solares e alternador

Horas do dia	0 / 1	1 / 2	2 / 3	3 / 4	4 / 5	5 / 6	6 / 7	7 / 8	8 / 9	9 / 10	10 / 11	11 / 12	12 / 13	13 / 14	14 / 15	15 / 16	16 / 17	17 / 18	18 / 19	19 / 20	20 / 21	21 / 22	22 / 23	23 / 00	
Consumo (Ah)	15,43	11,14	21,22	11,35	13,22	11,14	13,43	13,22	10,16	20,34	15,14	15,48	10,03	18,66	28,48	28,69	28,48	33,80	18,60	11,49	13,90	15,86	20,79	21,46	
Geração (Ah)	0	0	0	0	0	0	0	3,08	9,24	18,48	33,87	36,95	40,03	33,87	36,95	33,87	27,72	21,56	12,32	0	0	0	0	0	
Energia solar e alternador 30% da carga																									
Capacidade (Ah)	177,0	165,9	144,6	171,0	157,8	146,6	210,0	199,9	198,9	197,1	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	209,2	197,0	190,7	179,2	165,3	149,5	174,0	152,8	
Porcentagem da bateria	84,3%	79,0%	68,9%	81,4%	75,1%	69,8%	100,0%	95,2%	94,7%	93,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,6%	93,8%	90,8%	85,3%	78,7%	71,2%	82,9%	72,6%
Energia solar e alternador 50% da carga																									
Capacidade (Ah)	168,0	156,9	135,6	124,3	111,1	168,0	210,0	210,0	209,1	207,2	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	209,2	197,0	190,7	179,2	165,3	149,5	128,7	107,2	
Porcentagem da bateria	80,0%	74,7%	64,6%	59,2%	52,9%	80,0%	100,0%	100,0%	99,6%	98,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,6%	93,8%	90,8%	85,3%	78,7%	71,2%	61,3%	51,4%

Fonte: Autoria própria

A tabela 7 apresenta os dados do funcionamento do sistema elétrico referente à geração e consumo de energia com sistema fotovoltaico utilizando até 30% da carga total e 50% da carga total. O dia iniciando às 6 horas da manhã teria um banco de baterias com carga máxima (210 Ah). Até as 16 horas, observa-se que o sistema fotovoltaico está suprindo todo consumo e, a partir das 16 horas, o sistema não gera mais energia suficiente. A carga disponível é reduzida a 30% até 22 horas e mais 20 % até meia noite, havendo então a necessidade de ligar o motor da embarcação para que a bateria chegue aos 80% de carga. Esse processo levaria em média uma hora.

O consumo do barco em marcha lenta foi considerado com média 2,8 L/h, considerando este consumo e o valor do combustível a R\$ 5,89, no exemplo em que as baterias são descarregadas em 30% teríamos um gasto com combustível diário de R\$ 49,50. No exemplo em que as baterias são descarregadas em 50%, o motor seria acionado em média duas vezes proporcionando gastos de R\$ 33,00 por dia.

Figura 17 – Informações do motor



Fonte: Autoria própria

É possível observar que apenas o sistema fotovoltaico não supre a demanda de consumo durante 24 horas, mesmo que supra o período mais utilizado. Segundo os marinheiros, a ideia é trazer informações referentes a um dia completo (24 horas) de passeio. Com o mínimo auxílio do alternador tem-se energia em todos os períodos, com foco em tornar o sistema elétrico mais rentável às baterias foram descarregadas até 50% e carregadas até 80% da sua capacidade nominal. Segundo Calder (2016), dessa forma, prejudicaria marginalmente a vida útil das baterias, porém, seria compensado reduzindo os gastos com combustíveis e manutenção do motor, pois os 20% finais de carga da bateria demorariam entre 6 e 8 horas como mostrado na figura 8.

3.5 Comparação e Análise Financeira

O auxílio de mais uma fonte de energia busca amenizar os gastos de combustíveis, trazendo economia e eficiência ao sistema energético ao proprietário da embarcação com a implementação do sistema fotovoltaico. É possível observar economia em horas do motor, porém o investimento influencia positivamente também

na vida das baterias, sem o descarregamento além do limite estabelecido do fabricante, e de outros equipamentos eletrônicos com a manutenção a tensão de operação de cada equipamento em uma faixa ideal.

Como citado anteriormente e pela tabela 8, um barco sem sistema fotovoltaico com descarga de 50% usaria o motor por quatro horas e com descargas de 30% oito horas; um barco com energia fotovoltaica com descargas de 50%, acionaria o motor duas vezes já com descargas de 30% três vezes.

O barco com o sistema elétrico original tem um gasto de R\$ 66,97 com combustível, enquanto que o barco com sistema fotovoltaico tem um gasto de R\$ 33,00 por dia. Um barco que é utilizado 60 dias por ano a economia anual considerando apenas combustível seria de R\$ 2.038,00.

Tabela 8 – Comparação de carga do sistema

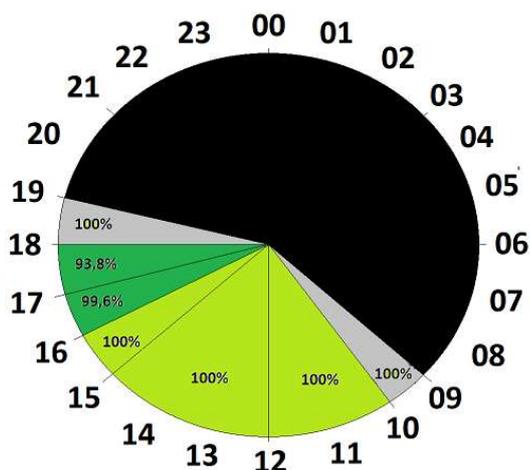
Horas do dia	0 / 1	1 / 2	2 / 3	3 / 4	4 / 5	5 / 6	6 / 7	7 / 8	8 / 9	9 / 10	10 / 11	11 / 12	12 / 13	13 / 14	14 / 15	15 / 16	16 / 17	17 / 18	18 / 19	19 / 20	20 / 21	21 / 22	22 / 23	23 / 00
Consumo (Ah)	15,43	11,14	21,22	11,35	13,22	11,14	13,43	13,22	10,16	20,34	15,14	15,48	10,03	18,66	28,48	28,69	28,48	33,80	18,60	11,49	13,90	15,86	20,79	21,46
Geração (Ah)	0	0	0	0	0	0	0	3,08	9,24	18,48	33,87	36,95	40,03	33,87	36,95	33,87	27,72	21,56	12,32	0	0	0	0	0
Energia solar e alternador 30% da carga																								
Capacidade (Ah)	177,0	165,9	144,6	171,0	157,8	146,6	210,0	199,9	198,9	197,1	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	209,2	197,0	190,7	179,2	165,3	149,5	174,0	152,5
Porcentagem da bateria	84,3%	79,0%	68,9%	81,4%	75,1%	69,8%	100,0%	95,2%	94,7%	93,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,6%	93,8%	90,8%	85,3%	78,7%	71,2%	82,9%	72,6%
Energia solar e alternador 50% da carga																								
Capacidade (Ah)	168,0	156,9	135,6	124,3	111,1	168,0	210,0	210,0	209,1	207,2	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	210,0	209,2	197,0	190,7	179,2	165,3	149,5	128,7	107,2
Porcentagem da bateria	80,0%	74,7%	64,6%	59,2%	52,9%	80,0%	100,0%	100,0%	99,6%	98,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,6%	93,8%	90,8%	85,3%	78,7%	71,2%	61,3%	51,1%
Sistema original 50% de descarga																								
Capacidade (Ah) sem solar	131,1	120,0	168,0	156,6	143,4	132,3	210,0	196,8	186,6	166,3	151,1	135,7	125,6	107,0	172,0	143,3	114,8	168,0	149,4	137,9	124,0	108,2	168,0	146,5
Porcentagem da bateria	62,4%	57,1%	80,0%	74,6%	68,3%	63,0%	100,0%	93,7%	88,9%	79,2%	72,0%	64,6%	59,8%	50,9%	81,9%	68,2%	54,7%	80,0%	71,1%	65,7%	59,1%	51,5%	80,0%	69,8%
Sistema original 30% de descarga																								
Capacidade (Ah) sem solar	155,7	144,43	170	158,65	145,43	170,00	210	196,78	186,62	166,29	151,14	175,00	164,97	146,31	171,00	142,31	172,00	138,20	172,00	160,51	146,62	170,00	149,21	171,00
Porcentagem da bateria	74,1%	68,8%	81,0%	75,5%	69,3%	81,0%	100,0%	93,7%	88,9%	79,2%	72,0%	83,3%	78,6%	69,7%	81,4%	67,8%	81,9%	65,8%	81,9%	76,4%	69,8%	81,0%	71,1%	81,4%

Fonte: Autoria própria

3.6 Nova Hipótese

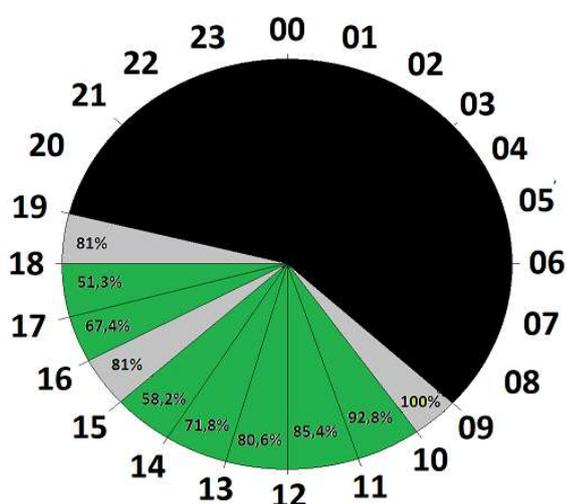
Em uma situação específica onde o barco é alugado para passeios, tem-se informações de utilização da embarcação mais concretas. Grandes empresas que alugam barcos costumam oferecer passeios de lancha das 9 às 19 horas em determinado destino. Considerando que o barco seja o de estudo e leve 1 hora para chegar ao destino (9h às 10h) e 1 hora para chegar ao local de desembarque (18 às 19h) teria-se os seguintes comportamentos de descarga em um sistema com módulos fotovoltaicos e outro sem módulos fotovoltaicos, conforme Figura 18 e figura 19.

Figura 18 – Comportamento do banco de baterias com placas solares.



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 19 – Comportamento do banco de baterias sem placa solar



Fonte: Autoria própria (2023)

Nota-se que um barco equipado com sistema fotovoltaico apresenta maior autonomia energética como apresenta a Figura 18 com um banco de baterias sendo usado menos do que 10% da sua capacidade. A Figura 19 (sem módulo fotovoltaico) apresenta em um dia de passeio o consumo de quase 50% da carga total precisando ligar o motor e assim acionar o alternador elevar o nível de carga a 80% e alcançando mais 30% de carga disponível até a hora de partir. Na hora de partir, a carga da bateria se encontra em 50% novamente e apenas a volta para o local de partida não é suficiente para carregar 100% o banco de bateria, necessitando de um carregador externo.

O sistema elétrico de um barco trabalhando com 30% da carga do banco de bateria renderiam 1000 ciclos, considerando que nessa situação a bateria dure quatro anos, utilizando 50% da carga, a mesma renderia 600 ciclos, o banco de baterias teria dois anos e 10 meses de vida útil. Utilizando ou não módulos fotovoltaicos no auxílio de carga de um barco, este será o comportamento natural das baterias. Porém, a questão é determinar qual a melhor forma de manter os níveis ideais de carga da bateria otimizando o sistema adquirindo ainda mais retorno financeiro no caso de empresários que alugam barcos, reduzindo seus custos de manutenção e combustível.

3.7 Modelo com gerador

O modelo utilizado no barco de estudo é um Gerador Fischer Panda 5000i com potência nominal de 4kW, conforme Figura 20.

Figura 20 – Gerador Panda 5000i



Fonte: Keise (2022)

A necessidade de um gerador no barco é indiscutível, quando se trata de conforto e autonomia de energia, utilizando de forma correta as baterias sempre estarão carregadas. Para manter as baterias acima dos 70% de carga seria indispensável um gerador de energia para ligar o carregador. Como o preço de um gerador é muito elevado (Figura 20), não seria viável a instalação de um apenas para o carregador de baterias, assim, cria-se então todo um sistema CA com churrasqueira,

boiler e ar-condicionado, propondo um conforto ainda maior. Quando o barco possui um gerador a combustão CA, tudo se torna mais fácil na embarcação, porém gera mais gastos, ruídos e poluição. Os equipamentos citados possuem consumo elevado, e o banco de baterias existente seria incapaz de fornecer energia suficiente para um determinado inversor. Em uma específica embarcação com gerador, caso os equipamentos CA são bem utilizados, o sistema fotovoltaico não se torna atrativo, pois o gerador carregaria as baterias em momentos que o gerador é acionado.

Admitindo que haja uma forma correta para utilização do sistema elétrico instalado no barco com gerador e, sem que exista um sistema de energia solar fotovoltaica, a Tabela 9 apresenta uma hipótese de utilização considerando o início do passeio às 6 horas da manhã.

Tabela 9 – Utilidade do gerador com a necessidade das baterias

Horas do dia	0 / 1	1 / 2	2 / 3	3 / 4	4 / 5	5 / 6	6 / 7	7 / 8	8 / 9	9 / 10	10 / 11	11 / 12	12 / 13	13 / 14	14 / 15	15 / 16	16 / 17	17 / 18	18 / 19	19 / 20	20 / 21	21 / 22	22 / 23	23 / 00
Consumo (Ah)	15,43	11,14	21,22	11,35	13,22	11,14	13,43	13,22	10,16	20,34	15,14	15,48	10,03	18,66	28,48	28,69	28,48	33,80	18,60	11,49	13,90	15,86	20,79	21,46
Geração (Ah)	0	0	0	0	0	0	0	3,08	9,24	18,48	33,87	36,95	40,03	33,87	36,95	33,87	27,72	21,56	12,32	0	0	0	0	0
50% de descarga																								
Capacidade (Ah) sem solar	178,0	184,0	189,0	194,0	199,0	205,0	210,0	196,8	186,8	166,3	151,1	135,7	170,0	175,0	146,5	117,8	170,0	177,0	158,4	146,9	133,0	117,2	168,0	173,0
Porcentagem da bateria	84,8%	87,6%	90,0%	92,4%	94,8%	97,6%	100,0%	93,7%	88,9%	79,2%	72,0%	64,6%	81,0%	83,3%	69,8%	56,1%	81,0%	84,3%	75,4%	70,0%	63,3%	55,8%	80,0%	82,4%

Fonte: Autoria própria

Com carga máxima às 6 horas da manhã o banco de baterias se mantém acima dos 50% de carga até o meio dia. Próximo do horário mencionado, ao ligar o gerador para a churrasqueira, supondo que o gerador ficou ligado do meio dia até as 14 horas (amarelo), teríamos uma carga de 2 horas, elevando o banco de baterias em média 83% da carga nominal. Para manter a carga acima dos 50% teria que ligar novamente o gerador às 17 horas. Nesse momento utilizaria-se o boiler para aquecer a água e tomar banho já, com o gerador ligado das 16 às 18 horas as baterias iriam a 84% da carga nominal. Novamente, teríamos que ligar o gerador às 22 horas, pois as baterias estariam com 50% da carga nominal, desta forma, o gerador é acionado para ligar o ar-condicionado das 22 às 06 horas fazendo com que as baterias atinjam quase seu nível máximo de carga.

Retornando à Tabela 7, supondo que o acionamento do alternador é o do gerador, o mesmo seria acionado quatro vezes ao considerar descargas de 50%, transferindo os gastos do motor para o gerador. Caso exista com o sistema de energia solar fotovoltaica o gerador seria acionado apenas duas vezes no período noturno

como mostrado na Tabela 6, lembrando que no período noturno o ar-condicionado é mais utilizado, então, ao ligar o gerador para uso do ar-condicionado já estaríamos carregando o banco de baterias para o dia seguinte.

3.8 Análise Financeira Simplificada.

Para ser viável a implementação de sistemas fotovoltaicos em embarcações, algumas informações referentes a custos precisam ser considerados para o cliente estar disposto a comprar um barco com o sistema ou ele queira implementar o sistema em sua embarcação, evidentemente ele fará um bom investimento, pois dependendo do perfil de utilização nem sempre a implementação é viável financeiramente.

3.8.1 Orçamento kit instalação fotovoltaico

Intelbras (Placa solar, controlador de carga e fiação), Internet (Suporte de fixação) e SchaeferYatchs (mão de obra) foram as empresas dispostas a ajudar no orçamento apresentado conforme Tabela 10.

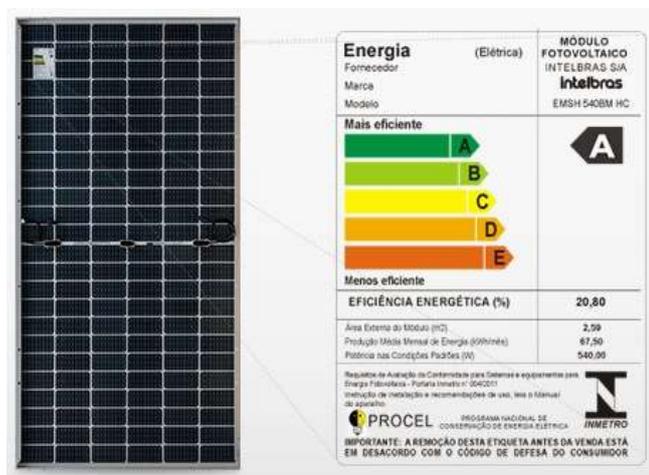
Tabela 10 – Orçamento kit fotovoltaico

Orçamento kit fotovoltaico				
Material	Qty	Unidade	Valor Un	valor total
Placa solar	2	Pc	R\$ 1.250,00	R\$ 2.500,00
Controlador de carga	1	Pc	R\$ 678,50	R\$ 678,50
Cabo solar 10mm VM	6	Mt	R\$ 19,45	R\$ 116,70
Cabo solar 10mm PT	6	Mt	R\$ 19,45	R\$ 116,70
Kit fixação	2	Kit	R\$ 291,00	R\$ 582,00
Mão de obra	16	Hr	R\$ 180,00	R\$ 2.880,00
Total a pagar				R\$ 6.873,90

Fonte: Autoria própria (2023)

O EMSH 540 BM HC (Módulo Fotovoltaico Bifacial Monocristalino 540W) vendido pela Intelbras garante alta performance com tecnologias que permitem menor perda em caso de sombreamentos e baixo fator de desgaste no desempenho do módulo. O mesmo conta com células bifaciais, eficiência de 20,8%, garantia de 12 anos de produto e garantia de 30 anos de eficiência. O módulo é registrado no INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia) conforme exigências da portaria N°004/2011.

Figura 21 – Módulo fotovoltaico



Fonte: Intelbras (2023)

O ECM 4024 (Controlador de Carga MPPT 40A *Off Grid*) vendido pela Intelbras permite que o sistema tenha um ótimo aproveitamento da energia gerada pelo módulo, possui saída de carga configurável e alta performance com tecnologia MPPT. Registrado conforme portaria N°004/2011 no INMETRO.

Figura 22 – Controlador de carga tipo MPPT



Fonte: Intelbras (2023)

Ótimo para embarcações, o suporte de fixação dos módulos é produzido em ABS, no kit vem um passa cabo e seis bases de fixação com altura ideal para circulação de ar que ajuda no resfriamento dos módulos.

Figura 23 – Suporte de fixação dos módulos solares

Fonte: Aliexpress

3.8.2 Consumo do motor

Um motor da Mercury modelo Verado 300 tem um consumo médio de 2,8 litros hora a 590 RPM; considerando uma embarcação sem energia fotovoltaica e com descarga de 50% das baterias, o consumo de combustível seria de R\$ 16.072,80 em aproximadamente 4 anos (66,97 – Combustível em um dia x 240 – dias de uso em quatro anos). Um barco com o mesmo motor e com mesmo limite de descarga das baterias, porém com energia fotovoltaica, gastaria em média R\$ 7.920,00 de combustível. O proprietário tem uma economia de mais de R\$ 8.000,00 em combustível e o número de horas do motor reduzido pela metade.

3.8.3 Payback Simples

A Tabela 11 e Tabela 12 foram criadas para apresentar os gastos com combustível referente ao uso do motor no período de quatro anos. Na tabela é aplicado o consumo em litros/hora, o valor do combustível, horas de uso diário, gasto diário de combustível, dias de uso do barco referente há quatro anos (60 dias no ano), total de horas de uso do motor e total gasto em combustível.

Tabela 11 – Estimativo do consumo de combustível com sistema original

Sistema original com descarga de 50% (Período de 4 anos)						
Consumo (L/h)	Valor do combustível	Horas de uso diário	Gasto com combustível diário	Estimativa em dias	Total de horas	Gastos com combustível
2,8	R\$ 5,89	4	R\$ 65,97	240	960	R\$ 15.832,32

Fonte: Autoria própria

Segundo a Tabela 11, a utilização do barco em quatro anos custaria ao dono quase R\$16.000,00 em combustível apenas para manter o banco de baterias em carga especificada. Considerando os problemas de descargas profundas das baterias e o uso descontrolado dos motores para recarga das mesmas, outros problemas aparecem, gastos como renovação do banco de baterias e substituição de equipamentos eletrônicos podem ser mais frequentes.

Tabela 12 – Estimativo do consumo de combustível com energia fotovoltaica

Sistema fotovoltaico instalado com descarga de 50% (Período de 4 anos)						
Consumo (L/h)	Valor do combustível	Horas de uso diário	Gasto com combustível diário	Estimativa em dias	Total de horas	Gastos com combustível
2,8	R\$ 5,89	2	R\$ 32,98	240	480	R\$ 7.916,16

Fonte: Autoria própria

A Tabela 12 apresenta um sistema com energia solar fotovoltaica implantado com resultados baseado em quatro anos como no exemplo anterior. Comparando as tabelas, pode-se observar a economia proporcionada pelo sistema fotovoltaico. O barco no seu sistema original tem um gasto próximo de R\$16.000,00 já um barco equipado com energia solar fotovoltaica gastaria no mesmo período menos de R\$8.000,00, tendo-se o dobro do valor economizado.

Considerando os valores apresentados é possível ter um *payback* estimado comparando o sistema original com o sistema fotovoltaico, sem considerar gastos com manutenção de bateria e equipamentos que acabam se tornando muito relativos. Os gastos com combustíveis para partida do motor e utilização do alternador para fins de carregamento da bateria em um período de quatro anos, é possível observar uma economia em média de R\$8.000,00, valor superior ao investimento. Neste caso, o investimento se pagou em pouco menos de quatro anos, porém outros fatores não foram considerados (revisão do motor, baterias e equipamentos) podendo tornar o investimento em energia fotovoltaica ainda mais viável economicamente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar, comparar e discutir a viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico em uma embarcação, em específico barco de recreação onde usualmente há pouco aproveitamento de energia limpa. Este também apresenta resultados para esclarecer benefícios, malefícios e viabilidade desse projeto.

Quando se trata de aproveitamento máximo de rendimento na geração, pode-se afirmar que uma embarcação não seria a melhor opção para instalação de módulos fotovoltaicos, pois o ângulo de instalação do mesmo afeta diretamente no rendimento. A embarcação por ser um objeto móvel, poder estar em vários lugares e várias posições, não tem a possibilidade de alcançar a angulação ideal dos módulos por isso a melhor opção é a instalação horizontal. Mesmo com esse empecilho os resultados mostram que é possível sim ter um projeto bem instalado e com eficiência. A hipótese foi instalar um sistema que não altere o projeto do barco e que não atrapalhe esteticamente mantendo o barco o mais original possível.

Por tratar de um mercado bastante valorizado e de alto poder aquisitivo dos proprietários, muitas vezes eles optarão por um gerador a combustão atendendo toda sua demanda elétrica sem problema algum. Porém, a implementação do sistema fotovoltaico ajuda a perceber que muitas vezes o barco se torna mais sustentável, com a “saúde” do sistema elétrico não precisando de um gerador dependendo do perfil de utilização da embarcação. Pode-se considerar que um gerador é o modo mais prático de manusear o sistema elétrico de um barco, porém a hipótese foi demonstrar o quanto um sistema fotovoltaico pode ser benéfico ao sistema como um todo, evitando partidas constantes do motor, descargas profundas que danificam as baterias e a queima de equipamentos eletrônicos.

Muitas embarcações ainda são fabricados sem gerador e exige do proprietário ou marinheiro o conhecimento da utilização correta do sistema elétrico, limitando bastante o uso dos equipamentos. O uso indevido das baterias pode danificar equipamentos elétricos eletrônicos, inclusive a própria bateria reduzindo seu tempo de vida útil. Neste caso, o sistema fotovoltaico se torna ainda mais viável, pois para manter os níveis recomendados de carga das baterias, precisaria-se acionar o motor (ou gerador) muitas vezes em um período de 24 horas. Já, com os módulos

instalados, como demonstrados nos cálculos simplificados, reduzir-se-ia pela metade a utilização do motor. Considerando os gastos de combustível um investimento em energia fotovoltaica, o payback seria em praticamente quatro anos se o barco for utilizado 60 (1440 horas) dias no ano.

Na hipótese em que o barco é utilizado como forma de renda (aluguel), o resultado foi ainda melhor, pois a utilização da carga disponível da bateria foi apenas de 10%. Com isso, o tempo de vida útil da bateria é o melhor possível. Neste caso, o payback é maior, pois a utilização do barco é menor, porém os riscos de danificar um equipamento eletrônico se torna menor, trazendo mais tranquilidade ao proprietário e maior autonomia a bordo.

Ao considerar o perfil do proprietário que necessite de um gerador e este gerador seja bem utilizado, a sugestão é a instalação de um módulo solar fotovoltaico de menor potência. Este painel poderá ser instalado no barco ou até mesmo na capa de proteção, em períodos que o barco se encontra guardado (principalmente no inverno), para que as baterias não sofram com descargas profundas.

O uso de energia solar fotovoltaica no cenário náutico é de extremo valor, basta considerar um dia de verão ensolarado no litoral brasileiro e ver o número de embarcações que existe. É o tipo de lazer que combina com geração solar, pois muitas vezes o consumo será instantâneo.

Como sugestões futuras é possível ampliar o estudo, com o aprofundamento das questões técnicas e financeiras analisadas, assim como a análise da implementação de um sistema real.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **O avanço da energia solar**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/o-avanco-da-energia-solar/>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- AMÉRICA DO SOL. **Potencial solar no Brasil**. Disponível em: <https://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>. Acesso em: 13 mar.2021.
- ATLAS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>. Acesso em: 15 mar.2021.
- BORTOLOTO, Valter A. *et al.* **Geração de energia solar on grid e off grid**. In: 6ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu 21 a 27 de outubro de 2017, Botucatu–São Paulo, Brasil: FATEC 2017. p. 2-3-4.
- CALDER, Nigel. **Mecânica e manual elétrico**. 4º ed. Local de publicação: Marinha internacional, 2015.
- CANAL BIOENERGIA. **Energia fotovoltaica tem redução nos custos de implementação**. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br/fonte-de-energia-fotovoltaica-cresce-e-tem-custos-de-implantacao-reduzidos/>. Acesso em: 09 mar.2021.
- CARRIJO, Rebeca Mendes. **ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UMA EMBARCAÇÃO DAY CHARTER**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. CASTRO, Rui. **Introdução a energia fotovoltaica**. 2002 Universidade Técnica de Lisboa Instituto, Lisboa, 2002.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 1, 2007, Fortaleza, Vale do Rio dos Sinos. **BATERIAS EM SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS**. Fortaleza, Vale do Rio dos Sinos: Associação Brasileira de Energia Solar, 2007.
- KODJA, Guilherme. **Teste Schaefer 770: Uma lancha moderna que combina conforto, beleza e desempenho**. Disponível em: <https://www.nautica.com.br/teste-schaefer-770/>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- LOMEU, Gustavo dos S. **Comparação entre fornecimento de energia convencional, com sistema fotovoltaico conectado a rede, parcialmente ligado e desconectado da rede**. 67f. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/156661/000901002.pdf?sequenc e=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 mar. 2021.
- MALLON, Kevin R.; ASSADIAN, Francis; BO, Fu. **Analysis of on-board photovoltaics for a battery electric bus and their impact on battery lifespan**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318292540_Analysis_of_On-Board_Photovoltaics_for_a_Battery_Electric_Bus_and_Their_Impact_on_Battery_Lifespan. Acesso em: 27 nov. 2021.

MARCH, Carolina. **O sol nasce para todos (No Brasil, ainda mais intenso)**. Disponível em: <https://www.revistanoi.com.br/colunistas/carolina-marchi/o-sol-nasce-para-todos-no-brasil-ainda-mais-intenso.html>. Acesso em: 15 mar.2021.

NÁUTICA. Bateria: **A principal fonte de energia a bordo**. Disponível em: <https://www.nautica.com.br/bateria-a-principal-fonte-de-energia-a-bordo/>. Acesso em: 13 mar.2021

NAVARRO, Leonardo C. **Sistema de geração e distribuição de energia elétrica em uma embarcação de suporte as plataformas de perfuração**. 83f. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014375.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.

OLIVEIRA, Mauricio Aguilar Nepomuceno, SUEMITSU, Walter Issamu. **Uma análise do desenvolvimento dos barcos**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321349766_Uma_Analise_do_Desenvolvimento_dos_Barcos_Solares. Acesso em: 13 mar. 2021.

PAULSON, Midhu, CHACKO, DR. Mariamma. Marine Photovoltaics: A review of research and developments, challenges and future trends. International Journal. 2019. Research volume 8, issue 09.

SALES, Bruna. **Embarcando na história dos barcos**. Disponível em: <https://www.bombarco.com.br/comunidade/noticias/embarcando-na-historia-dos-barcos>. Acesso em: 20 mar. 2020.

SILVEIRA, Igor. **Avançados e luxuosos equipamentos tomam conta das águas brasileiras**. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/tecnologia/2010/03/05/interna_tecnologia,177632/embarcacoes-com-os-mais-avancados-e-luxuosos-equipamentos-tomam-conta-das-aguas-brasileiras.shtml. Acesso em: 12 mar.2021.

BLUE SOL ENERGIA SOLAR. **Sistema fotovoltaico off grid**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-off-grid-isolado-voce-acha-que-sabe-tudo/>. Acesso em: 16 mar.2021.

CHAGAS, Marcos W. P. **Novas tecnologias para avaliação de baterias**. 2007. 97f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) – Instituto Lactec, Curitiba, 2007.

PEGORETTI, IVAN. **Manual de Instalação e Operação Moura Estacionaria**: Manual técnico Moura VRLA série MVA. Local de publicação: Editora, 03 de Janeiro de 2020, P.45

SAAD, Marcelo da C. **Controlador de carga e descarga de baterias, microcontrolador com PIC, com aplicação em sistemas de fornecimento de energia em geral, incluído sistemas fotovoltaicos**. 53f. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação) – Universidade

Católica, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/20880/20880.PDF>. Acesso em 17 out. 2022.

RIBEIRO, Giancarlo F. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid em um motorhome**. 20f. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Curso superior de engenharia elétrica) – Centro universitário de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/15114/1/Artigo_Giancarlo_Ribeiro-%20Final.pdf. Acesso em: 05 abr. 2022.

Gerador panda 5000i, kase. 1 fotografia, color. <https://www.keise.com.br/gerador-maritimo-fischer.html>. Acesso em: 20 mar. 2023

SUPORTE PARA MÓDULO FOTOVOLTAICO, Aliexpress. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005002904559383.html>. Acesso em 6 jan. 2023.