

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECÂNICA

CAIO FERNANDO STOV
EDUARDO DOS SANTOS LOUREIRO
ELMAR BRITO SAMPAIO
SAORI MAYARA ETO

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR PARA
BARCAÇA DE TRANSPORTE DE CELULOSE**

Aracruz

2022

CAIO FERNANDO STOV
EDUARDO DOS SANTOS LOUREIRO
ELMAR BRITO SAMPAIO
SAORI MAYARA ETO

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR PARA
BARCAÇA DE TRANSPORTE DE CELULOSE**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, Curso de
Engenharia Mecânica, Faculdades Integradas
de Aracruz - FAACZ.

Orientador: Harerton Dourado

Aracruz

2022

CAIO FERNANDO STOV
EDUARDO DOS SANTOS LOUREIRO
ELMAR BRITO SAMPAIO
SAORI MAYARA ETO

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR PARA
BARCAÇA DE TRANSPORTE DE CELULOSE**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, Curso de
Engenharia Mecânica, Faculdades Integradas
de Aracruz - FAACZ.

Aprovado em 14 de dezembro de 2022

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Harerton Dourado
Faculdade Integradas de Aracruz
Orientador

Prof. Me. Hipólito José da S. G. Meira
Faculdade Integradas de Aracruz

Prof. Dr. Robson Sarmiento
Faculdade Integradas de Aracruz

RESUMO

Este projeto tem como objetivo realizar um estudo de viabilidade estrutural e econômico de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica, que seria instalado em uma barcaça não tripulada, que atua especificamente no transporte de celulose proveniente de uma fábrica. O presente trabalho buscou analisar a área possível para instalação de painéis fotovoltaicos e sua capacidade produtiva, sendo verificados também os custos inseridos na implantação, com principal objetivo de definir a viabilidade econômica, custos relacionados à implantação, manutenção e em quanto tempo o investimento seria recuperado, para assim ter certeza de que o investimento é viável. Foi realizado um estudo de caso para analisar a capacidade produtiva de energia elétrica, a partir de um levantamento de dados relacionados ao consumo, buscando entender a possibilidade de autonomia energética da embarcação. Os dados econômicos foram analisados seguindo algumas teorias econômicas: *Payback*, Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL).

Palavras-chave: Viabilidade econômica. Energia solar. Geração de energia. Capacidade produtiva. Indicadores

ABSTRACT

This project aims to carry out a structural and economic feasibility study of a photovoltaic solar energy generation system, which would be installed on an unmanned barge, which operates specifically in the transport of pulp from a factory. The present work sought to analyze the possible area for the installation of photovoltaic panels and its productive capacity, also verifying the costs inserted in the implantation, with the main objective of defining the economic viability, costs related to the implantation, maintenance and how long the investment would be recovered, to make sure that the investment is viable. A case study was carried out to analyze the productive capacity of electric energy, based on a survey of data related to consumption, seeking to understand the possibility of energy autonomy of the vessel. The economic data were analyzed following some economic theories: Payback, Internal Rate of Return (IRR) and Net Present Value (NPV).

Keywords: Economic viability. solar energy. Power generation. Productive capacity. indicators

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Irradiação solar diária média

Gráfico 2 – Irradiação solar no plano inclinado

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Convenções Internacionais sobre poluição do meio marinho

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Localidades aproximadas da embarcação

Tabela 2 – Irradiação solar diária mensal em diferentes ângulos

Tabela 3 – Descrição de equipamentos consumidores de energia na embarcação

Tabela 4 – Dados retirados do catálogo do fabricante do inversor

Tabela 5 – Energia média gerada em cada módulo no dia

Tabela 6 – Energia média gerada por cada módulo por mês e total anual.

Tabela 7 – Energia total gerada na instalação da barcaça de celulose por mês e total anual

Tabela 8 – Tempo de operação carga/descarga e consumo total da embarcação

Tabela 9 – Orçamento empresa Ecori com utilização de microinversores – Lista de Materiais

Tabela 10 – (Continuação) Orçamento empresa Ecori com utilização de microinversores – Lista de Materiais

Tabela 11 – Orçamento empresa Ecori com utilização de microinversores – Soma de todos os itens do orçamento

Tabela 12 – COELBA - Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia S.A e EDP (valores de tarifas fornecidos, com base no ano de 2022):

Tabela 13 – Valor da tarifa de energia elétrica nos próximos anos

Tabela 14 – Geração com depreciação e perda e Economia fatura de Energia Elétrica

Tabela 15 – Cálculo do VPL da Fortlev e Ecori

Tabela 16 – Cálculo da TIR da Fortlev e Ecori

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de energia híbrido FV/diesel

Figura 2 – Volumes importados por fabricante

Figura 3 – Sistema de rastreamento de embarcações

Figura 4 – Linhas de módulos fotovoltaicos

Figura 5 – Vista da embarcação

Figura 6 – Medição física da área total do convés superior

Figura 7 – Visualização das rotas de acesso e área livre

Figura 8 – Diagrama Mecânico da Placa Solar

Figura 9 – Desenho técnico disposição de placas (convés superior)

Figura 10 – Desenho técnico disposição de placas (convés superior)

Figura 11 – Orçamento empresa Fortlev Solar com utilização de inversores – Lista de Materiais

LISTA DE SIGLAS

ISE – Índice de Sustentabilidade

CEO – Chief Executive Officer

IMO – International Maritime Organization

ONU – Organização das Nações Unidas

MARPOL – Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios

GEE – Gases do Efeito Estufa

FV – Fotovoltáico

GPS – Global Positioning System

RADAR – Radio Detection and Ranging

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CPF – Cadastro de Pessoas Físicas

CNPJ – Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas

Gerar – Geração de Energias Renováveis do Espírito Santo

Absolar – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

VPL – Valor Presente Líquido

TIR – Taxa Interna de Retorno

ES – Espírito Santo

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

LISTA DE ABREVIATURAS

BB – Bombordo

BE – Boreste

Circ. – Circular

S – Sul

O – Oeste

N – Norte

Pot. Nom. – Potência nominal

Pot. Abs. – Potência absoluta

Bb – Bomba

Serv. – Serviço

Vent. Compto – Compartimento ventilação

Us – Unidades

Cons. – Consumo

S. Gerais – Serviços gerais

Jan – janeiro

Fev – fevereiro

Mar – março

Abr – abril

Mai – maio

Jun – junho

Jul – julho

Ago – agosto

Set – setembro

Out – outubro

Nov – novembro

Dez – dezembro

kWp – kilowatt pico

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 11 |
| 3 OBJETIVOS | 13 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL | 13 |
| 3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO | 13 |
| 4 REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 4.1 LEGISLAÇÃO E CONVENÇÕES INTERNACIONAIS | 14 |
| 4.2 TIPOS DE RECURSOS RENOVÁVEIS E DISPONIBILIDADE PARA NAVEGAÇÃO..... | 16 |
| 4.3 ENERGIA SOLAR E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS | 16 |
| 4.4 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS OU HÍBRIDOS PARA EMBARCAÇÕES | 17 |
| 4.5 REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA | 20 |
| 5 METODOLOGIA | 22 |
| 5.1 TIPO EMBARCAÇÃO E ÁREA DISPONÍVEL | 22 |
| 5.2 ESCOLHA DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA PARA O PROJETO | 23 |
| 5.3 RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE | 24 |
| 5.4 CONSUMO TOTAL/PARCIAL DA EMBARCAÇÃO | 28 |
| 5.5 DISTÂNCIA MÍNIMA ENTRE AS FILEIRAS E DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS..... | 29 |
| 5.6 NÚMERO TOTAL DE PAINÉIS SOLARES E POTÊNCIA TOTAL..... | 31 |
| 5.7 DETERMINAÇÃO DE INVERSOR/MICROINVERSOR DE FREQUÊNCIA | 31 |
| 5.8 DETERMINAÇÃO DE CONEXÃO ELÉTRICA ENTRE OS MÓDULOS..... | 32 |
| 5.9 ENERGIA GERADA | 35 |
| 5.10 ANÁLISE TÉCNICA E VIABILIDADE FINANCEIRA | 36 |
| 5.10.1 PAYBACK | 36 |

| | |
|--|----|
| 5.10.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL) | 38 |
| 5.10.3 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR) | 38 |
| 5.10.4 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE | 39 |
| 6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS | 40 |
| 6.1 VIABILIDADE ESTRUTURAL | 40 |
| 6.1.1 ÁREA DISPONÍVEL | 40 |
| 6.1.2 DETERMINAÇÃO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO | 42 |
| 6.1.3 RADIAÇÃO SOLAR MÉDIA | 43 |
| 6.1.4 POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS E DISTANCIAMENTO MÍNIMO ENTRE FILEIRAS | 43 |
| 6.1.5 NÚMERO TOTAL DE PAINÉIS SOLARES E POTÊNCIA TOTAL | 44 |
| 6.1.6 DETERMINAÇÃO DO INVERSOR/MICRO INVERSOR DE FREQUÊNCIA ... | 45 |
| 6.1.7 DETERMINAÇÃO DO ESQUEMA DE CONEXÃO ELÉTRICA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS | 46 |
| 6.1.8 ENERGIA GERADA | 47 |
| 6.1.9 CONSUMO TOTAL DA EMBARCAÇÃO | 49 |
| 6.2 RESULTADOS DO ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA | 51 |
| 6.2.1 PAYBACK DESCONTADO | 54 |
| 6.2.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL) | 57 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 61 |
| ANEXO I | 64 |
| ANEXO II | 65 |

1 INTRODUÇÃO

Em um projeto a ser aplicado no âmbito industrial devem ser considerados inúmeros parâmetros que podem influenciar na viabilidade econômica, tornando uma ideia rentável ou não, de modo que os custos sejam compensados com os benefícios a curto, médio e longo prazo. Para isso, são realizadas análises, sendo necessária uma avaliação minuciosa das informações disponíveis com objetivo de apresentar uma ideia e proposta que justifique um investimento.

Como bem sabemos, o mundo está em constante mudança e uma das maiores preocupações das nações são as mudanças climáticas relacionadas a emissão de gases do efeito estufa, que provocam catástrofes de tempos em tempos associadas a grandes períodos de seca, dentre outras. Em setembro de 2021, os reservatórios das regiões tiveram o pior desempenho dos últimos 91 anos, quando possuíam apenas 16% do volume total. (JANONE, 2022, CNN).

Tudo isso nos leva ao estudo de alternativas viáveis por fontes renováveis de energia que possam ter efeito a longo prazo, aumentando a oferta de energia elétrica e ao mesmo tempo diminuindo a liberação de gases poluentes no meio ambiente.

Considerando o âmbito financeiro de uma determinada empresa, em 2005, o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) foi uma iniciativa pioneira na América Latina, voltada para a construção de uma carteira de ações de companhias comprometidas com a sustentabilidade, ou seja, os investidores estão buscando empresas que se comprometem com as questões ambientais, sociais e de gestão corporativa que afetam diretamente o desempenho sustentável da empresa. O que possibilita financiamento de projetos voltados para fontes de energia limpa em diversos nichos de investimento, como por exemplo a navegação mundial (ORSATO, 2003, FGV EAESP).

A cidade de Aracruz é favorecida por investimentos no setor industrial de Papel e Celulose, e está em grande expansão no mercado da Indústria de Fabricação Naval

e Logística aquaviária. Baseado na grande influência e representatividade que essas determinadas indústrias têm para o mercado estadual, brasileiro e até mundial, e é óbvio que existe essa preocupação com a sustentabilidade, fontes de energia limpa, proteção com o meio ambiente, redução de emissão de gases poluentes na atmosfera, entre outros. Isso faz influenciar toda a cultura sustentável em Aracruz e nos municípios vizinhos, baseado que os próprios colaboradores atuantes moram na cidade e as empresas prestadoras de serviços precisam se adequar a normativa da empresa para realizar a prestação de serviço de forma adequada.

Realizar um estudo de um caso real de viabilidade econômica para implantação de células fotovoltaicas em uma barcaça de transporte de celulose é ainda mais interessante, pois envolve a possível utilização de uma energia renovável e limpa que substituiria parte da energia que é fornecida pela rede elétrica. Porém é um grande desafio desenvolver um sistema de energia fotovoltaica em embarcações de médio e grande porte, principalmente pela falta de espaço, ou seja, área livre para implementação de placas sem impactar a capacidade máxima de transporte da embarcação.

Obviamente é buscado uma compensação satisfatória com relação ao investimento em placas solares de modo que possa gerar uma economia na utilização da energia elétrica fornecida pelas companhias de energia.

O projeto não levou em consideração os estudos de estabilidade da embarcação devido ao acréscimo de peso, além da influência das intempéries com a nova estrutura visando uma perda de eficiência e aumento consumo em viagem, pois o trabalho teve como objetivo analisar somente a viabilidade econômica para fins acadêmicos.

1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização de barcaças no ramo de celulose foi um plano logístico muito ambicioso, substituindo a utilização de carretas por navios-barcaças, onde o transporte por meio

da cabotagem representa uma redução de custos de 20% em relação ao modo rodoviário (FIGUEIREDO, 2008).

A relevância desse estudo está em ter um ganho ainda maior na utilização de barcas, aproveitando uma área existente e inutilizada para geração de energia por intermédio do sistema fotovoltaico.

Além de trazer um ganho financeiro para a empresa, o estudo busca contribuir na utilização de fontes alternativas de energia, que representa uma busca incessante das empresas no cenário atual, permitindo o comprometimento com a sustentabilidade, preservação do meio ambiente e com a transição energética do planeta.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar um estudo de viabilidade econômica para implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica para alimentação total ou parcial de energia elétrica de uma barcaça de transporte de celulose.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar as necessidades de fornecimento de energia elétrica para uma operação típica com a barcaça durante o período de permanência no porto;
- Determinar os parâmetros necessários para a instalação de um sistema de geração de energia fotovoltaica;
- Determinar os equipamentos e a estrutura necessária para o sistema de geração e abastecimento de energia elétrica para a barcaça;
- Avaliar a viabilidade financeira do sistema proposto.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 LEGISLAÇÃO E CONVENÇÕES INTERNACIONAIS

De acordo com a agente de carga DC Logistics Brasil (DC Brasil, 2020), a *International Maritime Organization*, em tradução, significa Organização Marítima Internacional. Conhecida apenas como IMO, a agência é gerenciada pela ONU e visa regulamentar os padrões de proteção e segurança no transporte marítimo mundial.

Entre as incumbências da IMO, também está a prevenção da poluição dos oceanos causada pelos navios, o papel da entidade é contribuir para que as Nações Unidas consigam cumprir os seus principais objetivos de desenvolvimento sustentável

Por meio de ações que visam estimular o investimento em eficiência e modernização, a IMO estabelece regras internacionais para a operação de embarcações.

O objetivo é evitar que eventuais limitações financeiras levem os armadores a optar por soluções que comprometam a segurança de suas operações ou ainda que afetem o meio ambiente.

Como os gases emitidos pelos navios contribuem para a poluição mundial do ar e do mar, os navios estão a enfrentar um número crescente de normas e regulamentos, bem como apelos voluntários dos legisladores internacionais, nacionais e locais (EYRING, 2010).

Quadro 1 – Convenções Internacionais sobre poluição do meio marinho

| Título | Observações |
|--|--|
| Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento do 03 a 14 de junho de 1992 (Rio de Janeiro). | Elaboração da "Agenda XXI", cujo capítulo 17 é denominado por "Proteção dos oceanos, de todos os tipos de mares - inclusive de mares fechados e semifechados - e das zonas costeiras, e proteção, uso racional e desenvolvimento de seus recursos vivos". Caracterização de novas abordagens de gestão e desenvolvimento marinho e costeiro. Cooperação em atividades empreendidas. Medidas adicionais e observação do meio marinho. |
| Decisão do Conselho 2002/358/CE de 25 de abril (Protocolo de Kyoto). | Estabelece objetivos vinculativos e quantificados de limitação e redução dos GEE para os estados membros. |
| Dec. 59/97, de 31 de outubro (Convenção para a Proteção do Meio Marinho do Atlântico Nordeste – OSPAR). | "As partes contratantes tomam todas as medidas possíveis para prevenir e combater a poluição, bem como as medidas necessárias à proteção da zona marítima contra os efeitos prejudiciais das atividades humanas de forma a salvaguardar a saúde do homem e a preservar os ecossistemas marinhos." |
| Dec. 25/87, de 10 de julho (Convenção para prevenção da poluição por navios. Convenção MARPOL 73/78). | Anexo VI: Abrange a poluição atmosférica por navios causadas pela emissão de substâncias que destroem a camada de ozônio. Estabelece limites para as emissões de SO _x e NO _x nos gases de escape dos navios e proíbe a emissão deliberada de substâncias que destroem a camada de ozônio. |
| Dec. 67-A/97, de 14 de outubro (Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar – Montego Bay). | Obrigação de proteger e preservar o meio marinho. Medidas para prevenir, reduzir e controlar a poluição do meio marinho. |
| Decreto do Governo nº 79/83, de 14 de outubro de 1983, D.R. 237 Série (Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar – SOLAS 74). | Especifica os padrões mínimos para construção, equipamento e operação de navios, compatíveis com a sua segurança. |

Fonte: Adaptado de Nunes (NUNES, 2014)

Cumprindo com a Convenção MARPOL e outros instrumentos da IMO, e com as ações que muitas empresas já adotam para além dos requisitos obrigatórios, pode-se limitar o impacto sobre o meio ambiente global, causado pelo transporte marítimo durante as suas operações. A melhoria das eficiências pode reduzir o consumo de combustível, economizar dinheiro e diminuir os danos ambientais de cada navio.

Enquanto o resultado das medidas individuais pode parecer pequeno, o efeito coletivo em toda a frota pode ser significativo (MEPC. 1/Circ. 683).

4.2 TIPOS DE RECURSOS RENOVÁVEIS E DISPONIBILIDADE PARA NAVEGAÇÃO

As principais fontes alternativas aos combustíveis fósseis, disponíveis, incluem o vento, o sol, o calor da terra, as marés, as ondas e a biomassa, entre outros. Os sistemas de conversão destas fontes em energia elétrica podem ser pequenos, grandes, isolados, ligados à rede, ou sistemas híbridos (REHMAN et al., 2012).

A energia eólica e a solar são onipresentes, disponíveis gratuitamente e “amigas” do ambiente (NEMA et al., 2009).

A produção de eletricidade a partir de recursos renováveis, como o sol ou o vento não emite GEE. No entanto, é consumida determinada quantidade de energia durante a produção e o transporte dos componentes do sistema FV e eólico, assim como durante a fase de desativação.

As emissões consequentes destes processos dependem das tecnologias utilizadas, da distância percorrida entre a fábrica e o local do sistema de energia, e do tipo de transporte utilizado (DUFO-LÓPEZ et al., 2011).

4.3 ENERGIA SOLAR E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A energia solar possuía um custo muito elevado logo no início de sua implantação, o investimento se tornava competitivo somente em algumas aplicações especiais, como na produção de energia elétrica no espaço, entretanto, com a crise do petróleo em 1973, gerou-se um maior investimento em novas possibilidades energéticas e um avanço tecnológico no setor de energia solar, viabilizando a instalação de sistemas fotovoltaicos em aplicações terrestres (CÂMARA, 2011).

A energia FV produzida não é regular, apresentando picos de altos e baixos devido à flutuação da radiação solar provocada pelas nuvens. A média da energia elétrica flutuante do painel FV pode ser obtida através da carga ou descarga da bateria, quando a capacidade de armazenamento é suficiente. É desejável que o tamanho da bateria seja tão mínimo quanto possível do ponto de vista dos custos, do espaço que ocupa e do peso (PARK, 2001).

A energia solar fotovoltaica é uma ótima alternativa para a geração e armazenamento de energia elétrica, pois as suas características modulares facilitam o transporte e instalação em locais de difícil acesso, como telhados, outra característica positiva é a necessidade de pouca manutenção e possui um tempo de vida médio de 20 anos (REIS, 2010).

Há uma necessidade de maior incentivo para a sua utilização em larga escala, de modo a diversificar a matriz energética de uma região, diminuindo a dependência de outras fontes de energia, como as provenientes de hidrelétricas ou termelétricas.

4.4 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS OU HÍBRIDOS PARA EMBARCAÇÕES

De acordo com Park (PARK, 2001), o uso de energia FV em navios foi estudado em Osaka, no Japão, onde investigadores propuseram um sistema híbrido FV/diesel para um pequeno navio. O objetivo de aplicar este tipo de sistema é minimizar o consumo de combustível e, através de armazenamento da energia em baterias, o motor a diesel mantém o output constante com elevada eficácia, apesar da flutuação da potência FV.

Comprovaram que um grande sistema FV e uma pequena bateria tende a ter inferior taxa de utilização dos recursos FV. Se a dimensão do painel for adequada, e a bateria possuir uma elevada capacidade de armazenamento, a radiação solar é aproveitada ao máximo. Por outro lado, um sistema com um pequeno subsistema FV tende a ser pior no consumo de combustível. Concluíram que os sistemas com painéis FV de

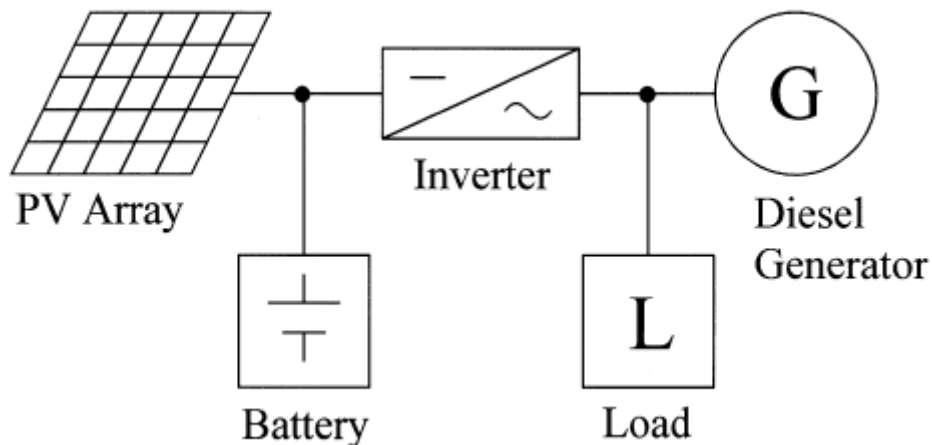
maior potência e baterias com maior capacidade de armazenamento podem mesmo prescindir do consumo de combustível.

No sistema híbrido projetado para o navio em Osaka, uma das desvantagens do sistema FV é a flutuação imprevisível da energia elétrica produzida, causada pela radiação solar instável.

A disposição dos componentes principais – painel FV (PV Array), gerador a diesel (Diesel Generator), bateria (Battery) e inversor (Inverter) – do sistema de energia considerado é apresentada na figura 1. Com esta disposição, supõem-se determinadas condições:

- A potência do output do gerador a diesel de saída pode ser controlada;
- A bateria pode ser carregada e descarregada em qualquer altura, se necessário;
- O armazenamento de energia da bateria pode ser conhecido

Figura 1 – Sistema de energia híbrido FV/diesel



Fonte: Park (2001).

De acordo com Lee (2013), no estudo em que o navio é utilizado no transporte entre a ilha de Geoje e o continente, o protótipo do navio “verde” consiste num sistema de

energia FV, um motor a diesel, baterias de armazenamento de energia, um sistema de controle híbrido, um inversor autónomo; e é ligado à rede.

Os objetivos deste protótipo são minimizar o consumo de combustível, operando em modo individual e, num futuro próximo, apoiar a rede elétrica, ligado à rede do continente e da ilha.

A potência do sistema híbrido é 3.2 kW para assegurar as aplicações eléctricas do navio, tais como iluminação, GPS, sistemas de comunicação e vídeo. Como tal, foram instalados painéis FV com 3.2 kW na parte traseira de um navio convencional de passageiros. Neste, estão instalados dois geradores a diesel (20kW) para satisfazer as ocasionais cargas de pico do motor do guincho que puxa a âncora do navio. Contudo, a potência das aplicações eléctricas de base do navio é inferior a 3 kW, que pode ser completamente assegurada pelo sistema FV. Foi também instalado um banco de baterias no porão do navio, considerando a estabilidade da embarcação, visto que esta é uma das maiores preocupações para um navio deste tipo.

Durante o teste de alteração do modo FV para o modo diesel e vice-versa, constatou-se que demorou entre 8 à 10 segundos para o gerador alcançar o funcionamento normal. No entanto, a energia proveniente das baterias suportou a estabilidade de transição, incluindo necessidades energéticas críticas, tais como o GPS e o RADAR.

Dos resultados da estratégia de operação, da avaliação de estabilidade e da análise económica, os autores obtiveram as seguintes conclusões:

- A instalação do painel FV tem que ter em consideração o custo de investimento, a manutenção e resistência ao vento;
- A alteração do modo independente para o modo ligado à rede (e vice-versa) pode ser controlada automaticamente ou manualmente pelo comandante do navio;
- O navio híbrido irá diminuir a dependência em combustíveis fósseis;
- Este tipo de navio tem um elevado potencial para ser utilizado em países com ilhas, especialmente atualizando navios existentes com sistemas apenas a diesel.

Basicamente a instalação de energia fotovoltaica pode ser definida por dois sistemas, sendo o sistema *on-grid*, toda a energia gerada é conectada e descarregada na rede elétrica. O sistema *off-grid*, diferente do *on-grid* toda a energia gerada pelas placas solares é armazenada em bancos de bateria, tornando o sistema 100% autossustentável.

4.5 REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA

Existe uma regulamentação no país que permite e habilita o consumidor (indústrias e pessoas físicas) a produzir a sua própria energia e pagando apenas uma cota na conta de luz referente a acessibilidade da rede de distribuição.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012), através da Resolução Normativa de nº482 criou um sistema de “créditos de energia”, incentivando a implementação em de sistemas de energia solar e habilitando para que as pessoas e indústrias possam fazer a troca de energia elétrica. O objetivo dessa resolução é de reduzir barreiras para a implementação dessas centrais geradoras “privadas”, desde que sejam utilizadas fontes renováveis de energia.

Podem aderir ao sistema de créditos todos os consumidores que compram energia diretamente da distribuidora, sejam eles pequenos consumidores ou de grandes indústrias, o sistema de energia solar instalado deve estar conectado diretamente à rede elétrica para que seja beneficiado pela compensação de créditos.

A Resolução Normativa de nº 482/12 (ANEEL, 2012) separa as centrais geradoras de acordo com a sua capacidade de produção, abaixo temos algumas possibilidades de instalação de acordo com a capacidade produtiva que são instaladas principalmente em residências:

- Microgeração distribuída: potência menor ou igual a 100 kW.
- Minigeração distribuída: potência maior que 100 kW e menor ou igual a 1 MW.

De acordo com Resolução 482/12 da ANEEL, os grandes consumidores de energia elétrica, principalmente indústrias, é ressaltado que a potência máxima que pode ser instalada é de 5000 kWp, equivalente a uma área de 35000 m² de painéis solares.

A normativa 687/16 da ANEEL veio para atualizar a antiga Resolução com o objetivo de incentivar a instalação de pequenas centrais, quando o consumidor consome menos que a energia produzida, este excedente vai para a rede de distribuição, gerando créditos de energia que poderá ser usado para abater no consumo de energia em algum mês subsequente em que o sistema de energia produza menos. Estes créditos possuem validade de 5 anos, não podendo ser vendidos.

Entretanto, a normativa nº 687 (ANEEL, 2016) também estabelece que esses créditos podem ser transferidos para outros CPFs ou CNPJs, através de cooperativas ou consórcios de pessoas ou empresas, desde que seja previsto em contrato firmado.

A ANEEL ainda afirma que esses incentivos e estímulos a esses centros de geração são justificados devido ao seu baixo impacto ambiental, redução de perdas, diversificação da matriz energética nacional, redução do carregamento das redes e outros inúmeros benefícios.

No Espírito Santo, a Lei do Programa de Geração de Energias Renováveis do Espírito Santo (Gerar) foi sancionada pelo governador em abril de 2021 e prevê incentivos para implementação de centrais de produção de energia elétrica renovável, reduzindo os gases de efeito estufa.

“O Gerar é um programa importante que inclui incentivos tributários na área de energia renovável, protegendo o meio ambiente e gerando empregos e oportunidades.” (Governo do Estado do Espírito Santo, 2021)

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar, 2022), atualmente, o Espírito Santo encontra-se na 17ª posição do ranking estadual de Geração Distribuída. A energia solar no Espírito Santo conta com 282,7 MW de potência instalada.

5 METODOLOGIA

Neste tópico definiu-se um cronograma para a execução do projeto e obtenção de resultados técnicos e financeiros para assim definir a viabilidade do projeto. Utilizamos como forma de metodologia dados definidos de projeto da construção da embarcação, dados reais obtidos através de visitas técnicas além de embasamento teórico com a revisão bibliográfica detalhada sobre o tema.

5.1 TIPO EMBARCAÇÃO E ÁREA DISPONÍVEL

O objeto de estudo foi uma embarcação não tripulada que atua especificamente no transporte de Celulose proveniente de uma empresa produtora de celulose na Bahia, no qual a rota o comboio possui uma rota fixa entre o Porto em Barra do Riacho localizado na orla de Aracruz- ES e o Terminal de Barcaças de Belmonte localizado na Cidade de Belmonte Litoral da Bahia.

O sistema é composto por três barcaças e um empurrador, assim navegando no sistema de comboio simples, ou seja, o empurrador acopla somente em uma barcaça e segue destino ao terminal. A barcaça em específico tem um projeto único e possui somente um porão de carga e uma porta Guilhotina no costado de BE, da qual toda carga é retirada e colocada.

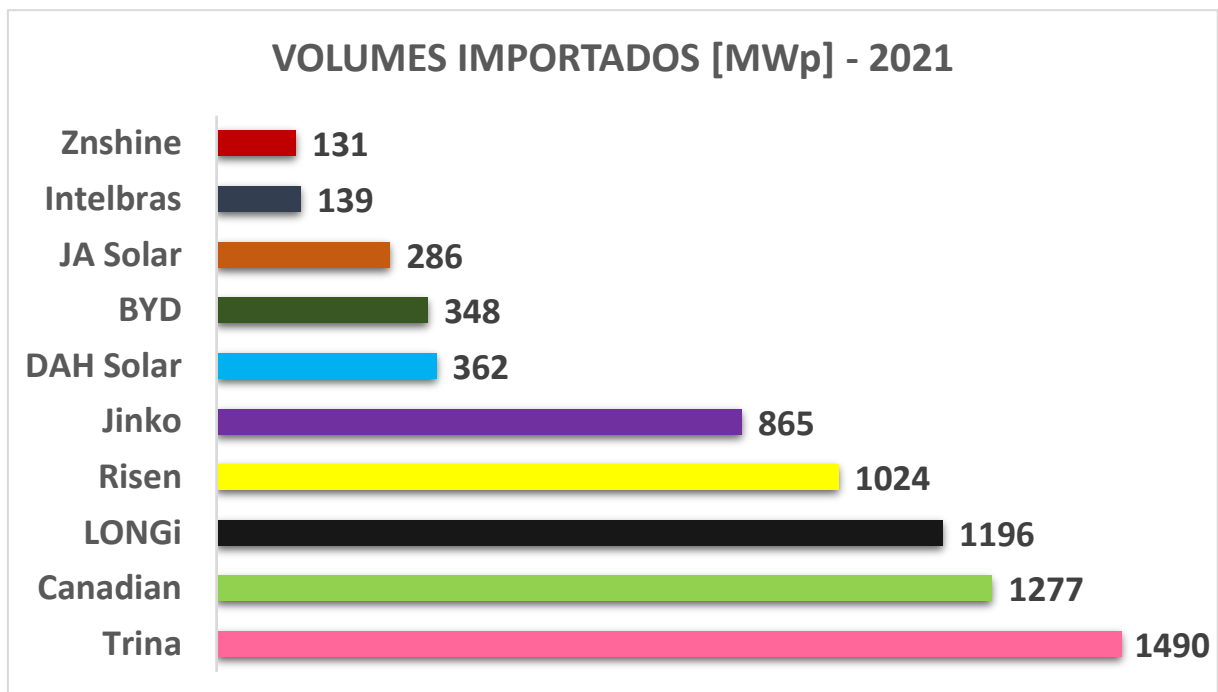
O porão de carga é totalmente fechado, possuindo somente 3 escotilhas de saída de emergência para pessoas no costado de BB, uma escotilha de acesso BE também para acesso de pessoas e uma porta Guilhotina de grande porte para carga e descarga. Pelo fato de o porão de carga ser fechado, a embarcação possui um convés superior ou “teto” da embarcação, esse convés possui somente as rotas de trânsito de pessoas, materiais e equipamentos, contendo assim uma boa área livre para instalação do sistema fotovoltaico.

5.2 ESCOLHA DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA PARA O PROJETO

Para a escolha do módulo fotovoltaico a ser utilizado neste projeto realizou-se uma pesquisa de mercado para identificação dos maiores fabricantes deste tipo de tecnologia no mundo. Realizada tal seleção, verificou-se a cadeia de distribuição ativa no Brasil, a fim de evitar que o módulo seja descontinuado em um período curto, assim como a consulta sobre os fornecedores habilitados para prestarem manutenção técnica nos módulos. Posteriormente foi definido os módulos com uma eficiência maior e componentes elétricos como inversores que tenham um custo-benefício elevado para reduzir os custos de manutenção preventiva e corretiva do sistema.

De acordo com um estudo encomendado pela consultoria de energias renováveis Greener (Greener, 2021), foram apontadas as empresas que mais importaram módulos fotovoltaicos entre os meses de janeiro e novembro de 2021, na qual as 10 primeiras colocadas foram as responsáveis por 81% do total de volumes importados, o que favorece a disponibilidade do produto no mercado interno.

Figura 2 – Volumes importados por fabricante (Top 10 - Módulos Fotovoltaicos)



Fonte: Adaptado de Consultoria de Energias Renováveis Greener (Greener, 2021)

Assim, o grupo definiu a utilização da linha JAM72S30 (JA SOLAR). Devido a essa linha trabalhar com ultra alta potência capazes de gerar acima de 670W com uma configuração monocristalina e células fotovoltaicas de 210 mm, excelente coeficiente de temperatura e uma baixa eficiência de irradiação, entretanto, para ambientes corrosivos essa linha pode não ser a ideal.

É importante destacar que a placa definida conforme *data sheet* não atende os requisitos para utilização em atmosfera agressiva como o ambiente marítimo. Porém o projeto foi realizado para fins acadêmicos não afetando nos objetivos desejados.

5.3 RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE

Segundo Guimarães e Gonçalves (2012), o estudo de irradiação solar no território brasileiro começou com iniciativas do INPE, este estudo teve a finalidade de quantificar a energia irradiada no território brasileiro ao longo do ano.

A partir do banco de dados levantado pelos estudos anteriores, foi criado o programa SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), onde este integra em um único *software* os valores de irradiação diária medida em um plano horizontal no Brasil e no mundo.

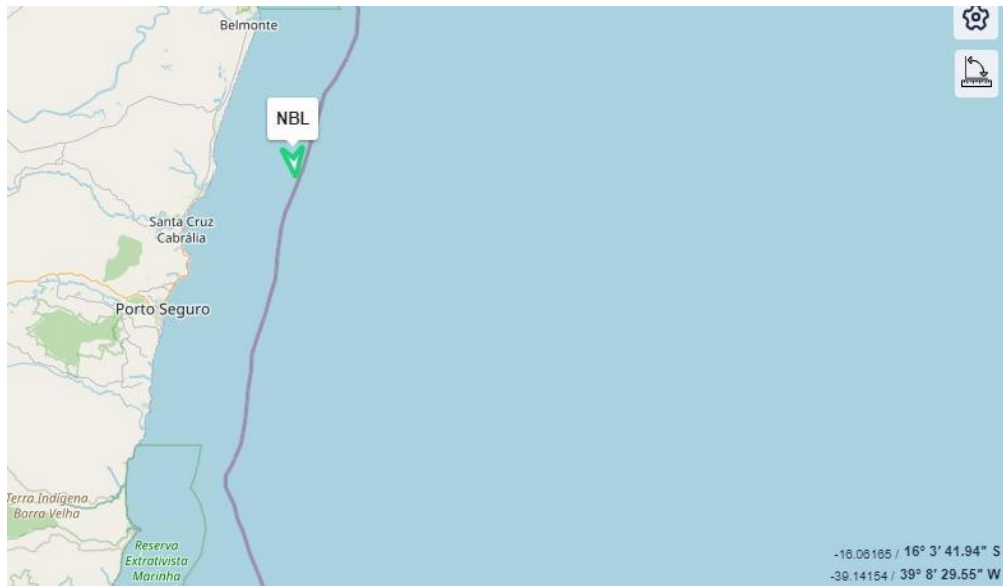
Através do banco de dados do programa *SunData* e SWERA, a interface do CRESESB possibilita encontrar o valor da radiação solar de qualquer local, através das coordenadas que podem ser encontradas no *Google Maps*.

Como nosso estudo baseia-se em uma localização não fixa, foi necessária a utilização do *software* de rastreamento da embarcação utilizado pela empresa em detrimento do *Google Maps*.

Abaixo temos uma imagem exemplificando como, e onde foram coletadas as informações das coordenadas através do sistema de rastreamento de embarcações de uma empresa de cabotagem.

-Coordenadas: -18.303829°S; -39.654324° O

Figura 3 – Sistema de rastreamento de embarcações



Fonte: Empresa de cabotagem (2022)

As informações de coordenadas foram inseridas no banco de dados do programa SunData e SWERA, através da interface do CRESESB, o programa nos apresenta três coordenadas específicas com dados de irradiação de acordo com a proximidade da coordenada coletada no software de rastreamento.

Tabela 1 – Localidades aproximadas da embarcação

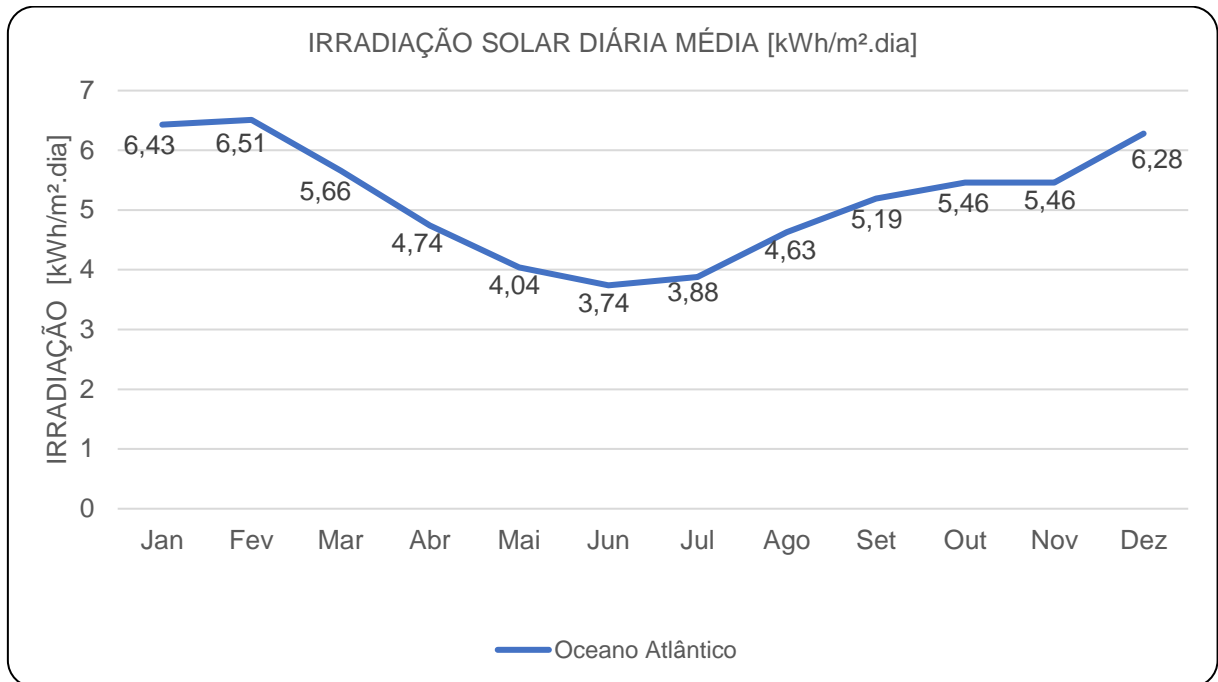
| LOCALIDADES PRÓXIMAS | Latitude [°] | Longitude [°] | Distância [km] |
|----------------------|--------------|---------------|----------------|
| Oceano Atlântico | 18,301° S | 39,649° O | 0,6 |
| Conceição da Barra | 18,301° S | 39,749° O | 10 |
| Oceano Atlântico | 18,401° S | 39,649° O | 10,8 |

Fonte: CRESESB (2022)

As informações de irradiação solar utilizadas no projeto foram coletadas na coordenada localizada a 0,6 km do rastreamento da embarcação. No gráfico

apresentado abaixo temos a irradiação diária média referente a cada mês do ano para a coordenada escolhida.

Gráfico 1 – Irradiação solar diária média



Fonte: CRESESB (2022)

Ainda utilizando a interface do CRESESB é possível coletar dados do cálculo do plano inclinado referente a localização da embarcação.

-Estação: Oceano Atlântico

-Latitude: 18,301° S

-Longitude: 39,649° O

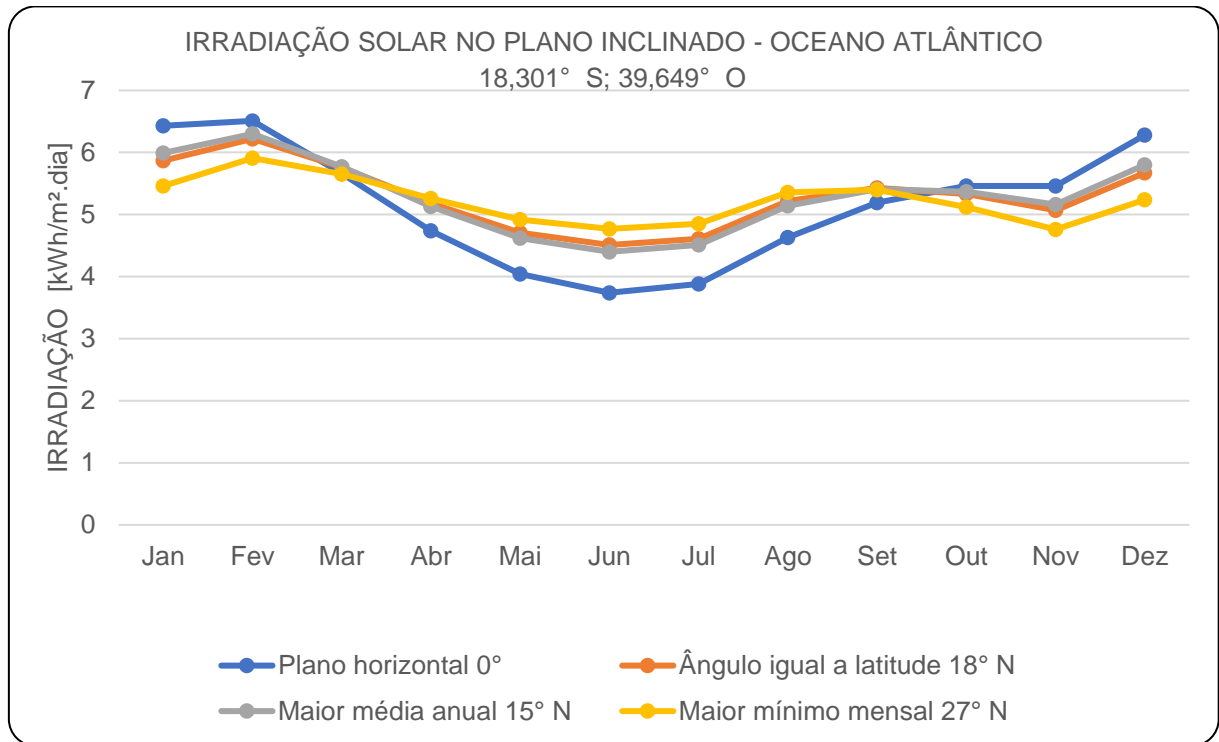
-Distância do ponto de ref. (18,303829° S; 39,654324° O): 0,6 km

Tabela 2 – Irradiação solar diária mensal em diferentes ângulos (irradiação solar máxima destacada em azul e mínima em laranja)

| Ângulo | Inclin. | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m2.dia] | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------|---|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|-------------|------|-------|-------|
| | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média | Delta |
| Plano Horizontal | 0° N | 6,43 | 6,51 | 5,66 | 4,74 | 4,04 | 3,74 | 3,88 | 4,63 | 5,19 | 5,46 | 5,46 | 6,28 | 5,17 | 2,77 |
| Ângulo igual a latitude | 18° N | 5,87 | 6,22 | 5,76 | 5,18 | 4,71 | 4,51 | 4,61 | 5,22 | 5,43 | 5,33 | 5,07 | 5,67 | 5,3 | 1,72 |
| Maior média anual | 15° N | 5,99 | 6,3 | 5,77 | 5,13 | 4,62 | 4,4 | 4,51 | 5,14 | 5,41 | 5,37 | 5,16 | 5,8 | 5,3 | 1,9 |
| Maior mínimo mensal | 27° N | 5,46 | 5,91 | 5,65 | 5,26 | 4,92 | 4,77 | 4,85 | 5,36 | 5,4 | 5,12 | 4,76 | 5,24 | 5,22 | 1,16 |

Fonte: CRESESB (2022)

Gráfico 2 – Irradiação solar no plano inclinado



Fonte: CRESESB (2022)

Para a localidade selecionada são também fornecidos os valores de irradiação solar convertidos do plano horizontal para planos inclinados com três diferentes ângulos de inclinação em relação ao plano horizontal, como podemos ver na tabela e gráficos acima:

- o ângulo igual à latitude;
- o ângulo que fornece o maior valor médio diário anual de irradiação solar;

- o ângulo que fornece o maior valor mínimo diário anual de irradiação solar.

As inclinações são sugestões para a instalação dos painéis fotovoltaicos. A escolha de uma dessas inclinações depende da finalidade da instalação e dos requisitos do projeto. Normalmente o valor da latitude local é usado como ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico e o ângulo de maior média diária anual de irradiação solar costuma ser usada quando se deseja a maior geração anual de energia. Já o ângulo com maior valor mínimo mensal de irradiação solar costuma ser usado em situações em que o fornecimento contínuo de energia elétrica é crítico, procurando minimizar o risco de falta de energia. Portanto, a inclinação escolhida foi de ângulo igual à latitude, que possui uma média anual de 5,3 kWh/m²dia, que inclusive coincide com a opção de ângulo que fornece o maior valor médio diário anual de irradiação solar.

5.4 CONSUMO DA EMBARCAÇÃO

O consumo parcial/total da embarcação foi calculado através do levantamento dos equipamentos consumidores de energia no geral, o que está especificado em cada manual dos diversos equipamentos, dados fornecidos pela empresa. Além dos manuais, será consultado o plano de iluminação da embarcação para quantificar os tipos e quantidades de acessórios de iluminação em toda a embarcação.

Tabela 3 – Descrição de equipamentos consumidores de energia na embarcação

| CONSUMIDORES | QUANTIDADE | POT. ABS. (kW) |
|---------------------------------------|------------|----------------|
| Molinetes * | 2 | 36 |
| Guinchos de atracação* | 2 | 68,4 |
| Porta Lateral | 1 | 23,4 |
| Bbs. de Esgoto, Lastro e Serv. Gerais | 2 | 86,4 |
| Vent. Compto Bow-Thruster | 1 | 9,9 |
| Unidade Hidráulica Bow-Thruster* | 2 | 6,3 |
| 9 Exaustores do Porão | 9 | 21,06 |
| Iluminação Geral (conj.) | 1 | 6,5 |
| Iluminação do Porão (conj.) | 1 | 15 |
| Cabrestante* | 2 | 45 |
| TOTAL | | 143,54 |

Fonte: Empresa de Cabotagem (2022)

Os itens demarcados em asterisco (*) são desconsiderados na somatória de potência absoluta pois durante o tempo de carregamento não são utilizados de fato.

5.5 DISTÂNCIA MÍNIMA ENTRE AS FILEIRAS E DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos devem ser dispostos de forma que o próprio módulo não projeta sombra sobre as fileiras adjacentes. Dessa forma, calculou-se a distância mínima entre as fileiras, utilizando a Equação 1 (SUNFIX, 2008):

$$d_{\min} = \frac{h_1}{\text{tg}(66,5^\circ - \text{latitude})} \quad (1)$$

Onde:

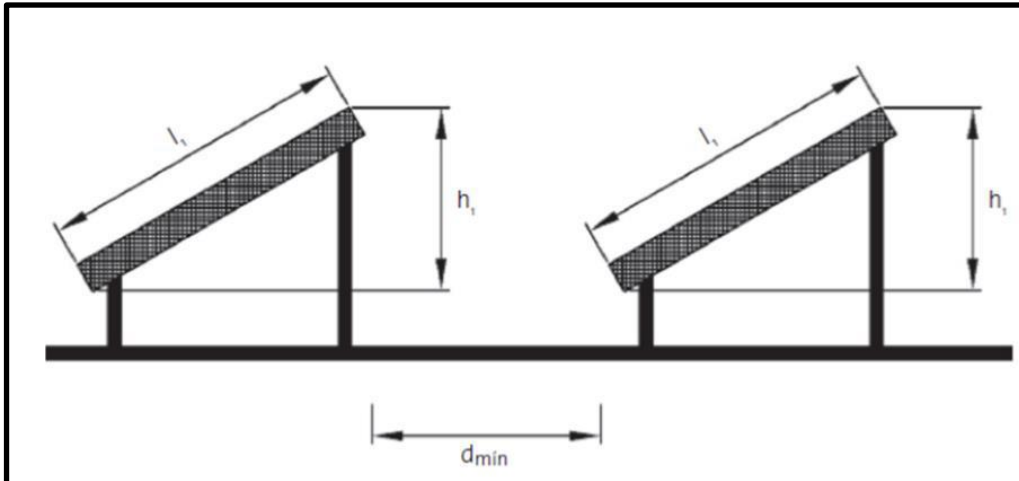
d_{\min} = distância mínima entre filas (m);

h_1 = altura de inclinação do módulo (m);

latitude = latitude do local da instalação do painel.

Para a utilização da Equação 1, é preciso calcular o h_1 , conforme Figura 3.

Figura 4 – Linhas de módulos fotovoltaicos



Fonte: Guimarães e Gonçalves (2012)

A partir da Figura 3, que demonstra a disposição das fileiras dos módulos com suas respectivas variáveis, foi possível calcular o h_1 por meio da Equação 2:

$$h_1 = l_1 \times (\text{inclinação}) \quad (2)$$

Onde:

h_1 = altura de inclinação do módulo (m);

l_1 = comprimento do módulo fotovoltaico (m);

inclinação = inclinação adotada para os módulos fotovoltaicos ($^\circ$);

Tendo a altura de inclinação do módulo calculada e utilizando a equação 1, chegamos à distância mínima entre as fileiras.

Os módulos fotovoltaicos devem ser distribuídos com uma distância de $(d_{min} + 0,3)$ m de uma fileira para a outra, pois essa distância, além de evitar o sombreamento,

permite a passagem de pessoas para a realização da instalação e possíveis manutenções.

5.6 NÚMERO TOTAL DE PAINÉIS SOLARES E POTÊNCIA TOTAL

A partir dos valores de ocupação de área e comprimento por placa e sabendo a área disponível para instalação dos módulos, os módulos foram distribuídos geometricamente sobre a estrutura. Determinou-se a quantidade de módulos totais que tal estrutura irá comportar, através da distribuição das placas sobre o empreendimento observando as dimensões ocupadas por cada módulo.

Partindo do pressuposto que temos a área de projeto conhecida, expressa no item 4.1 e distância mínima definida no item 4.7, optamos por desenvolver o projeto utilizando o software de desenho assistido por computador e assim definir a quantidade de placas alocadas a capacidade de geração energética.

5.7 DETERMINAÇÃO DE INVERSOR/MICROINVERSOR DE FREQUÊNCIA

A determinação do inversor de potência depende da aplicação final do dispositivo e outros fatores técnicos. Os fatores são definidos pela legislação do país em que está sendo implantado, entretanto, o Brasil não possui uma legislação para a utilização de transformadores, chaves seccionadoras ou fusíveis (GUIMARÃES E GONÇALVES, 2012).

A potência total suportada calculada na Equação 4 fornece o limite de acordo com a estrutura física disponível para a instalação dos painéis fotovoltaicos (área de aplicação), dessa forma, foi possível especificar o inversor de frequência a ser utilizado no sistema, além disso necessitou-se um comparativo de custo entre a utilização de microinversores ou inversores, e foi levado em consideração ainda aspectos físicos de cada formato.

Para a escolha do inversor ideal foi necessária uma pesquisa dos fabricantes disponíveis em território nacional e posteriormente a seleção do inversor ideal para o módulo utilizado no modelo.

Para definição do inversor, realizou-se uma pesquisa, segundo um levantamento encomendado pela Wood Mackenzie (2019) a respeito dos maiores fabricantes de inversores do mundo, assim definimos a Growatt como fabricante padrão.

5.8 DETERMINAÇÃO DE CONEXÃO ELÉTRICA ENTRE OS MÓDULOS

A instalação dos módulos dos painéis fotovoltaicos deve ser associada de modo que sejam gerados uma potência máxima aproximada à máxima potência do inversor utilizado, atingindo assim o máximo rendimento possível.

Para calcular a quantidade de módulos em série que devem ser ligados é necessário primeiro determinar a tensão nominal do inversor e a tensão do módulo em máxima potência (quantidade de painéis), a razão entre essas duas tensões nos apresenta a quantidade de módulos necessários (EQUAÇÃO 5).

$$N = \left(\frac{V_{CCnominal_i}}{V_{pmax_m}} \right) \quad (5)$$

Onde:

N= número de módulos ligados em série;

$V_{CCnominal_i}$ = tensão CC nominal do inversor (V);

V_{pmax_m} = tensão do módulo em máxima potência (V);

A equação 6 determina a tensão de alimentação do inversor através do produto entre a tensão de circuito aberto do conjunto de módulos e a tensão de circuito no módulo.

$$V_{oc_C} = N \times V_{oc_m} \quad (6)$$

Onde:

V_{OC_C} = tensão de circuito aberto de um conjunto de módulos (V);

V_{OC_m} = tensão de circuito aberto do módulo (V).

É importante que a tensão de circuito aberto seja inferior à tensão máxima dos módulos pelo inversor.

Para o cálculo da potência do conjunto de módulos é utilizada a equação 7:

$$P_{CM} = N \times P_{MAX_m} \quad (7)$$

Onde:

P_{CM} = potência do conjunto de módulos (W);

P_{MAX_m} = potência máxima do módulo (W);

Observando a potência dos conjuntos de módulos, foi possível calcular a quantidade de módulos em série, que estarão ligados em um inversor (EQUAÇÃO 8).

$$N_s = \left(\frac{P_{CC_{max\ i}}}{P_{CM}} \right) \quad (8)$$

Onde:

N_s = número de *strings* de módulos por inversor;

$P_{CC_{max\ i}}$ = potência máxima recebida dos módulos (W).

Após calcular o número de *strings* de módulos, foi calculado a potência total de um arranjo, lembrando que essa potência deve ser menor que a máxima potência dos inversores para que não ocorra desperdício de potência nos módulos, assim possível determinar a potência total através da equação 9:

$$P_A = N_S \times P_{CM} \quad (9)$$

Onde:

P_A = potência total de um arranjo (W).

O cálculo da corrente do curto-circuito do arranjo para a conexão com o inversor foi designado a partir da equação 10:

$$I_{cc_A} = N_S \times I_{cc_m} \quad (10)$$

Onde:

I_{cc_A} = corrente de curto-circuito do arranjo (A);

I_{cc_m} = corrente de curto-circuito do módulo (A).

Através do número total de módulos e número total de módulos por arranjo foi possível calcular o número de inversores, através da equação:

$$N_I = \frac{N_T}{N_{MA}} \quad (11)$$

Onde:

N_I = número de inversores;

N_T = número total de módulos;

N_{MA} = número de módulos por arranjo.

5.9 ENERGIA GERADA

O cálculo da energia gerada em cada módulo fotovoltaico foi obtido através da quantidade de módulos definido anteriormente e informações técnicas do módulo escolhido, representado pela equação abaixo:

$$E_d = \frac{(P_{FV} \times G_{TOT} \times PR)}{G} \quad (12)$$

Onde:

E_d = energia gerada por módulo por dia ($\frac{kWh}{dia}$);

P_{FV} = potência do módulo fotovoltaico (kWp);

G_{TOT} = potência radiante solar total com as componentes direta, difusa e de albedo, por uma unidade de área em uma superfície com inclinação qualquer ($\frac{kWh}{m^2}$);

PR = taxa de desempenho;

G = irradiância solar ($\frac{GW}{m^2}$).

Com os dados calculados na Equação 12, assim determinada a energia gerada ao longo do ano pela Equação 13.

$$E_m = E_d \times n \quad (13)$$

Onde:

E_m = energia gerada por módulo por mês ($\frac{kWh}{mês}$);

E_d = energia gerada por módulo por dia ($\frac{kWh}{dia}$);

n = número de dias em um ano.

Tendo a energia gerada de cada módulo ao longo dos meses, obteve-se a energia gerada pela instalação utilizando a Equação 14.

$$E_T = E_m \times N_T \quad (14)$$

Onde:

E_m = energia gerada por módulo em um mês (kWh);

E_T = energia total gerada (kWh);

N_T = número total de módulos.

5.10 ANÁLISE TÉCNICA E VIABILIDADE FINANCEIRA

Avaliação da viabilidade técnica para a instalação do sistema fotovoltaico sobre a embarcação, praticou-se a comparação da energia gerada através da estimativa realizada e pela energia que é consumida anualmente.

A análise de viabilidade financeira foi idealizada através de indicadores econômicos: *payback* descontado, valor presente líquido e taxa interna de retorno.

5.10.1 *Payback*

Payback é o método utilizado para calcular o tempo necessário para que sejam recuperados os investimentos realizados inicialmente. Sendo calculado através da equação abaixo:

$$Payback = \sum_{t=0}^n FC_n = I_0 \quad (15)$$

Onde:

n = número de anos;

FC_n = fluxo de caixa do ano referência (R\$);

I_0 = investimento inicial (R\$);

Executou-se o cálculo do fluxo de caixa gerado pela produção de energia. Esse valor, expresso em reais (R\$), é dado pelo produto entre a previsão gerada de energia anual, fornecido pela Equação 14 em kWh, e a tarifa de energia, em R\$/kWh cobrada pela concessionária de energia (LISITA JR, 2011).

$$FC_n = E_T \times T \quad (16)$$

Onde:

T = tarifa de energia elétrica ($\frac{R\$}{kWh}$);

E_T = energia total gerada (kWh);

Para o cálculo da tarifa, levou-se em consideração o reajuste anual com base em dados históricos, conforme Miranda (2014) informa em seus estudos. A taxa incide não apenas sobre o capital inicial, mas sobre esse capital acrescido dos juros anteriores, utilizada a equação 17, fornecida por (LESSA 2014):

$$M = P_i (1 + i)^n \quad (17)$$

Onde:

$M = T_n$ = montante ao longo do ano ($\frac{R\$}{kWh}$);

P_i = valor presente, ou seja, a tarifa inicial (R\$ kWh);

$(1 + i)^n$ = definida como fator de capitalização;

i = taxa incidente (% ano);

n = prazo em anos.

Portanto, a tarifa será calculada pela equação 18.

$$T_n = T_i (1+i)^n \quad (18)$$

5.10.2 Valor presente líquido (VPL)

O Valor presente líquido (VPL) consiste na diferença entre o valor investido e o resgatado ao fim do investimento, trazidos ao valor presente. Se o valor do VPL for positivo, significa que o valor investido será recuperado e ainda haverá um ganho. Se o VPL for zero, significa que não haverá diferença em investir ou não. Por fim, o VPL negativo significa que o investidor terá um valor final menor que o investido, tornando o investimento inviável, o VPL é calculado através da equação 18.

$$VPL = -CF_0 + \sum \frac{CF_j}{(1+i)^n} \quad (18)$$

Onde:

$-CF_0$ = investimento inicial realizado no projeto, e por isso está negativo (R\$);

CF_j = somatório dos fluxos de caixa esperado, descontado pelo período do investimento até a linha do período zero (R\$).

5.10.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A fórmula na obtenção do valor da TIR é representada pela Equação 19 (Macedo, 2014).

$$CF_0 \sum \frac{CF_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (19)$$

Onde:

TIR = Taxa interno de retorno (%);

CF = Fluxo de caixa (R\$);

n = período do movimento no fluxo de caixa.

A TIR é utilizada para uma comparação se a taxa de retorno do projeto é melhor do que outros investimentos (SANTOS, DE SOUZA E DALFIOR, 2016).

5.10.4 Taxa mínima de Atratividade

É uma taxa de juros que representa o retorno desejado pelo investidor. Em outras palavras, ao fazer um investimento, o retorno deve ser pelo menos igual a essa taxa. A TMA é definida por cada investidor, e não existe fórmula matemática para calculá-la, tampouco um número pré-estabelecido como correto, pois além de variar com o tempo, é considerada pelo investidor para a tomada de decisão de executar ou não o investimento.

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Partindo do pressuposto que a embarcação possui uma área limitada para implantação do projeto, definiu-se um organograma de alocação das placas e assim os resultados técnicos e financeiros foram calculados para a análise de viabilidade.

6.1 VIABILIDADE ESTRUTURAL

6.1.1 Área disponível

Apesar da localização ser favorável, pois seria uma instalação numa embarcação no nível do mar e sem interferência de sombras de empreendimentos ao redor, comum em instalações urbanas, nesse caso em específico há outros desafios como a variação da radiação solar entre os estados do Espírito Santo e Bahia e o fato de termos uma área limitada para uma possível instalação de módulos fotovoltaicos, a localização escolhida. A figura abaixo apresenta uma vista da embarcação onde seriam instalados os painéis fotovoltaicos.

Figura 5 – Vista da embarcação atracada por BE no terminal marítimo de Belmonte



Fonte: Empresa de cabotagem (2022)

Foi realizada a medição do convés superior da embarcação para definição de um croqui com a área definida e a área disponível para implementação das placas, sabendo que existem algumas limitações como as áreas de acesso, rotas de fuga, torres de acionamento dos guinchos e áreas uteis dos ventiladores de exaustão do porão de carga da embarcação.

Figura 6 – Medição física da área total do convés superior



Fonte: Autores (2022)

A área total do convés superior é 1724,34 m² e a área disponível para uma possível implantação das placas solares é de 1291,5 m², em torno de 74,9% da área do convés, considerando uma rota de acesso no perímetro do teto da barcaça de 1,8 m de largura, para que seja possível o acesso das equipes de manutenção.

Figura 7 – Diagrama esquemático das rotas de acesso e área livre para implantação de painéis solares

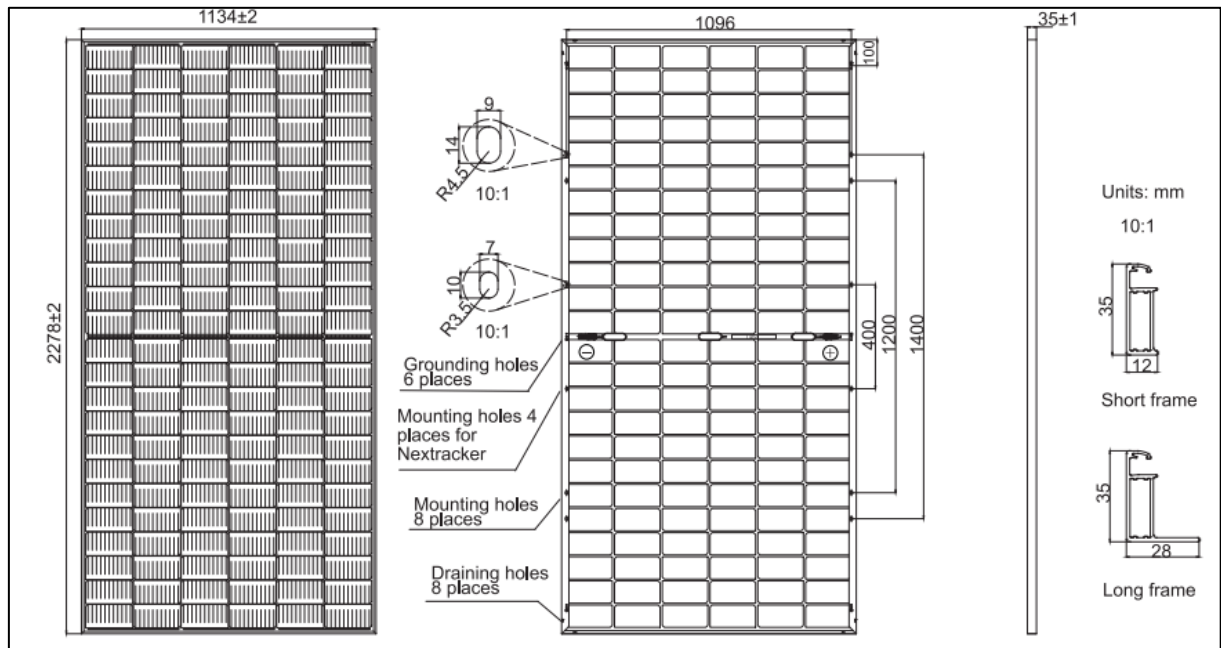


Fonte: Autores (2022)

6.1.2 Determinação do módulo fotovoltaico

Baseado no item 4.2 da metodologia, definimos a placa JAM72D30, da fabricante JA Solar com faixa de potência entre 525W-550W.

Figura 8 – Diagrama Mecânico da Placa Solar



Fonte: Catálogo JA Solar – Modelo: JAM72D30 (2022)

-Dados:

- Dimensão: 2278 x 1134 x 35 mm
- Faixa de Potência: 525-550W
- Potência máxima: 550W
- Eficiência máxima: 21,2%
- Garantia de 12 anos do produto
- Garantia de 25 anos de entrega de energia

6.1.3 Radiação solar média

Abaixo temos as informações para a coleta da radiação solar média:

Estação: Oceano Atlântico

-Latitude: 18,301° S

-Longitude: 39,649° O

-Distância do ponto de ref. (18,303829° S; 39,654324° O): 0,6 km

Portanto, as informações de irradiação solar utilizadas no projeto foram coletadas em uma coordenada localizada a 0,6 km do rastreamento da embarcação, sendo assim, a inclinação escolhida foi de ângulo igual à latitude (18,301°), que possui uma média anual de 5,3 kWh/m²dia, que inclusive coincide com a opção de ângulo que fornece o maior valor médio diário anual de irradiação solar.

6.1.4 Posicionamento dos módulos fotovoltaicos e distanciamento mínimo entre fileiras

Os módulos foram dispostos de forma que o próprio módulo não projete sombra sobre as fileiras adjacentes. Sendo calculada, de acordo com a equação 2, a altura de inclinação do módulo, $h_1 = 0,748$ m.

Com base desse valor, foi possível calcular, pela equação 1, a distância mínima entre as fileiras como sendo $d_{\min} = 0,668$ m.

Portanto, os módulos foram instalados há uma distância mínima entre as fileiras de aproximadamente 0,668 m, para evitar o sombreamento de um módulo sobre o outro, portanto, a distância teórica entre um módulo deverá ser de aproximadamente 0,968 m. Fomos orientados a utilizar uma distância entre fileiras de ao menos 1 metro, para que seja possível realizar manutenções adequadas sem nenhum prejuízo.

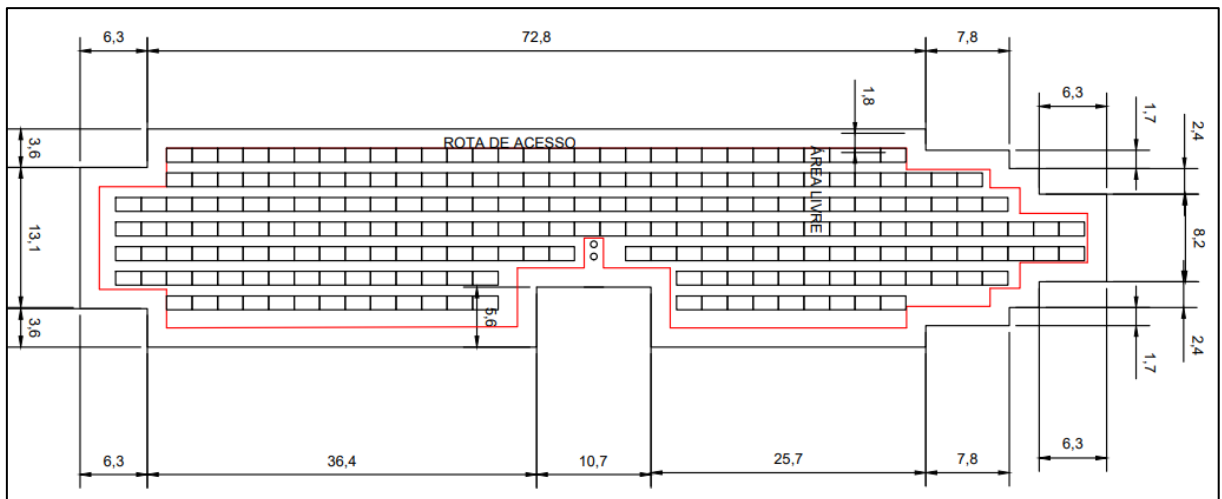
6.1.5 Número total de painéis solares e potência total

O número total de painéis solares foi determinado através da elaboração de desenho técnico em software de desenho assistido por computador, no qual seriam colocados na superfície superior (teto do porão de carga), módulos fotovoltaicos sendo obedecidos o distanciamento mínimo de projeto calculado, e sendo considerados fileiras com módulos verticais e horizontais.

- Módulos dispostos longitudinalmente:

O número total de painéis que poderiam ser colocados no teto do porão de carga foram 222 módulos, como podemos observar no projeto abaixo:

Figura 9 – Representação esquemática da disposição de placas (convés superior)

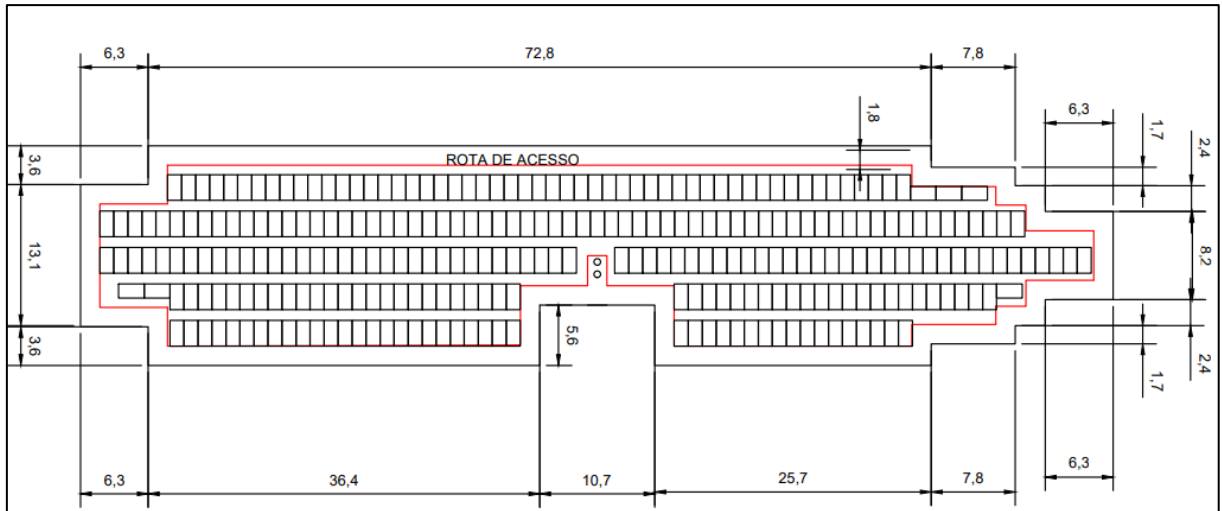


Fonte: Autores (2022)

- Módulos dispostos transversalmente:

O número total de painéis que poderiam ser colocados no teto do porão de carga foram 283 módulos, como podemos observar no projeto abaixo:

Figura 10 – Desenho técnico disposição de placas (convés superior)



Fonte: Autores (2022)

Baseadas nas disposições longitudinal e transversal foi possível calcular a potência máxima total gerada para cada arranjo, como sendo 15.881,27 kWh e 20.245,05 kWh, respectivamente.

Realizando um comparativo de ganho entre as placas alocadas na longitudinal e transversal. Transversalmente alocadas obtivemos um ganho de 61 módulos à mais com aumento de potência gerada de 4.363,78 KWp, equivalente a 21,55% de aumento quantitativo entre os projetos.

6.1.6 Determinação do inversor/micro inversor de frequência

Foi necessária uma análise para escolher se iríamos utilizar micro inversores ou inversores, para fazermos a melhor escolha foi necessária uma análise de custo, portanto, solicitamos um orçamento para a empresa Ecotek Energia Fotovoltaica de um sistema utilizando micro inversores e outro utilizando inversores e tivemos uma diferença de R\$ 104.071,52, sendo o sistema com inversores, com custo mais baixo. Além disso, levamos em consideração o fato de a instalação estar exposta a uma

atmosfera muito agressiva, e os micro inversores ficariam expostos ao tempo, diferentemente dos inversores.

Os aspectos técnicos inerentes ao projeto também foram analisados, o inversor foi escolhido baseado no modelo de placa e na potência do sistema, 157.000,00 Wp, sendo escolhido o inversor da Growatt, modelo MAX60KTL3-XL2, com potência máxima de 60.000W.

Tabela 4 – Dados retirados do catálogo do fabricante do inversor

| Especificações | Valores |
|---------------------------------|----------------|
| Máxima potência CC | 90,0 kW |
| Potência nominal de saída | 60,0 kW |
| Potência máxima aparente CA | 66,0 kVA |
| Corrente máxima de saída (220V) | 175 A |

Fonte: Catálogo da fabricante Growatt (2022)

6.1.7 Determinação do esquema de conexão elétrica dos módulos fotovoltaicos

Após a determinação do inversor de frequência utilizamos os dados de fábrica no catálogo do inversor escolhido para calcular o esquema de conexão dos módulos.

Inicialmente foi calculado de módulos em série que devem ser ligados, sabendo que pelo catálogo a tensão nominal do inversor é 370V e a tensão do módulo em máxima potência é 41,9V, obtivemos a quantidade de módulos em série que devem ser ligados, como sendo de 9 módulos.

Posteriormente determinamos a tensão de alimentação do inversor através do produto entre a tensão do circuito aberto do conjunto de módulos e quantidade de módulos ligados em série, obtendo-se um valor de $V_{oc} = 449,1V$

Além disso, foi calculado a potência do conjunto de módulos, $P_{CM} = 4995W$.

Após calcular a potência máxima dos conjuntos de módulos, foi possível calcular a quantidade de módulos em série ligados ao inversor, $N_s = 12,01$, que é a razão entre a

potência máxima recebida dos módulos (60kW), valor retirado de catálogo da GROWATT e modelo MAX60KTL3-XL2

O número de blocos em paralelo será 12 e cada bloco e irá conter 9 módulos ligados em série. O inversor deverá ser alimentado com os arranjos ligados em paralelo. Cada inversor será alimentado por 108 módulos, sendo necessário fazer algumas verificações conforme descrito a seguir.

Após calcular o número de blocos de módulos, foi calculado a potência total do arranjo que é o produto entre o número de blocos e a potência do conjunto de módulos, $P_A = 60kW$.

Posteriormente, calculamos a corrente de curto-circuito do arranjo para a conexão com o inversor, $I_{CCA} = 168,14 A$, que é o produto entre o número de blocos e a corrente de curto-circuito do módulo que através do catálogo foi definido como 14 A.

E por fim, foi calculado o número de inversores, $N_i = 2,62$, através da razão entre o número total de módulos calculado do nosso projeto, assim foram definidos 283 módulos fotovoltaicos e número total de módulos por arranjo.

Portanto, definimos a quantidade de 3 inversores como sendo suficientes para alimentar os 283 módulos alocados na área definida no projeto.

6.1.8 Energia gerada

A energia gerada em cada módulo fotovoltaico foi definida pela equação 12, sabendo os dados de potência do módulo fotovoltaico 0,555kWp, e considerando a potência radiante solar a partir do RADIOSOL, e sendo definida uma taxa de desempenho de 80% e uma irradiação G de 1,0, o cálculo em cada mês é mostrado na tabela 5.

Tabela 5 - Energia média gerada em cada módulo no dia

| Mês | Ed (kWh/dia) |
|------------|---------------------|
| janeiro | 2,61 |
| fevereiro | 2,76 |
| março | 2,56 |
| abril | 2,30 |
| maio | 2,09 |
| junho | 2,00 |
| julho | 2,49 |
| agosto | 2,32 |
| setembro | 2,41 |
| outubro | 2,37 |
| novembro | 2,25 |
| dezembro | 2,52 |

Fonte: Autores (2022)

Com os dados da tabela 5 foi possível determinar a energia gerada em cada módulo por dia de cada mês, através da equação 13, sendo possível montar a tabela 6.

Tabela 6 – Energia média gerada por cada módulo por mês e total anual.

| Mês | Dias | Em (kWh/mês) |
|------------|-------------|---------------------|
| Janeiro | 31 | 80,79 |
| Fevereiro | 28 | 77,33 |
| Março | 31 | 79,28 |
| Abril | 30 | 69,00 |
| Maio | 31 | 64,83 |
| Junho | 30 | 60,07 |
| Julho | 31 | 77,22 |
| Agosto | 31 | 71,85 |
| Setembro | 30 | 72,33 |
| Outubro | 31 | 73,36 |
| Novembro | 30 | 67,53 |
| Dezembro | 31 | 78,04 |

Fonte: Autores (2022)

Com a energia gerada ao longo dos meses, foi possível determinar a energia que será gerada pela instalação ao longo de um ano, através da equação 14 representando os resultados na tabela 7.

Tabela 7 – Energia total gerada na instalação da barcaça de celulose por mês e total anual.

| Mês | Dias | Et (kWh/mês) |
|--------------|-------------|---------------------|
| Janeiro | 31 | 22864,89 |
| Fevereiro | 28 | 21883,55 |
| Março | 31 | 22436,42 |
| Abril | 30 | 19526,32 |
| Mai | 31 | 18346,45 |
| Junho | 30 | 17000,72 |
| Julho | 31 | 21852,14 |
| Agosto | 31 | 20333,01 |
| Setembro | 30 | 20468,71 |
| Outubro | 31 | 20761,48 |
| Novembro | 30 | 19111,67 |
| Dezembro | 31 | 22085,85 |
| TOTAL | 365 | 246671,21 |

Fonte: Autores (2022)

Portanto, a instalação de módulos fotovoltaicos na embarcação irá gerar, aproximadamente, 246.671,21 kWh por ano.

6.1.9 Consumo total da Embarcação

Conforme descrito no item 5.4 utilizamos como base de cálculo o Balanço elétrico da Embarcação, algo que foi fornecido pelo armador. Com o projeto conseguimos extrair as potências nominais dos principais equipamentos e principais circuitos conforme tabela 3.

Vale salientar que para base de cálculo de consumo de energia quando a embarcação está em fase de carga ou descarga, não utilizamos a potência nominal dos 2 molinetes, 4 guinchos de atracação, 2 cabrestantes e as duas unidades Hidráulicas. Essa definição se baseia na seguinte circunstância. Após atracação esses equipamentos ficam desenergizados pois a embarcação está com os cabos tensionados para manter a estabilidade não tendo a necessidade de movimentação, somente durante a desatracação. As unidades hidráulicas têm a finalidade de

movimentar o sistema de passo da Propulsão lateral, ou seja, se a embarcação está atracada não tem necessidade de manter a propulsão ativa.

O sistema proposto *on-grid* conforme descrito no item 4.4 obrigatoriamente a embarcação deve estar conectada à rede de terra, assim a embarcação por projeto deve estar conectada à rede de terra durante o período de carga/descarga. Com base nessa definição de projetos foi fornecido o tempo de carregamento/descarregamento do ano de 2021 no Terminal Marítimo de Belmonte – BA no qual a embarcação realiza o carregamento da Celulose e no Terminal Marítimo de Barra do Riacho – ES local que a embarcação realiza a descarga, assim essas informações estão descritas na tabela abaixo:

Tabela 8 – Tempo de operação carga/descarga e consumo total da embarcação

| Mês /2021 | Carga (Hrs) | Descarga (Hrs) | Consumo (kWh) |
|------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| Janeiro | 234:38:00 | 133:21:00 | 52.763,87 |
| Fevereiro | 188:15:00 | 134:58:00 | 46.324,66 |
| Março | 181:09:00 | 181:55:00 | 52.053,35 |
| Abril | 172:41:00 | 137:45:00 | 44.477,30 |
| Mai | 195:28:00 | 166:30:00 | 51.901,19 |
| Junho | 128:25:00 | 183:25:00 | 44.569,17 |
| Julho | 183:19:00 | 125:40:00 | 44.147,16 |
| Agosto | 150:45:00 | 130:45:00 | 40.320,39 |
| Setembro | 162:45:00 | 129:44:00 | 41.897,89 |
| Outubro | 160:22:00 | 133:24:00 | 42.123,25 |
| Novembro | 160:32:00 | 133:24:00 | 42.137,60 |
| Dezembro | 162:08:00 | 190:57:00 | 50.619,38 |
| TOTAL | 2080:27:00 | 1781:48:00 | 553.335,22 |

Fonte: Empresa de cabotagem (2022)

Como base de cálculo de tempo utilizamos o tempo de operação de somente uma embarcação o que foi definido por projeto. Sendo assim utilizando o tempo de carga/descarga total anual multiplicado pela potência ativa consumida pelos

equipamentos obtivemos o valor total de 553,34 MWh de consumo total anual da embarcação.

6.2 RESULTADOS DO ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Após os cálculos de dimensionamento do sistema fotovoltaico, faz-se necessário a aquisição do sistema, bem como todos os materiais elétricos e mão de obra necessária para instalação.

Foi realizada uma pesquisa de mercado e recebido dois orçamentos, um com a utilização de microinversores, sendo o valor total de investimento com o material de R\$ 506.971,52. Em contrapartida, utilizando inversores, o valor total dos materiais foi de R\$ 402.900,00.

Tabela 9 – Orçamento empresa Ecori com utilização de microinversores (Lista de Materiais)

| Tipo | Qtd | Nome | Preço |
|-------------|------------|--|----------------|
| KIT 1 | 23 | DS3DL.12.220.JA.540 | R\$ 440.677,70 |
| Módulo | 276 | JÁ SOLAR JAM72D30-540/MB | |
| Inversor | 69 | APSYSTEMS DS3D-L 220 (1600W) | |
| Componente | 69 | Cabo tronco AC -DS3D/DS3D-L (2,4 metros) | |
| Componente | 23 | Terminal end cap - DS3D/DS3D-L | |
| Componente | 23 | Caixa de passagem AC (plástica) | |
| Componente | 69 | Garantia 15 anos Microinversor | |
| Componente | 276 | Cabo Solar Flex 1KV C5 NBL 1X4,00 PR | |

Fonte: Fornecido pela Ecotek – Energia Solar (2022)

Tabela 10 – (Continuação) Orçamento empresa Ecori com utilização de microinversores – Lista de Materiais

| Tipo | Qtd | Nome | Preço |
|-------------|------------|---------------------------------|---------------|
| KIT 2 | 4 | DS3DL.2.220.JA.540 | R\$ 16.289,80 |
| Módulo | 8 | JA SOLAR JAM72D30-540/MB | |
| Inversor | 4 | APSYSTEMS DS3D-L 220 (1600W) | |
| Componente | 4 | Cabo tronco AC -DS3D/DS3D-L | |
| Componente | 4 | Terminal end cap - DS3D/DS3D-L | |
| Componente | 4 | Caixa de passagem AC (plástica) | |
| Componente | 4 | Garantia 15 anos Microinversor | |
| Componente | 8 | Cabo Solar Flex 1KV C5 NBL | |

Fonte: Fornecido pela Ecotek – Energia Solar (2022)

Tabela 11 – Orçamento empresa Ecori com utilização de microinversores – Soma de todos os itens do orçamento

| Tipo | Qtd | Nome | Preço |
|-----------------|------------|-------------------------------|-----------------------|
| KIT | 23 | DS3DL.12.220.JA.540 | R\$ 440.677,70 |
| KIT | 4 | DS3DL.2.220.JA.540 | R\$ 16.289,80 |
| Estruturas-SPIN | 150 | Trilho Leve 4040 4,50m | R\$ 16.354,50 |
| Estruturas-SPIN | 6 | KIT FIXAÇÃO LAJE 2 PAINEIS–A | R\$ 1.779,96 |
| Estruturas-SPIN | 82 | KIT FIXAÇÃO LAJE 4 PAINEIS–B | R\$ 26.470,42 |
| KIT ADICIONAL | 73 | KIT ADICIONAL DE ESTRUTURA | R\$ 841,69 |
| Comunicação | 2 | ECU-R Zigbee (APsystem) | R\$ 2.035,20 |
| Adicional | 1 | Seguro de Risco de Engenharia | R\$ 2.522,25 |
| TOTAL | | | R\$ 506.971,52 |

Fonte: Fornecido pela Ecotek – Energia Solar (2022)

Figura 11 – Orçamento empresa Fortlev Solar com utilização de inversores – Lista de Materiais

| | |
|---|---|
| <p> Estruturas</p> <p>IEF00131 - GRAMPO INTERMEDIARIO SMART Quantidade: 554</p> <p>IEF00132 - GRAMPO TERMINAL SMART Quantidade: 24</p> <p>IEF00130 - PERFIL REFORCADO SMART 4,20M Quantidade: 159</p> <p>IEF00009 - JUNCAO U DO PERFIL Quantidade: 152</p> <p>IEF00133 - TRIANGULO SMART Quantidade: 185</p> <p>Adicionar +</p> | <p> Layout dos módulos</p> <p>Módulo: PAINEL JA JAM72D30-540/MB Tipo de estrutura: Laje Posição dos módulos: Retrato Quantidade de linhas: 5 Módulos por linha: 56</p> <p>Módulo: PAINEL JA JAM72D30-540/MB Tipo de estrutura: Laje Posição dos módulos: Paisagem Quantidade de linhas: 1 Módulos por linha: 3</p> <p>Adicionar +</p> |
| <p> Miscelâneas e transformadores</p> <p>IC000001 - KIT CONECTOR 2 PARES Quantidade: 32</p> <p>ICA00010 - CABO 1X6MM PRETO 1,8KV Quantidade: 480</p> <p>ICA00011 - CABO 1X6MM VERMELHO 1,8KV Quantidade: 480</p> <p>Adicionar +</p> | <p> Estruturas</p> <p>IEF00131 - GRAMPO INTERMEDIARIO SMART Quantidade: 554</p> <p>IEF00132 - GRAMPO TERMINAL SMART Quantidade: 24</p> <p>IEF00130 - PERFIL REFORCADO SMART 4,20M Quantidade: 159</p> <p>IEF00009 - JUNCAO U DO PERFIL Quantidade: 152</p> <p>IEF00133 - TRIANGULO SMART Quantidade: 185</p> <p> Preço do gerador</p> <p>R\$ 418.700,00 R\$ 402.900,00 R\$ 2,64 /wp</p> |
| <p> Módulos</p> <p>IMD00069 - PAINEL JA JAM72D30-540/MB Quantidade: 283</p> <p>Adicionar +</p> | <p>Adicionar a um pedido</p> |
| <p> Inversores</p> <p>IIN00170 - GROWATT MAX60KTL3-XL 2 - 220V - 8MPPT Quantidade: 2</p> <p>Adicionar +</p> | |

Fonte: Fornecido pela Ecotek – Energia Solar (2022)

Considerando 30% a mais no orçamento, tendo em conta os valores de mão de obra para a instalação, tem-se como valor total dos orçamentos:

Orçamento Ecori – R\$ 659.062,97

Orçamento Fortlev – R\$ 523.770,00

6.2.1 *Payback* descontado

Considerando que a fábrica esteja alocada no grupo de alta tensão e que a atuação da barçaça é dividida entre os estados do Espírito Santo e da Bahia, foi necessário calcular o valor médio do KWh para o grupo A, de acordo com os dados fornecidos pelas empresas geradoras de energia nesses dois estados (EDP- Energias do Brasil e COELBA)

Tabela 12 – COELBA - Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia S.A e EDP (valores de tarifas fornecidos, com base no ano de 2022):

| Empresa | Ponta (R\$/kW) | Fora Ponta (R\$/kW) |
|----------------|-----------------------|----------------------------|
| EDP | 0,4226 | 0,2638 |
| COELBA | 0,47161 | 0,31224 |
| Média | 0,447105 | 0,28802 |

Fonte: EDP e COELBA (2022)

Para efeito de cálculo, será considerado o valor de ponta R\$ 0,447105 para o valor do KWh pago pelo empreendimento.

Segundo Miranda (2014), a variação da energia elétrica depende do IGPM- Índice Geral de Preços do Mercado, e seu reajuste é feito através do coeficiente IRT - Índice de Reajuste Tarifário, cujo estudos estatísticos realizados nas últimas décadas apresentou um valor de R\$ 4,8% de atualização anual nas tarifas de energia. Com isso, a partir da equação 18, é possível encontrar o valor da tarifa de energia elétrica nos próximos anos, conforme demonstrado na tabela:

Tabela 13 – Tarifa de energia elétrica nos próximos 25 anos

| Ano | Tarifa de energia elétrica/kWh |
|------------|---------------------------------------|
| 1 | 0,4471 |
| 2 | 0,4910 |
| 3 | 0,5146 |
| 4 | 0,5393 |
| 5 | 0,5652 |
| 6 | 0,5923 |
| 7 | 0,6207 |
| 8 | 0,6505 |
| 9 | 0,6817 |
| 10 | 0,7145 |
| 11 | 0,7488 |
| 12 | 0,7847 |
| 13 | 0,8224 |
| 14 | 0,8619 |
| 15 | 0,9032 |
| 16 | 0,9466 |
| 17 | 0,9920 |
| 18 | 1,0396 |
| 19 | 1,0896 |
| 20 | 1,1419 |
| 21 | 1,1967 |
| 22 | 1,2541 |
| 23 | 1,3143 |
| 24 | 1,3774 |
| 25 | 1,4435 |

Fonte: Autores (2022)

Conforme a tabela e a equação 17, é possível calcular o fluxo de caixa do ano com base na energia gerada ao longo dos anos. Segundo informações técnicas do fornecedor de painéis fotovoltaicos, a depreciação do equipamento reduz a produção em 0,8% ao ano e as perdas de potência são de 18%. Com esses dados, monta-se a tabela 15.

Tabela 14 – Geração com depreciação e perda e Economia fatura de Energia Elétrica

| Anos | Tarifa de energia elétrica/kWh | Geração com depreciação | Geração com perda | Economia fatura de Energia Elétrica |
|------|--------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| 1 | R\$ 0,45 | 246.671,21 | 202.270,39 | R\$ 90.435,09 |
| 2 | R\$ 0,49 | 244.697,84 | 200.652,23 | R\$ 98.520,24 |
| 3 | R\$ 0,51 | 242.740,26 | 199.047,01 | R\$ 102.429,59 |
| 4 | R\$ 0,54 | 240.798,34 | 197.454,64 | R\$ 106.487,28 |
| 5 | R\$ 0,57 | 238.871,95 | 195.875,00 | R\$ 110.708,55 |
| 6 | R\$ 0,59 | 236.960,97 | 194.308,00 | R\$ 115.088,63 |
| 7 | R\$ 0,62 | 235.065,29 | 192.753,53 | R\$ 119.642,12 |
| 8 | R\$ 0,65 | 233.184,76 | 191.211,51 | R\$ 124.383,08 |
| 9 | R\$ 0,68 | 231.319,29 | 189.681,81 | R\$ 129.306,09 |
| 10 | R\$ 0,71 | 229.468,73 | 188.164,36 | R\$ 134.443,43 |
| 11 | R\$ 0,75 | 227.632,98 | 186.659,04 | R\$ 139.770,29 |
| 12 | R\$ 0,78 | 225.811,92 | 185.165,77 | R\$ 145.299,58 |
| 13 | R\$ 0,82 | 224.005,42 | 183.684,45 | R\$ 151.062,09 |
| 14 | R\$ 0,86 | 222.213,38 | 182.214,97 | R\$ 157.051,08 |
| 15 | R\$ 0,90 | 220.435,67 | 180.757,25 | R\$ 163.259,95 |
| 16 | R\$ 0,95 | 218.672,19 | 179.311,19 | R\$ 169.735,97 |
| 17 | R\$ 0,99 | 216.922,81 | 177.876,70 | R\$ 176.453,69 |
| 18 | R\$ 1,04 | 215.187,43 | 176.453,69 | R\$ 183.441,25 |
| 19 | R\$ 1,09 | 213.465,93 | 175.042,06 | R\$ 190.725,83 |
| 20 | R\$ 1,14 | 211.758,20 | 173.641,72 | R\$ 198.281,48 |
| 21 | R\$ 1,20 | 210.064,13 | 172.252,59 | R\$ 206.134,67 |
| 22 | R\$ 1,25 | 208.383,62 | 170.874,57 | R\$ 214.293,80 |
| 23 | R\$ 1,31 | 206.716,55 | 169.507,57 | R\$ 222.783,80 |
| 24 | R\$ 1,38 | 205.062,82 | 168.151,51 | R\$ 231.611,89 |
| 25 | R\$ 1,44 | 203.422,32 | 166.806,30 | R\$ 240.784,89 |

Fonte: Autores (2022)

O valor total economizado com a fatura de energia elétrica ao longo de 25 anos é de R\$ 3.922.134,37. A recuperação do valor investido em um sistema com microinversores aconteceria no sétimo ano, enquanto no sistema de inversores seria no sexto ano.

6.2.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Para cálculo do VPL, utiliza-se a equação 19, cujo fluxo de caixa inicial ($-CF_0$) representa o valor do investimento realizado no projeto, por isso está negativo, seguido pelo somatório dos fluxos de caixa esperado (CF_j), descontado pelo período do investimento até a linha do período zero. O período a ser considerado para o cálculo será de

Ao determinar a taxa mínima de atratividade (TMA) seja de 10% ao ano sobre o capital investido, mediante o exposto, o VPL será encontrado pelo fluxo de caixa inicial de R\$ R\$ 659.062,97 para o orçamento da Ecori e R\$ 523.770,00 para o orçamento da Fortlev, mais o somatório da Economia Fatura Energia de Elétrica, encontrado na Tabela 9, descontado pela taxa de 10% por 6 períodos para o orçamento da Fortlev e 7 períodos para o orçamento da Ecori.

Tabela 15 – Cálculo do VPL dos orçamentos da Fortlev e Ecori

| TMA | 10% | 10% |
|------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Anos | Projeto Fortlev Fluxo de Caixa | Projeto Ecori Fluxo de Caixa |
| 0 | -R\$ 523.770,00 | -R\$ 659.062,97 |
| 1 | R\$ 90.435,09 | R\$ 90.435,09 |
| 2 | R\$ 98.520,24 | R\$ 98.520,24 |
| 3 | R\$ 102.429,59 | R\$ 102.429,59 |
| 4 | R\$ 106.487,28 | R\$ 106.487,28 |
| 5 | R\$ 110.708,55 | R\$ 110.708,55 |
| 6 | R\$ 115.088,63 | R\$ 115.088,63 |
| 7 | R\$ 119.642,12 | R\$ 119.642,12 |
| 8 | R\$ 124.383,08 | R\$ 124.383,08 |
| 9 | R\$ 129.306,09 | R\$ 129.306,09 |
| 10 | R\$ 134.443,43 | R\$ 134.443,43 |
| 11 | R\$ 139.770,29 | R\$ 139.770,29 |
| 12 | R\$ 145.299,58 | R\$ 145.299,58 |
| 13 | R\$ 151.062,09 | R\$ 151.062,09 |
| 14 | R\$ 157.051,08 | R\$ 157.051,08 |
| 15 | R\$ 163.259,95 | R\$ 163.259,95 |
| 16 | R\$ 169.735,97 | R\$ 169.735,97 |
| 17 | R\$ 176.453,69 | R\$ 176.453,69 |
| 18 | R\$ 183.441,25 | R\$ 183.441,25 |
| 19 | R\$ 190.725,83 | R\$ 190.725,83 |
| 20 | R\$ 198.281,48 | R\$ 198.281,48 |
| 21 | R\$ 206.134,67 | R\$ 206.134,67 |
| 22 | R\$ 214.293,80 | R\$ 214.293,80 |
| 23 | R\$ 222.783,80 | R\$ 222.783,80 |
| 24 | R\$ 231.611,89 | R\$ 231.611,89 |
| 25 | R\$ 240.784,89 | R\$ 240.784,89 |
| VPL | R\$ 659.136,16 | R\$ 523.843,19 |

Fonte: Autores (2022)

Mediante aos resultados, o VLP para o orçamento da Fortlev atingiu o valor de R\$ 659.136,16 no período de 25 anos, enquanto o orçamento da Ecori atingiu R\$ 523.843,19. Para que o projeto seja aceito, o VPL deverá ter valor positivo, ou seja $VPL > 0$. A partir dos resultados, pode-se concluir que para os dois orçamentos o projeto é viável economicamente.

6.2.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Para cálculo da taxa interna de retorno (TIR), será utilizada a equação 20, considerando o fluxo de caixa inicial de investimento, por um período de 25 anos, que é o tempo de utilização de uma barçaça.

Tabela 16 – Cálculo da TIR da Fortlev e Ecori

| TMA | 10% | 10% |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Anos | Projeto Fortlev Fluxo de Caixa | Projeto Ecori Fluxo de Caixa |
| 0 | -R\$ 523.770,00 | -R\$ 659.062,97 |
| 1 | R\$ 90.435,09 | R\$ 90.435,09 |
| 2 | R\$ 98.520,24 | R\$ 98.520,24 |
| 3 | R\$ 102.429,59 | R\$ 102.429,59 |
| 4 | R\$ 106.487,28 | R\$ 106.487,28 |
| 5 | R\$ 110.708,55 | R\$ 110.708,55 |
| 6 | R\$ 115.088,63 | R\$ 115.088,63 |
| 7 | R\$ 119.642,12 | R\$ 119.642,12 |
| 8 | R\$ 124.383,08 | R\$ 124.383,08 |
| 9 | R\$ 129.306,09 | R\$ 129.306,09 |
| 10 | R\$ 134.443,43 | R\$ 134.443,43 |
| 11 | R\$ 139.770,29 | R\$ 139.770,29 |
| 12 | R\$ 145.299,58 | R\$ 145.299,58 |
| 13 | R\$ 151.062,09 | R\$ 151.062,09 |
| 14 | R\$ 157.051,08 | R\$ 157.051,08 |
| 15 | R\$ 163.259,95 | R\$ 163.259,95 |
| 16 | R\$ 169.735,97 | R\$ 169.735,97 |
| 17 | R\$ 176.453,69 | R\$ 176.453,69 |
| 18 | R\$ 183.441,25 | R\$ 183.441,25 |
| 19 | R\$ 190.725,83 | R\$ 190.725,83 |
| 20 | R\$ 198.281,48 | R\$ 198.281,48 |
| 21 | R\$ 206.134,67 | R\$ 206.134,67 |
| 22 | R\$ 214.293,80 | R\$ 214.293,80 |
| 23 | R\$ 222.783,80 | R\$ 222.783,80 |
| 24 | R\$ 231.611,89 | R\$ 231.611,89 |
| 25 | R\$ 240.784,89 | R\$ 240.784,89 |
| TIR: | 22% | 18% |

Fonte: Autores (2022)

Por fim, o valor da TIR é de 22% para o orçamento da Fortlev e 18% para o orçamento da Ecori. Sendo o TIR maior do que a taxa de atratividade do investimento estabelecida em 10%/ano, o projeto é viável para ambos os orçamentos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR PARA BARCAÇA DE TRANSPORTE DE CELULOSE

Este projeto teve como objetivo estudar a viabilidade econômica de um sistema de energia solar para barcaça de transporte de celulose, sistema conectado à rede elétrica de uma barcaça de transporte de Celulose que utiliza a rede elétrica para alimentação durante operação de carga/descarga. Para isso realizou-se o levantamento da média mensal e sobre o espaço disponível foi possível determinar a quantidade de energia que o empreendimento poderia produzir para comparar com o consumo anual do empreendimento.

Chegou-se ao resultado de que o sistema fotovoltaico com maior capacidade de geração que poderia ser instalado sobre o estabelecimento geraria 246,7 MWano de energia elétrica ao ano com a utilização de 283 módulos instalados na área total útil máxima da embarcação, suprimindo 44,5% da demanda anual do empreendimento, através de levantamento de projeto podemos identificar um consumo total de 553,34 MWh.

Como o sistema de maior capacidade de geração é apenas 44,5%, o sistema se torna inviável tecnicamente para substituir por completo a compra de energia da concessionária local, uma vez que a energia excedente seria fornecida a rede local seria convertida em créditos para a utilização do estabelecimento quando o sistema fotovoltaico não fosse capaz de gerar energia. O fator crucial que influenciou a viabilidade econômica para gerar 100 % do consumo foi a limitação de área do convés da embarcação, algo que já estava sendo mapeado quando o projeto teve o seu início.

Como foi apresentado, o valor de investimento com menor custo, ou seja, da empresa Fortlev para a aplicação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica foi de R\$ 523.770,00. Foi calculado o valor médio do kWh de energia elétrica no estado da Bahia e do Espírito Santo para os próximos 25 anos e conseqüentemente calculado o

valor que seria economizado de R\$ 3.922.134,37 ao longo de 25 anos, descontando as perdas pelo processo de produção e a depreciação dos painéis fotovoltaicos.

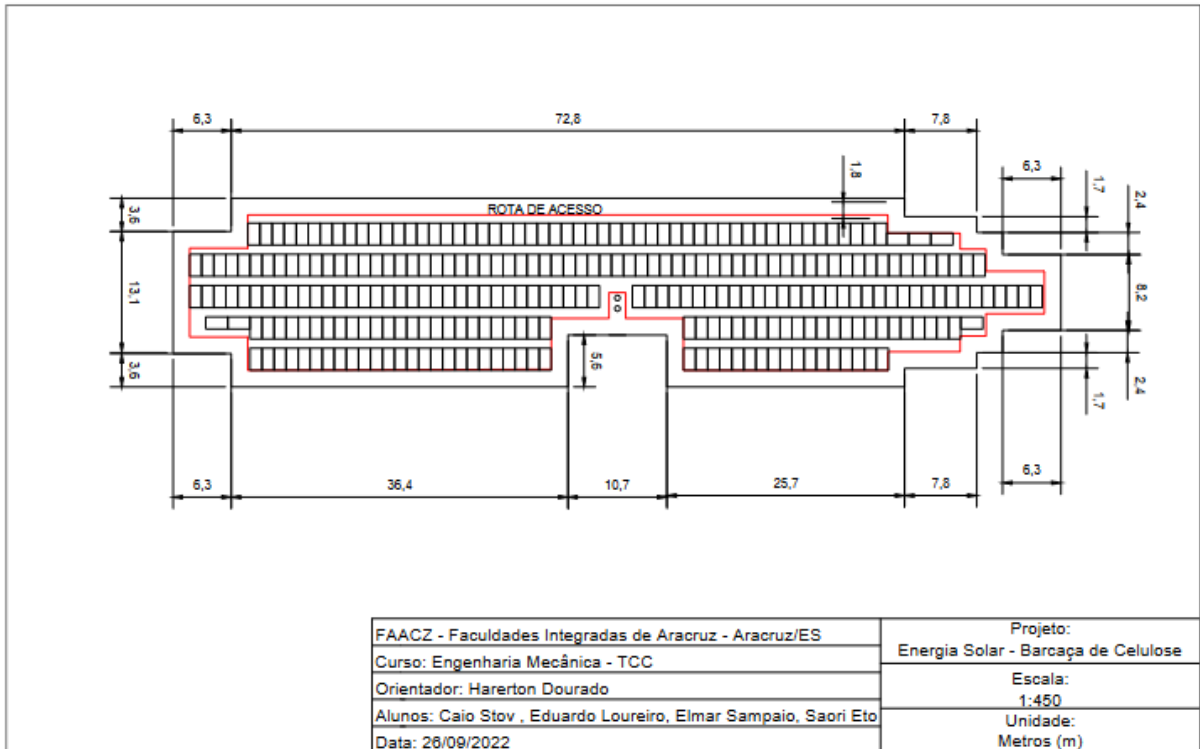
Através do cálculo do *payback* descontado, foi dimensionado que o sistema da Fortlev levaria 6 anos para retornar o valor investido. No cálculo do VPL, foi observado que este apresentou um resultado positivo de R\$ 659.136,16 demonstrando que o investimento é viável financeiramente através do VPL positivo, além do TIR que apresentou o valor médio de 22%/ano para 25 anos, sendo valor superior ao TMA apresentado pelo empreendedor (10%/ano).

O projeto se apresenta como algo inovador dentro da industrial naval tendo atingido um consumo total de 44,5%. Tendo em vista que o projeto de uma embarcação, o tempo médio de vida útil gira em torno de 20 a 25 anos, levando em consideração que o *payback* foi de 6 anos então teríamos um período de 19 anos com o projeto em execução e gerando economia nos valores de consumo anual, o que seria atrativo para a companhia de navegação que necessita realizar o pagamento da energia fornecida em cada Terminal Portuário refletindo diretamente no valor do frete marítimo ou até mesmo no acordo comercial com cada terminal portuário.

REFERÊNCIAS

- REIS, Lineu Belico dos; DA CUNHA, Eldis Camargo. **Energia elétrica e sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais**. Barueri-SP: Manole, 2006.
- CÂMARA, Carlos Fernando. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. Dissertação**. 2011. Trabalho de Pós-Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia - Universidade Federal de Lavras, 2011.
- ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Resolução Normativa nº482, 2012.
- ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2021.
- FREZATTI, Fábio. **Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento**. São Paulo-SP: Atlas, 2008.
- OLIVO, Rodolfo Leandro de Faria; OLIVO, Leandro de Faria. **Análise de investimentos**. Campinas-São Paulo: Editora Alínea, 2008.
- GUIMARÃES, Rafael Alcantara; GONÇALVES, Rafael Collar. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: análise do panorama mundial e brasileiro**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.
- LESSA, Valéria Espíndola. **Apostila 1: Juros simples, juros compostos, desconto simples, desconto composto**. Erechim – RS: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, 2014.
- ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação De Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. São Paulo - SP: Universidade de São Paulo, 2012.
- MACEDO, Joel de Jesus; MACEDO, Joel de Jesus; CORBARI, Ely Celia. **Análise de projeto e orçamento empresarial [livro eletrônico]**. Curitiba-PR: Inter Saberes, 2014.
- JANONE, Lucas. **Demanda por energia no Brasil deve ter um aumento de 1,8% em janeiro, aponta OMS**. CNN Brasil, 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/demanda-por-energia-no-brasil-deve-ter-um-aumento-de-18-em-janeiro-aponta-ons/>>. Acesso em: 15 de setembro de 2022.

ANEXO I



ANEXO II


Harvest the Sunshine

DEEP BLUE 3.0

Mono 550W MBB Bifacial Mono PERC
Half-cell Double Glass Module
JAM72D30 525-550/MB Series

Introduction

Assembled with 11BB bifacial PERCUM cells and half-cell configuration, these double glass modules have the capability of converting the incident light from the rear side together with the front side into electricity, providing higher output power, lower temperature coefficient, less shading loss, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.

 Higher output power

 More reliable, more stable power generation

The advertisement features a background image of a vast solar farm under a blue sky with clouds. In the foreground, two solar panels are shown in a 3D perspective, highlighting their dark, grid-patterned surface and silver frames. The text is overlaid on the left side of the image, and the panels are positioned on the right side.



Less shading effect

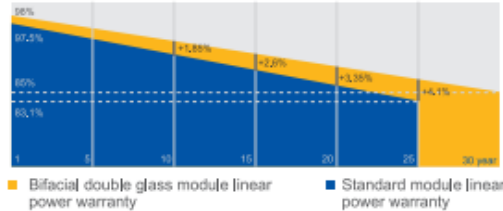


Lower temperature coefficient

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 30-year linear power output warranty

0.45% Annual Degradation Over 30 years



Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval



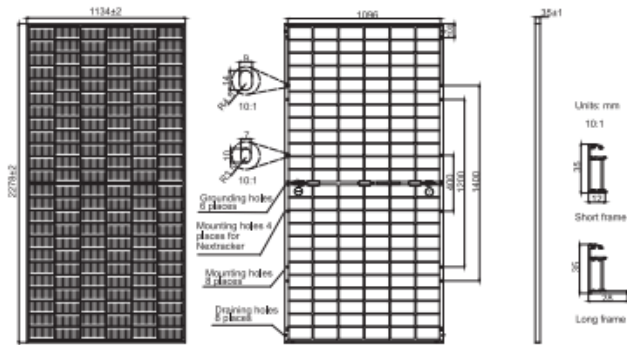
www.jasolar.com

Specifications subject to technical changes and tests. JA Solar reserves the right of final interpretation.



JAM72D30 525-550/MB Series

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

| | |
|------------------------------------|---|
| Cell | Mono |
| Weight | 31.6kg±3% |
| Dimensions | 2278±2mm×1134±2mm×35±1mm |
| Cable Cross Section Size | 4mm ² (IEC), 12 AWG(UL) |
| No. of cells | 144(6×24) |
| Junction Box | IP68, 3 diodes |
| Connector | QC 4.10-35 |
| Cable Length (Including Connector) | Portrait:300mm(+)/400mm(-); Landscape:1300mm(+)/1300mm(-) |
| Front Glass/Back Glass | 2.0mm/2.0mm |
| Packaging Configuration | 31pcs/Pallet 620pcs/40HQ Container |

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

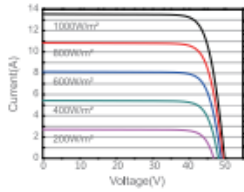
| TYPE | JAM72D30 -525/MB | JAM72D30 -530/MB | JAM72D30 -535/MB | JAM72D30 -540/MB | JAM72D30 -545/MB | JAM72D30 -550/MB |
|--|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Rated Maximum Power(Pmax) [W] | 525 | 530 | 535 | 540 | 545 | 550 |
| Open Circuit Voltage(Voc) [V] | 49.15 | 49.30 | 49.45 | 49.60 | 49.75 | 49.90 |
| Maximum Power Voltage(Vmp) [V] | 41.15 | 41.31 | 41.47 | 41.64 | 41.80 | 41.96 |
| Short Circuit Current(Isc) [A] | 13.85 | 13.72 | 13.79 | 13.86 | 13.93 | 14.00 |
| Maximum Power Current(Imp) [A] | 12.76 | 12.83 | 12.90 | 12.97 | 13.04 | 13.11 |
| Module Efficiency [%] | 20.3 | 20.5 | 20.7 | 20.9 | 21.1 | 21.3 |
| Power Tolerance | | | | 0→+5W | | |
| Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc}) | | | | +0.045%/°C | | |
| Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc}) | | | | -0.275%/°C | | |
| Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp}) | | | | -0.350%/°C | | |
| STC | Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G | | | | | |

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

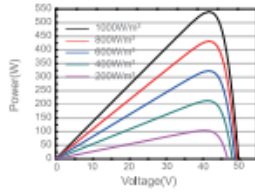
| ELECTRICAL CHARACTERISTICS WITH 10% SOLAR IRRADIATION RATIO | | | | | | | OPERATING CONDITIONS | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| TYPE | JAM72D30-525/MB | JAM72D30-530/MB | JAM72D30-535/MB | JAM72D30-540/MB | JAM72D30-545/MB | JAM72D30-550/MB | Maximum System Voltage | 1500V DC |
| Rated Max Power(Pmax) [W] | 562 | 567 | 572 | 578 | 583 | 589 | Operating Temperature | -40°C~+85°C |
| Open Circuit Voltage(Voc) [V] | 49.54 | 49.67 | 49.80 | 49.93 | 50.03 | 50.21 | Maximum Series Fuse Rating | 30A |
| Max Power Voltage(Vmp) [V] | 41.14 | 41.31 | 41.47 | 41.65 | 41.78 | 41.95 | Maximum Static Load,Front* | 5400Pa(112 lb/ft ²) |
| Short Circuit Current(Isc) [A] | 14.61 | 14.68 | 14.76 | 14.83 | 14.91 | 14.98 | Maximum Static Load,Back* | 2400Pa(50 lb/ft ²) |
| Max Power Current(Imp) [A] | 13.65 | 13.73 | 13.80 | 13.88 | 13.95 | 14.03 | NOCT | 45±2°C |
| Irradiation Ratio(rear/front) | 10% | | | | | | Bifaciality** | 70%±10% |
| *For NexTracker installations, Maximum Static Load, Front is 2400Pa while Maximum Static Load, Back is 2400Pa. **Bifaciality=Pmax,rear/Rated Pmax,front | | | | | | | Fire Performance | UL Type 29 |

CHARACTERISTICS

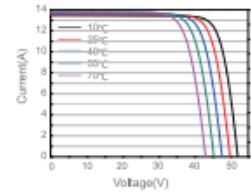
Current-Voltage Curve JAM72D30-540/MB



Power-Voltage Curve JAM72D30-540/MB



Current-Voltage Curve JAM72D30-540/MB



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20210909A