

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA E METROVIÁRIA

HENRIQUE DIETRICH OTTONI DE BRITO

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE
GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA OFF-GRID EM UM TREM DE
PASSAGEIROS

Joinville

2024

HENRIQUE DIETRICH OTTONI DE BRITO

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE
GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA OFF-GRID EM UM TREM DE
PASSAGEIROS

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel no Curso de
Graduação em Engenharia Ferroviária e
Metroviária do Centro Tecnológico de
Joinville da Universidade Federal de Santa
Catarina.

Orientadora: Dra. Elisete Santos da Silva
Zagheni

Joinville

2024

HENRIQUE DIETRICH OTTONI DE BRITO

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE
GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA OFF-GRID EM UM TREM DE
PASSAGEIROS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ferroviária e Metroviária, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 04 de dezembro de 2024.

Banca Examinadora:

Dra. Elisete Santos da Silva Zagheni
Orientador/Presidente

Dr. Diego Santos Greff
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dra. Janaina Renata Garcia
Membra
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a minha bisavó, dona Vânia, que sempre me apoiou e motivou para a conclusão do curso.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que, de alguma maneira, contribuíram para a conclusão deste trabalho. A meus pais que com muita luta tornaram possível frequentar uma faculdade do calibre da UFSC e que sempre me mantiveram nos trilhos ao longo do curso. A minha namorada Heloísa pelo apoio emocional e incentivo para a conclusão do trabalho. A professora e orientadora Elisete pelo apoio durante todo o período deste semestre, que sempre encontrou um tempo para auxiliar na escrita e confecção do trabalho. Aos grupos de amigos que fizeram do tempo em que estive na faculdade um lugar melhor e mais leve.

Com relação às pesquisas feitas, um agradecimento especial ao engenheiro Raidam Fernandes e a engenheira Camila Paiva que trabalham na VALE e puderam auxiliar com os dados utilizados neste trabalho, sem eles a análise seria mais rasa e o resultado obtido não ficaria próximo à realidade atual.

RESUMO

Neste trabalho é realizada uma análise de viabilidade econômica da instalação de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica off-grid em trens de passageiros, com o intuito de reduzir o consumo de diesel e, conseqüentemente, a emissão de gases de efeito estufa. O estudo utiliza como base o trem de passageiros que circula pela Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), onde é analisada a incidência solar ao longo do trajeto e as cargas elétricas demandadas de cada vagão presente na composição. Para obter um quantitativo de materiais e valor total, o sistema foi dimensionado considerando o banco de baterias, os módulos fotovoltaicos, os controladores de carga e, quando necessário, o inversor. Para a análise de viabilidade econômica, foram utilizados indicadores como payback simples, Valor Presente Líquido (VPL) e Retorno sobre o Investimento (ROI), resultando em uma conclusão positiva sobre a instalação do sistema dimensionado.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; Viabilidade econômica; Sistema off-grid; Trem de passageiros;

ABSTRACT

This study presents an economic feasibility analysis of installing an off-grid solar photovoltaic generation system in passenger trains, aiming to reduce the Diesel consumption and consequentially, lowering greenhouse gases emission. The study utilizes the passenger train that circulates through the Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), where the solar incidence at the route and the electrical loads of the wagons considered in the composition are analyzed. To obtain the quantity of materials and total value of the system, it was dimensioned considering the battery bank, photovoltaic modules, charge controllers and, when necessary, the inverter. For the economic feasibility analysis, indicators such as simple payback, Net Present Value (NPV) and Return of Investment (ROI) were applied, yielding a positive result regarding the installation of the system designed.

Keywords: Solar photovoltaic energy; Economic feasibility; Off-grid system; Passenger train.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição de mercado das tecnologias de células fotovoltaicas	19
Figura 2 - Diagrama de uma célula fotovoltaica com junção p-n.....	21
Figura 3 - Estrutura física de uma junção p-n de uma célula fotovoltaica	21
Figura 4 - Exemplo de sistema isolado híbrido.....	22
Figura 5 - Camadas de um módulo fotovoltaico	24
Figura 6 - Símbolo do inversor	25
Figura 7 - Irradiação solar global horizontal, média anual.....	29
Figura 8 - Alimentação dos trens de passageiros com sistemas híbridos	33
Figura 9 - Fluxograma	35
Figura 10 - Trajeto EFVM.....	36
Figura 11 - Trem de passageiros EFVM	37
Figura 12 - Horário de circulação	37
Figura 13 - Composição trem de passageiros EFVM.....	38
Figura 14 - Grandeza HSP/dia	40
Figura 15 - Dados do inversor Off-Grid	46
Figura 16 - Características do módulo ZTROON ZTP-340M.....	52
Figura 17 - Vista superior do vagão	54
Figura 18 - Vista frontal do vagão	55
Figura 19 - Preço médio Diesel S10.....	58
Figura 20 - Fluxo de caixa (Economia anual).....	62
Figura 21 - Fluxo de caixa acumulado	63
Figura 22 - VPL anual	63
Figura 23 - VPL acumulado no período de 25 anos	64
Figura 24 - ROI.....	65
Figura 25 - VPL acumulado com diferentes TMAs	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Irradiação Solar Global no trajeto.....	39
Tabela 2 - HSP/dia trajeto EFVM	40
Tabela 3 - Carga de um vagão classe econômica	41
Tabela 4 - Carga de um vagão classe executiva.....	42
Tabela 5 - Carga de um vagão restaurante.....	42
Tabela 6 - Carga de um vagão lanchonete	43
Tabela 7 - Carga de um carro gerador	44
Tabela 8 - Carga de um vagão especial.....	44
Tabela 9 - Carga e consumo considerados para vagões tipo	45
Tabela 10 - Capacidade de baterias para os vagões tipo	47
Tabela 11 - Dados de perda e fatores empíricos	48
Tabela 12 - Energia armazenada pelo conjunto de baterias	48
Tabela 13 - Comparativo entre dados calculados e os do fornecedor	49
Tabela 14 - Valores de baterias em série.....	50
Tabela 15 - Baterias em paralelo para os vagões.....	50
Tabela 16 - Quantidade de baterias e capacidade do banco	51
Tabela 17 - Dados de energia produzida por módulo	53
Tabela 18 - Número de módulos necessários	54
Tabela 19 - Corrente total do sistema para cada vagão tipo.....	55
Tabela 20 - Dados dos controladores de carga por vagão tipo.....	56
Tabela 21 - Dados do SFI para cada vagão tipo	57
Tabela 22 - Valores totais do SFI.....	57
Tabela 23 - Média histórica e % de aumento do Óleo Diesel S10	58
Tabela 24 - IPCA Acumulado anual	60
Tabela 25 - Considerações do investimento	61
Tabela 26 - Fluxo de caixa anual (Economia anual)	61
Tabela 27 - Resumo dos indicadores econômicos.....	65
Tabela 28 - VPL com diferentes TMAs.....	66
Tabela 29 - Considerações sem o desconto	67
Tabela 30 - Resumo dos indicadores econômicos.....	67

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – ROI (Brigham; Ehrhardt, 2018).....	31
Equação 2 – VPL (Brealey; Myers; Allen, 2016)	31
Equação 3 - Payback Simples.....	32
Equação 4 - Demanda baterias (Miranda, 2018).....	47
Equação 5 - Demanda baterias corrigida (Miranda, 2018).....	47
Equação 6 - Energia armazenada (Miranda, 2018).....	48
Equação 7 - Baterias em série (Villalva, 2015).....	49
Equação 8 - Baterias em paralelo (Villalva, 2015).....	50
Equação 9 - Energia produzida por módulo (Villalva, 2015)	52
Equação 10 - Correção da energia produzida (Miranda, 2018).....	53
Equação 11 - Número de módulos necessários (Miranda, 2018).....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas e Técnicas.

ABNT NBR: Norma Brasileira aprovada pela ABNT.

ABSOLAR: Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.

CA: Corrente Alternada.

CC: Corrente Contínua.

CNT: Confederação Nacional do Transporte.

EFVM: Estrada de Ferro Vitória a Minas

ESFV: Energia Solar Fotovoltaica.

HSP: Hora de Sol Pleno

IPCA: Índice Nacional de Preços ao Consumidor

MPPT: Maximum Power Point Tracker (do português, Seguidor do Ponto de Potência Máximo).

ROI: Retorno sobre o investimento (do inglês Return of Investment).

SFCR: Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.

SFI: Sistema Fotovoltaico Isolado.

SFV: Sistema Fotovoltaico.

STC: Standard Test Conditions.

VPL: Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVOS.....	16
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	16
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.2. CLASSIFICAÇÃO DE METODOLOGIA.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	18
2.1.1. FUNCIONAMENTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	19
2.1.2. GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR OFF-GRID	21
2.1.3. PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ESFV OFF-GRID	23
2.1.3.1. MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO.....	23
2.1.3.2. INVERSOR DE TENSÃO CC-CA OFF-GRID	24
2.1.3.3. BANCO DE BATERIAS	25
2.1.3.4. CONTROLADOR DE CARGA	26
2.1.4. RECURSO SOLAR.....	26
2.1.4.1. MAPA SOLARIMÉTRICO.....	28
2.2. ANÁLISE ECONÔMICA	29
2.2.1 FLUXO DE CAIXA (ENTRADA DE RECURSOS FINANCEIROS)	30
2.2.2 RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO (ROI)	30
2.2.3 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	31
2.2.4 PAYBACK SIMPLES.....	32
2.3. LOCOMOTIVAS E A ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA DOS VAGÕES	32
3. ESTUDO DE CASO: ESTRADA DE FERRO VITÓRIA À MINAS (EFVM)	34
3.1. FLUXOGRAMA DO DIMENSIONAMENTO.....	34
3.2. DADOS GERAIS.....	36
3.3. INCIDÊNCIA SOLAR NO TRAJETO	38
3.4. CARGA ELÉTRICA DOS VAGÕES E INVERSOR OFF-GRID.....	41
3.5. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS.....	46
3.6. CONJUNTO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	51

3.7. CONTROLADORES DE CARGA	55
3.8. DADOS DO SFI	56
3.9. MÉDIA HISTÓRICA DIESEL S10.....	57
4. ANÁLISE ECONÔMICA	60
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
5.1. TRABALHOS FUTUROS.....	69
REFERÊNCIAS.....	70
ANEXOS	72
ANEXO A – FICHA TÉCNICA INVERSOR.....	72
ANEXO B – FICHA TÉCNICA BATERIAS	75
ANEXO C – FICHA TÉCNICA MÓDULOS	81
ANEXO D – FICHA TÉCNICA CONTROLADORES DE CARGA	82

1. INTRODUÇÃO

A finalidade básica de um vagão ferroviário é suportar e acondicionar mercadorias ao longo de determinado trajeto. No início da utilização das ferrovias, em âmbito mundial, para o transporte de carga, existia apenas um tipo de vagão para todas as variedades de carregamentos. Assim como as locomotivas evoluíram, os vagões acompanharam este desenvolvimento, de modo que, existem diversos tipos de vagões, cada um com sua aplicação específica (SILVA, 2012).

Existem diversas opções de transporte de passageiros sobre trilhos, desde pequenos trens movimentando pessoas dentro de um complexo, como um aeroporto, até composições de alta velocidade, conectando diferentes cidades. Entre os diferentes propósitos, é possível dividir o transporte de passageiros em urbano e regional (VAZ et al., 2014).

Segundo os dados do Anuário Confederação Nacional dos Transportes (2021), em 2020 foram produzidos 72 carros de passageiros, o que representa uma redução de 27,3% em relação a 2019. A Companhia Vale do Rio Doce (VALE) adquiriu 62 carros dessa produção de 2020, com a fabricante chinesa CRRC SIFANG para agregar à frota da Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM) e Estrada de Ferro Carajás (EFC). Essa aquisição teve o intuito de alcançar a projeção da concessionária de transportar 1.075.125 passageiros/ano a partir de 2025 (VALE, 2021).

Tendo em vista o aumento na frota de vagões de passageiros, entende-se que no futuro haverá mais oportunidades para locomoção utilizando o transporte sobre trilhos. Considerando-se que, atualmente, os trens de passageiros de média/longa distância no Brasil utilizam locomotivas diesel-elétricas, há uma margem de melhoria na economia de diesel, assim como a redução da emissão de gases de efeito estufa.

O uso de energia renovável para os modais de transporte desempenha um papel importante na redução dos gases de efeito estufa, o Brasil conta com uma matriz energética bem dividida e com aproximadamente 84,25% de fontes renováveis (ANEEL, 2024) o que demonstra o aproveitamento dos recursos naturais e preocupação com o uso dessas fontes.

A energia solar no Brasil é um tema relevante para diversificação das fontes de energia, principalmente o modelo de geração distribuída, que alimenta as residências, empresas e indústrias. O modelo de geração *off-grid*, geração de energia

diretamente a baterias e consumo direto, tem a sua importância principalmente para recarregar baterias utilizadas em postes de luz, barcos, e locais onde não há rede elétrica próxima.

Para mitigar o consumo de diesel e conseguir uma redução dos gases de efeito estufa é interessante integrar o modal de transporte com as energias renováveis, visando isso e aproveitando o crescimento do uso de energia solar no Brasil, o presente trabalho realiza uma análise de viabilidade econômica da instalação de um sistema de Energia Solar Fotovoltaica (ESFV) em trens de passageiros.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração de ESFV em trens de passageiros.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Considerando-se o desenvolvimento do trabalho e o objetivo geral apresentado, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Entender o funcionamento da ESFV, seus equipamentos e especificidades;
- Analisar o consumo de energia em um vagão de passageiro;
- Analisar a incidência solar no trajeto da ferrovia;
- Avaliar se os custos de instalação e manutenção se mostram viáveis;

1.2. CLASSIFICAÇÃO DE METODOLOGIA

A fim de determinar o enquadramento metodológico da pesquisa feita neste trabalho, utiliza-se a orientação de Silva e Menezes (2005). Assim, considera-se a classificação da pesquisa com base nos pontos de vista:

- Da sua natureza dos dados: aplicada, pois gera conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos envolvendo interesses locais;
- Da forma de abordagem do problema: quantitativa, pois considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las.
- De seus objetivos: exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema e permitir a construção de hipóteses; descritiva, pois visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relação entre variáveis;
- Dos procedimentos técnicos: estudo de caso, pois envolve o estudo de poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo trata da revisão bibliográfica para fundamentar o trabalho e permitir o entendimento dos capítulos seguintes.

2.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O conceito de energia fotovoltaica surgiu em 1839 com a descoberta do físico francês Alexandre Edmond Becquerel por meio de um experimento com a primeira célula fotovoltaica confeccionada por ele. O experimento consistia em utilizar uma célula composta por dois eletrodos imersos numa solução ácida, a qual era iluminada, com isso o físico pôde constatar uma geração de eletricidade no conjunto e assumiu que a eletricidade gerada era devido à luz que incidia na célula. (RIBEIRO, 2021).

Porém, a produção de forma industrializada não evoluiu até o ano de 1956. Os avanços ocorrem somente após esse ano, a partir de diversos estudos realizados junto com a descoberta de novas tecnologias e características dos materiais utilizados.

O desenvolvimento inicial da energia solar se deu, em parte, devido à utilização de células fotovoltaicas na “corrida espacial” (entre 1957 e 1975), onde havia uma grande competição entre os Estados Unidos da América (EUA) e a União Soviética (URSS), com ambos os países utilizando as aplicações de sistemas de geração de energia solar em seus satélites enviados ao espaço.

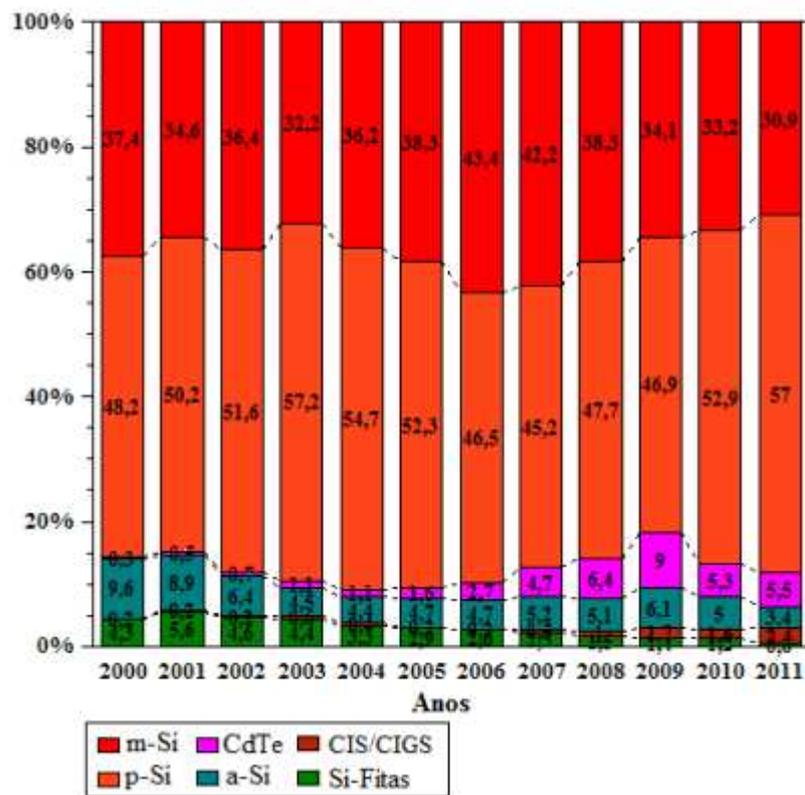
Outro fator que intensificou os avanços nas tecnologias de sistemas de ESFV foi a crise de petróleo do ano de 1973, onde se viu necessária a diversificação dos recursos utilizados na matriz energética dos países. Percebeu-se que para tornar economicamente viável essa forma de conversão de energia, seria necessário naquele momento, reduzir em até 100 vezes o custo de produção das células então utilizadas nas aplicações espaciais. (PINHO; GALDINO, 2014)

Avaliando os benefícios trazidos pelo sistema de ESFV é possível constatar a facilidade da instalação, manutenção reduzida e baixo custo em longo prazo, alta durabilidade do equipamento visto que a maioria das fabricantes estima que em até 25 anos os módulos fotovoltaicos ainda terão 75% de eficiência, além dos benefícios

mencionados anteriormente como: fonte de energia renovável, não poluente e silenciosa quando comparada a outras fontes.

A grande maioria das células fotovoltaicas são fabricadas com lâminas de silício cristalino, podendo ser monocristalino ou policristalino. Nos últimos 60 anos houve o avanço de diversas tecnologias relacionadas a células fotovoltaicas, porém a de silício segue com alta participação no mercado como mostra a Figura 1. (PINHO; GALDINO, 2014):

Figura 1 - Composição de mercado das tecnologias de células fotovoltaicas



Fonte: PINHO; GALDINO (2014)

A Figura 1 mostra que apesar de existirem outras tecnologias no mercado, as células fabricadas com silício continuam dominando as opções disponíveis e representam a maior parte do que é vendido.

2.1.1. FUNCIONAMENTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

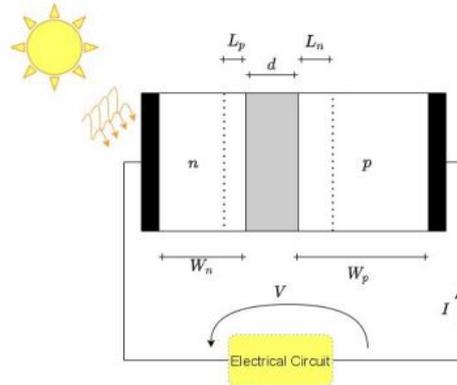
A energia fotovoltaica é proveniente da irradiação solar com a conversão dessa luz em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Como mostrado na Figura 1, as células fotovoltaicas são em sua maioria fabricadas com o silício, um material semicondutor, fundamental para que o processo de geração de energia solar ocorra. (PINHO; GALDINO, 2014)

Como o silício é o material mais utilizado na composição das células fotovoltaicas, vale ressaltar como se dá o seu funcionamento. Uma junção de células p-n contém duas áreas, sendo a n onde há fósforo adicionado ao silício e contém um elétron que não está totalmente livre na camada de valência, e a p onde há boro adicionado ao silício, com a falta de um elétron, que é denominado de lacuna. Com essa junção há a passagem de elétrons livres do lado n para o lado p, que contém as lacunas a serem preenchidas. Com essa migração de elétrons há um acúmulo de cargas negativas no lado p e positivas no lado n, formando um campo elétrico permanente que não permite a movimentação adicional de elétrons, gerando assim um equilíbrio (TOMALSQUIM, 2016).

No momento que a junção p-n é exposta a luz, fótons são absorvidos, e com isso há a geração de pares elétron-lacuna. Caso isso ocorra numa região onde há um campo elétrico terá uma aceleração dessas cargas formando uma corrente que passa pela junção. O efeito fotovoltaico é basicamente a passagem dessas cargas pela junção p-n formando uma diferença de potencial. Caso haja um condutor conectado nas duas extremidades da junção p-n ocorrerá a transferência de elétrons e com isso a geração de energia (TOMALSQUIM, 2016)

A Figura 2 mostra um diagrama de uma célula fotovoltaica que utiliza uma junção p-n, com o lado positivo(p) e negativo(n) e um circuito elétrico alimentado pela diferença de potencial gerada pela junção.

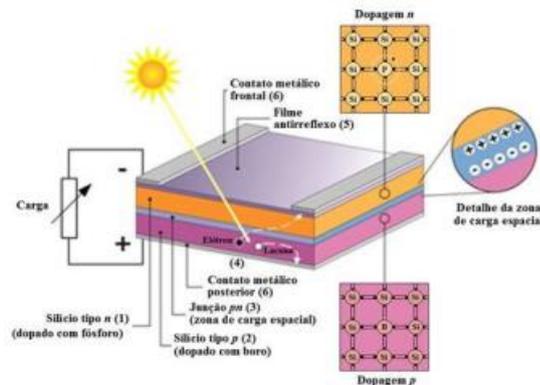
Figura 2 - Diagrama de uma célula fotovoltaica com junção p-n



Fonte: Marques Lameirinhas, R.A. et al (2022)

A Figura 3 mostra como é a estrutura física de uma junção p-n de uma célula fotovoltaica, com os detalhes de dopagem n na célula laranja e dopagem p na célula roxa. Também, há o detalhe da zona de carga espacial, local em que há o contato entre as cargas positivas e negativas geradas pelas células, ou seja, a junção p-n.

Figura 3 - Estrutura física de uma junção p-n de uma célula fotovoltaica



Fonte: GTES (2014)

Além disso, a Figura 3 também mostra o contato metálico frontal e posterior, que tem como funcionalidade fazer a ligação no circuito da carga a ser alimentada.

2.1.2. GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR OFF-GRID

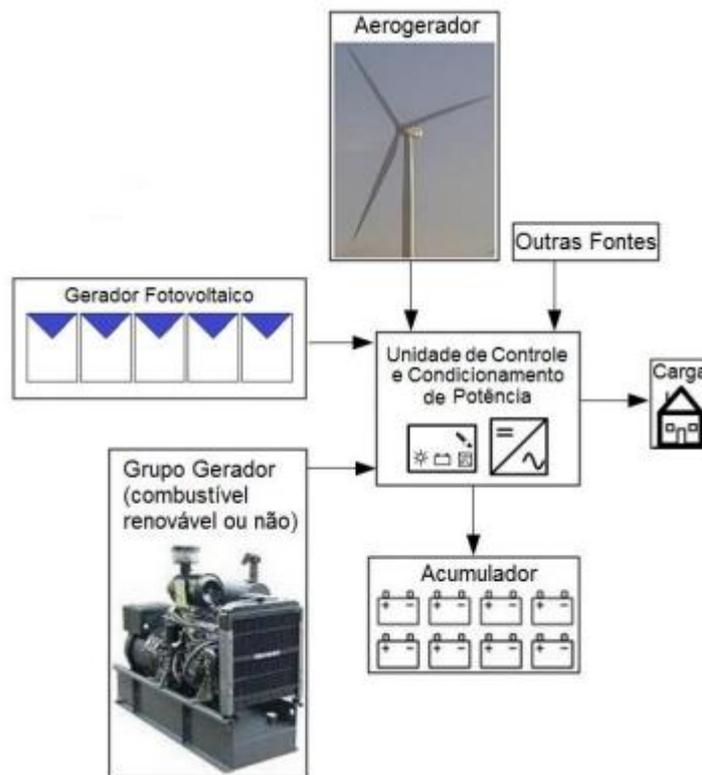
É possível dividir a geração de energia em algumas modalidades como: sistemas isolados ou autônomos (off-grid) e sistemas interligados à rede convencional

sejam eles centralizados ou descentralizados e integrados à edificação (RÜTHER, 2004).

O sistema de geração de ESFV isolado ou comumente chamado de off-grid tem por definição não estar conectado à rede convencional ou pública. Dito isto, esse tipo de sistema necessita de baterias para armazenamento de energia para períodos em que a irradiação solar não será capaz de atender a carga necessária para a operação do equipamento ou sistema que utilizará a energia.

Este tipo de sistema tem sua aplicação indicada para o uso em locais remotos onde não há acesso à rede pública ou quando é estudada a integração do sistema fotovoltaico a outro tipo de geração de energia para alimentação das cargas. A Figura 4 mostra um exemplo de um sistema isolado com diferentes fontes geradoras de energia.

Figura 4 - Exemplo de sistema isolado híbrido



Fonte: PINHO; GALDINO (2014)

Ainda, a figura 4 traz uma visão macro sobre quais componentes estarão presentes em um sistema isolado híbrido como: diferentes unidades geradoras de

energia, unidade de controle de potência onde haverá controladores de carga e acumuladores de carga ou banco de baterias.

2.1.3. PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ESFV OFF-GRID

O intuito desta seção é apresentar os principais componentes de um sistema de geração de ESFV off-grid, partindo da captação da irradiação solar e a transformação dela em energia elétrica na forma de corrente alternada, salientando as funções de cada um deles.

2.1.3.1. MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO

A NBR 10899:2020 define o módulo fotovoltaico como uma unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e encapsuladas com o objetivo de gerar energia elétrica (ABNT, 2020).

É a célula básica do sistema gerador, sem este componente não há a captação da irradiação solar e não é possível gerar energia elétrica. A tensão de operação do sistema em corrente contínua (CC) é definida pela quantidade de módulos conectados em série, por sua vez, a potência instalada, em CC, se dá pela soma da potência nominal dos módulos individuais (RÜTHER, 2004).

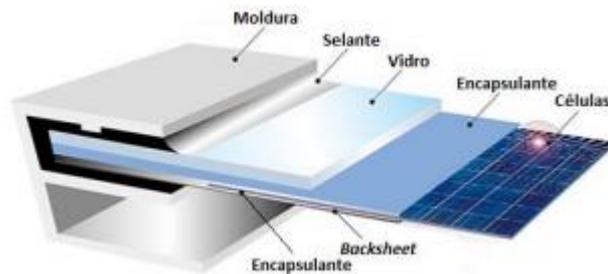
Dentre os módulos fabricados utilizando o silício, tem-se dois tipos de fabricação comumente usados, o silício monocristalino (m-Si) e o silício policristalino (p-Si), sendo a tecnologia do monocristalino mais antiga e com um custo maior para a produção. O p-Si apresenta uma menor eficiência de conversão, porém como têm um custo de produção menor, tem aumentado o seu espaço no mercado (RÜTHER, 2004).

Os módulos fotovoltaicos não são compostos apenas pelas células fotovoltaicas, como mostra a Figura 5 onde as camadas estão descritas. São elas:

- Moldura: tem a função de manter as células no local e servir como apoio para fixação, sendo geralmente fabricada em alumínio;
- Selante: impede a entrada de gases e umidade, além de unir as camadas internas do módulo;

- Vidro: camada externa rígida que protege as células e os condutores do ambiente externo, permitindo a passagem de luz;
- Encapsulante: filme que envolve as células, protegendo-as da umidade e de materiais externos, além de otimizar a condução elétrica;
- Células fotovoltaicas: componentes eletrônicos responsáveis pela conversão direta da energia eletromagnética em energia elétrica (TOMALSQUM, 2016).

Figura 5 - Camadas de um módulo fotovoltaico



Fonte: TOLMASQUIM, M. T. (2016)

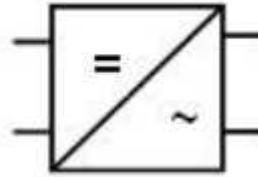
Os módulos fotovoltaicos podem apresentar outras composições, porém a Figura 5 traz o que é comumente utilizado e disponível para aquisição.

2.1.3.2. INVERSOR DE TENSÃO CC-CA OFF-GRID

A NBR 10899:2020 define o inversor como um equipamento que converte a corrente contínua (CC) do gerador fotovoltaico em corrente alternada (CA) (ABNT, 2020).

Sendo representado em um diagrama de blocos como mostra a Figura 6, isso porque os elétrons na CC têm o fluxo com uma movimentação uniforme e no caso da CA o fluxo de elétrons tem diversas trocas de sentido por segundo, fazendo com que apresente uma curva senoidal. (BESSO, 2017)

Figura 6 - Símbolo do inversor



Fonte: PINHO; GALDINO (2014)

Há uma divisão dos inversores em 3 categorias, centrais, string e micro inversores. Os centrais têm seu uso comumente associados a usinas de grande porte com potência na casa do MW, enquanto os de string e os micros inversores ficam com o uso primariamente em residências, comércios e até indústrias.

É possível categorizar os inversores de acordo com o seu uso, e com isso dividir em duas opções, os inversores para sistemas fotovoltaicos isolados (SFI) e os inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR). No geral estas 2 categorias compartilham dos mesmos princípios, com os SFCR tendo algumas especificidades a mais para atender as exigências das concessionárias de energia elétrica, o que não é necessário por parte dos SFI pois não há conexão com a rede convencional (TOMALSQUIM, 2014).

Como o trabalho visa utilizar o gerador primário (motor a diesel) e o sistema fotovoltaico para suprir as cargas dos vagões, o inversor precisa estar posicionado entre o gerador e a carga, utilizando de um regulador de carga para evitar as sobrecargas no sistema (OVELHA, 2017).

2.1.3.3. BANCO DE BATERIAS

Para sistemas off-grid o armazenamento de energia em um banco de baterias é imprescindível, visto que a energia que é gerada e não utilizada no autoconsumo precisa de um destino.

Além disso, é importante pois como a energia solar é considerada uma fonte de energia intermitente, há uma variação do quanto um sistema fotovoltaico consegue gerar ao longo do dia, fora as variações climáticas que impactam na geração como tempo nublado e chuvas. Com isso, parte da energia elétrica que foi convertida por

meio dos módulos pode ser armazenada para um uso futuro, quando houver a demanda (OVELHA, 2017).

As baterias têm por definição serem um conjunto de células ou vasos eletroquímicos que podem ser conectados em série e/ou paralelo, e tem a capacidade de armazenar energia elétrica na forma química através do processo eletroquímico de oxidação e redução ocorrido no seu interior. Ao conectar uma bateria carregada a uma carga elétrica, o processo inverso ocorre, gerando uma corrente contínua pela conversão da energia química em energia elétrica (PINHO; GALDINO, 2014).

2.1.3.4. CONTROLADOR DE CARGA

Os controladores de cargas, como comentado no item 2.1.3.2 Inversores, página 23, podem estar incluídos diretamente no inversor, eliminando a necessidade de adicionar um controlador externo.

Geralmente nos sistemas off-grid há a inclusão de um controlador de carga, isso acontece, pois, controladores se compatíveis com o tipo de bateria utilizado têm a capacidade de estender a vida útil das baterias, protegendo-as de cargas e descargas excessivas. São equipamentos críticos para o tipo de sistema fotovoltaico escolhido para este trabalho e caso não sejam bem projetados ou eventualmente falhem possibilitam que danos irreversíveis possam ser causados às baterias, um dos componentes mais caros do sistema (LUQUE; HEGEDUS, 2003).

Para sistemas off-grid ou isolados existem dois tipos de controladores de carga utilizados, os controladores do tipo Pulse Width Modulation (PWM) e os controladores do tipo Maximum Power Point Tracking (MPPT). Para os controladores PWM a forma de carregamento das baterias é através de pulsos em alta frequência, porém uma parcela relevante de potência é desperdiçada visto que ao passar a energia para a bateria ele abaixa a tensão dos geradores e mantém a corrente. Os controladores MPPT contam com rastreadores que atualizam o ponto máximo de corrente dos geradores, ao passar a energia para as baterias a tensão dos geradores é reduzida até igualar a do banco de baterias e a corrente é aumentada, mantendo a potência (GTES, 2014).

2.1.4. RECURSO SOLAR

Com o intuito de avaliar o aspecto econômico do SFI, é necessário ter um olhar diferente para o chamado recurso solar, ou, como a radiação solar é afetada por recursos alheios como é visto neste tópico.

A radiação solar é a forma com que a energia proveniente do Sol chega à Terra, e a sua intensidade é dada por meio da sua radiância, “a grandeza se refere à quantidade de energia radiante num intervalo unitário de comprimento de onda que atravessa uma unidade de área tomada perpendicularmente à direção considerada na unidade do tempo.” (MARTINS; PEREIRA; ECHER, p. 145-149, 2004)

Com o conhecimento da radiância é possível determinar outra grandeza importante no estudo da radiação atmosférica, a densidade de fluxo de radiação, essa sendo dividida em duas terminologias diferentes: irradiância, quando a densidade de fluxo de radiação incidente sobre uma superfície, e emitância radiante, a densidade de fluxo de radiação emitido pela superfície (MARTINS; PEREIRA; ECHER, p. 145-149, 2004)

Complementando o parágrafo anterior, o termo irradiância solar é referenciado em termos de fluxo de potência, e quando utilizado o termo irradiação solar estará definido em termos de energia por unidade de área. A “constante solar” que é a densidade média anual do fluxo energético vindo da irradiância solar, medida em um plano perpendicular à propagação dos raios solares na atmosfera tem o valor de 1.367 W/m^2 (GTES, 2014).

A avaliação da quantidade de irradiação solar que atinge uma determinada área é essencial para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, já que a energia gerada está diretamente relacionada à irradiação solar recebida. Um dos métodos utilizados para essa estimativa é a análise de séries temporais. Esse método envolve prever a irradiação solar em um local específico com base em dados coletados ao longo de um período, seja por estações de medição terrestres ou por informações captadas por satélites. Além disso, modelos matemáticos podem ser aplicados para estimar a irradiação em regiões diferentes dos pontos de medição (PEREIRA et al, 2017).

Além de sofrer alteração da atmosfera, há outros fatores que também podem impactar o montante de energia elétrica gerada pelo SFV, de acordo com Pereira (2017) são eles:

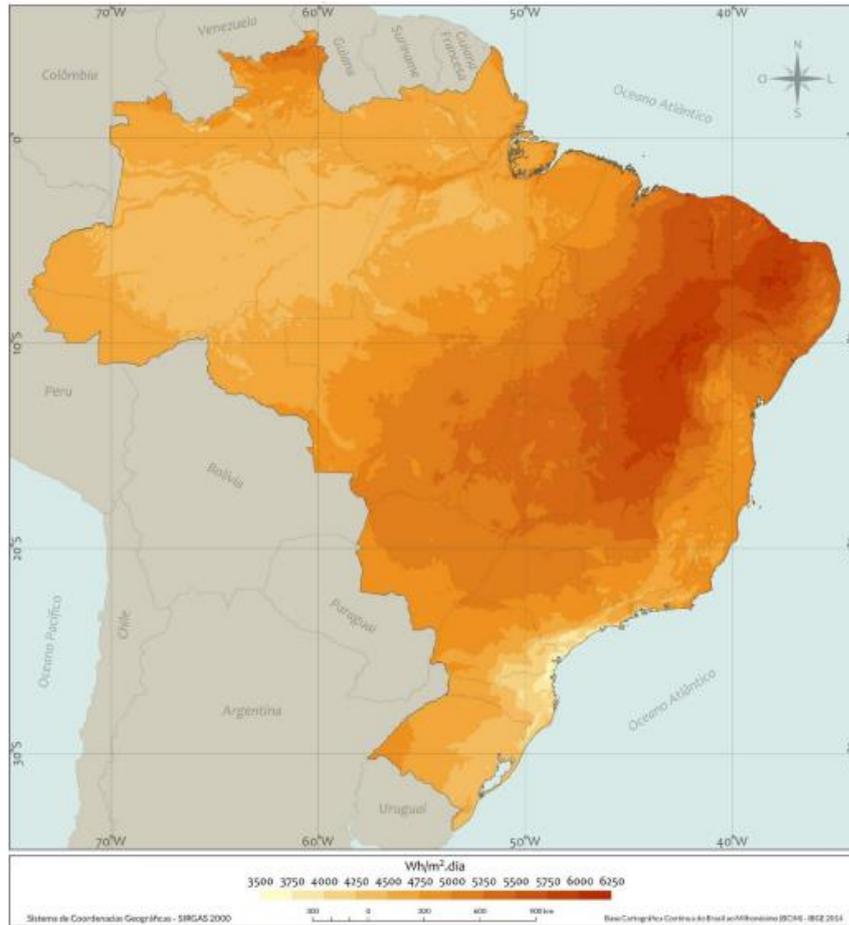
- Latitude: a proximidade à linha do Equador aumenta a incidência de raios solares;

- Estações/épocas do ano: devido ao movimento de translação da Terra a inclinação dos raios solares varia em certos períodos. Assim, haverá meses em que o ângulo de incidência não será tão favorável à geração de energia solar;
- Horário: está diretamente relacionado ao movimento de rotação da Terra. Quanto menor o tempo de luz solar durante o dia, menor será a incidência de raios solares, o que reduz a geração de energia.
- Fatores climáticos: condições como nebulosidade, chuva e outros fenômenos podem impedir a passagem de raios solares;
- Sombras: ao bloquear os módulos fotovoltaicos, as sombras reduzem drasticamente a capacidade de geração de energia;

2.1.4.1. MAPA SOLARIMÉTRICO

Escrito por Pereira (2017), a segunda edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar auxilia na parte visual dos dados de irradiância solar utilizando-se de mapas para exemplificar o total diária da irradiação global horizontal em média anual, como mostra a Figura 7, ou mês a mês. A média anual permite um cálculo aproximado da demanda necessária de energia, porém para certos tipos de aplicações é interessante considerar a irradiação mês a mês.

Figura 7 - Irradiação solar global horizontal, média anual



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia solar, 2ªed (2017)

Na Figura 7 é possível visualizar que as regiões Centro-Oeste e Nordeste do país têm altos índices de irradiação e são locais propícios para a instalação de sistemas de geração de ESFV.

2.2. ANÁLISE ECONÔMICA

Como o objetivo principal do presente trabalho é a avaliação econômica na instalação de um SFI em um trem de passageiros, faz-se necessário uma fundamentação sobre os termos e conhecimentos utilizados para chegar a uma conclusão. Nesta seção serão dispostos os conceitos principais de uma análise econômica, assim como uma explicação de cada item.

Um SFI pode ser considerado como um investimento para a empresa que estiver disposta a fazer a instalação, sendo assim, é necessário utilizar uma análise racional levando-se em consideração os diversos riscos envolvidos. Uma análise

econômica permite uma avaliação prévia de como o dinheiro investido será retomado e, uma forma de mitigar os riscos e diminuir os prejuízos.

Entre os principais indicadores de uma análise econômica é possível destacar o Retorno Sobre o Investimento (ROI), o Valor Presente Líquido (VPL) e o Payback simples. Importante frisar que além dos conceitos técnicos, é importante observar o impacto do projeto nas questões sociais e ambientais, para ter uma visão do retorno financeiro e da contribuição para um desenvolvimento econômico e social, respeitando as questões ambientais.

2.2.1 FLUXO DE CAIXA (ENTRADA DE RECURSOS FINANCEIROS)

Para justificar o investimento em um projeto é fundamental ter registrado a previsibilidade da entrada de recursos que o investimento gerará, com isso poderá ser justificada a viabilidade ou não de realização.

O fluxo de caixa pode ser considerado o item mais importante para uma análise econômica tendo em vista que é basicamente toda a movimentação que ocorre na conta da empresa em que se está fazendo a avaliação, as boas práticas recomendadas incluem um registro detalhado de todos os ganhos e perdas registrados, diariamente, mensalmente e anualmente.

2.2.2 RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO (ROI)

O Retorno Sobre o Investimento (ROI), que vem do inglês Return of Investment, é uma taxa de retorno do investimento realizado dado um período estipulado inicialmente. Essa taxa mostra o quanto a empresa conseguirá arrecadar ao longo do período em que o investimento estiver válido, é por meio dela que a empresa descobrirá o quanto conseguirá arrecadar no total do projeto, ou em casos negativos, o quanto acumulará de perdas (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2018).

É uma forma simples de o investidor e da empresa entenderem os benefícios ou prejuízos que o investimento fornecerá, afinal o cálculo do ROI não é sofisticado e engloba basicamente o total recebido no período do investimento subtraindo o que foi gasto para a execução, tudo isso dividido pelo valor do investimento realizado. Ainda, para expressar em porcentagem, esta equação é multiplicada por cem conforme a equação 1 (BRIGHAM; EHRHARDT, 2018).

$$ROI = 100 \times \frac{(Total\ recebido - total\ investido)}{(total\ investido)} \quad (1)$$

Um ROI positivo indica que os ganhos superaram os custos, enquanto um ROI negativo serve como um indicativo de que houve uma perda no investimento. Apesar de ser comumente utilizado, tem certas limitações, como a falta de consideração pela complexidade de retornos indiretos ou intangíveis (BREALEY; MYERS; ALLEN, 2016).

2.2.3 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma métrica que é utilizada na análise econômica de projetos e investimentos. Esse índice calcula a diferença entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos, considerando uma taxa de desconto (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2018)

É possível definir o VPL como a soma dos fluxos de caixa multiplicados pelo fator de desconto, que mede o valor presente da unidade monetária em um ano especificado. A fórmula utilizada para se calcular é a Equação 2 e considera os fluxos de caixa Ct no período em que t é um intervalo de tempo finito e geralmente é o ano em que o investidor deseja avaliar o VPL e r é a taxa de desconto ou taxa de atratividade (BREALEY; MYERS; ALLEN, 2016).

$$VPL = \sum_t^N \frac{Ct}{(1+r)^t} \quad (2)$$

Para utilizar esta métrica avançada da análise econômica é possível interpretar o VPL de três formas:

- VPL = 0: Projeto considerado viável, porém o retorno do investimento será suficiente para igualar a taxa de desconto apenas;
- VPL < 0: Projeto inviável, os custos não conseguem nem igualar os da taxa de desconto, indicando um prejuízo no investimento;

- VPL > 0: Projeto considerado viável e válido, significa que os ganhos são maiores que o custo do investimento, indicando que o retorno é acima da taxa de desconto ou atratividade selecionada (BREALEY; MYERS; ALLEN, 2016).

2.2.4 PAYBACK SIMPLES

Payback, que em português significa retorno, é uma métrica utilizada nas empresas para estimar o período em que o investimento terá seu retorno. É possível definir o Payback como o tempo em que o investimento inicial demora para ser compensado, período em que os retornos acumulados igualam o investimento inicial (GITMAN; ZUTTER, 2012).

A fórmula para cálculo do payback é mostrada na Equação 3.

$$\sum_{t=1}^n \text{Fluxo de caixa} \geq \text{Investimento inicial} \quad (3)$$

Esse indicativo é importante pois estima para o investidor em quanto tempo ele poderá recuperar o que foi investido. E, ainda, de certa forma pode mostrar ainda o período restante que terá retornos. A duração máxima de um período de payback varia de acordo com as definições da empresa e é baseada em uma série de fatores como: tipo de projeto, percepção do risco do projeto e relação percebida entre o período de payback e o valor da ação (GITMAN; ZUTTER, 2012).

2.3. LOCOMOTIVAS E A ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA DOS VAGÕES

Ao avaliar um sistema de geração de energia para o modal de transporte ferroviário é necessário primeiro ter um entendimento de onde vem a fonte de energia principal e como é o seu funcionamento. Os trens de passageiros com foco em longas viagens no Brasil utilizam locomotivas diesel-elétricas.

As locomotivas diesel-elétricas utilizam de um motor a diesel para então produzir energia elétrica que é convertida para a propulsão de um motor de tração elétrico. (SPIRYAGIN, M. et al 2022).

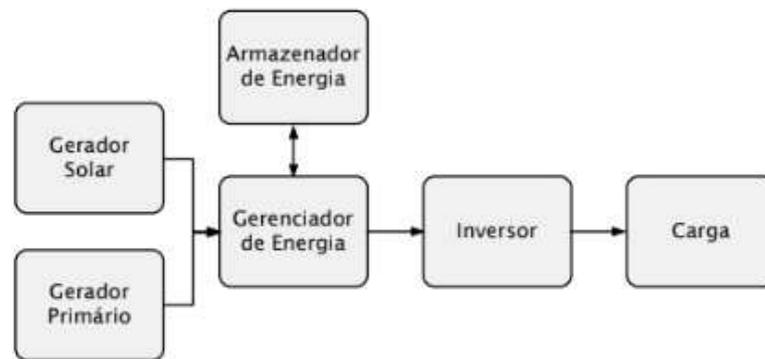
Há três tipos de locomotivas diesel elétricas, são elas: CC-CC, o primeiro a ser desenvolvido, gerador e motores com corrente contínua (CC); CA-CC, gerador

com corrente alternada (CA) e motores com corrente contínua (CC); CA-CC-CA, o gerador e os motores são em corrente alternada (CA).

A rede que faz a distribuição de energia gerada pelo grupo motor-gerador a diesel é trifásica, com isso permite o uso de aparelhos convencionais pelos passageiros ao longo da viagem, como por exemplo o uso de carregadores de celulares.

A Figura 8 mostra os componentes macro de um sistema híbrido de alimentação das cargas dos vagões, sendo composto pelo: gerador solar, gerador primário, armazenador de energia ou banco de baterias, gerenciador de energia ou controlador de carga, inversor e carga.

Figura 8 - Alimentação dos trens de passageiros com sistemas híbridos



Fonte: BORBA, J. L.

Considerando a forma como a carga é distribuída, propõe-se a inclusão de um SFI como uma alternativa para compartilhar a produção de energia necessária à alimentação dos vagões. Atualmente a energia que alimenta os vagões vem de um carro gerador, composto por um gerador movido à Diesel. Há a possibilidade de atender a carga com o gerador solar e à medida que houver energia excedente, esta seria armazenada em um banco de baterias para utilizar quando fosse necessário.

3. ESTUDO DE CASO: ESTRADA DE FERRO VITÓRIA À MINAS (EFVM)

Para avaliar os quesitos econômicos há a necessidade da busca de dados referentes aos trajetos de trens de passageiros utilizados, seja no Brasil ou em qualquer outra parte do mundo. Com isso, nesta seção, é apresentado um panorama geral sobre a Estrada de Ferro Vitória à Minas, a escolhida para o projeto, detalhando-se os dados relevantes para o dimensionamento do SFI.

Em contato com o setor de engenharia da VALE no início de setembro de 2024, o Eng. Sênior Raidam Fernandes e a Eng. Ferroviária Master Camila Paiva auxiliaram na coleta de dados necessária. Informando, dentro do alcance deles, os dados de consumo de energia de cada vagão e informações como a composição do trem comumente utilizada.

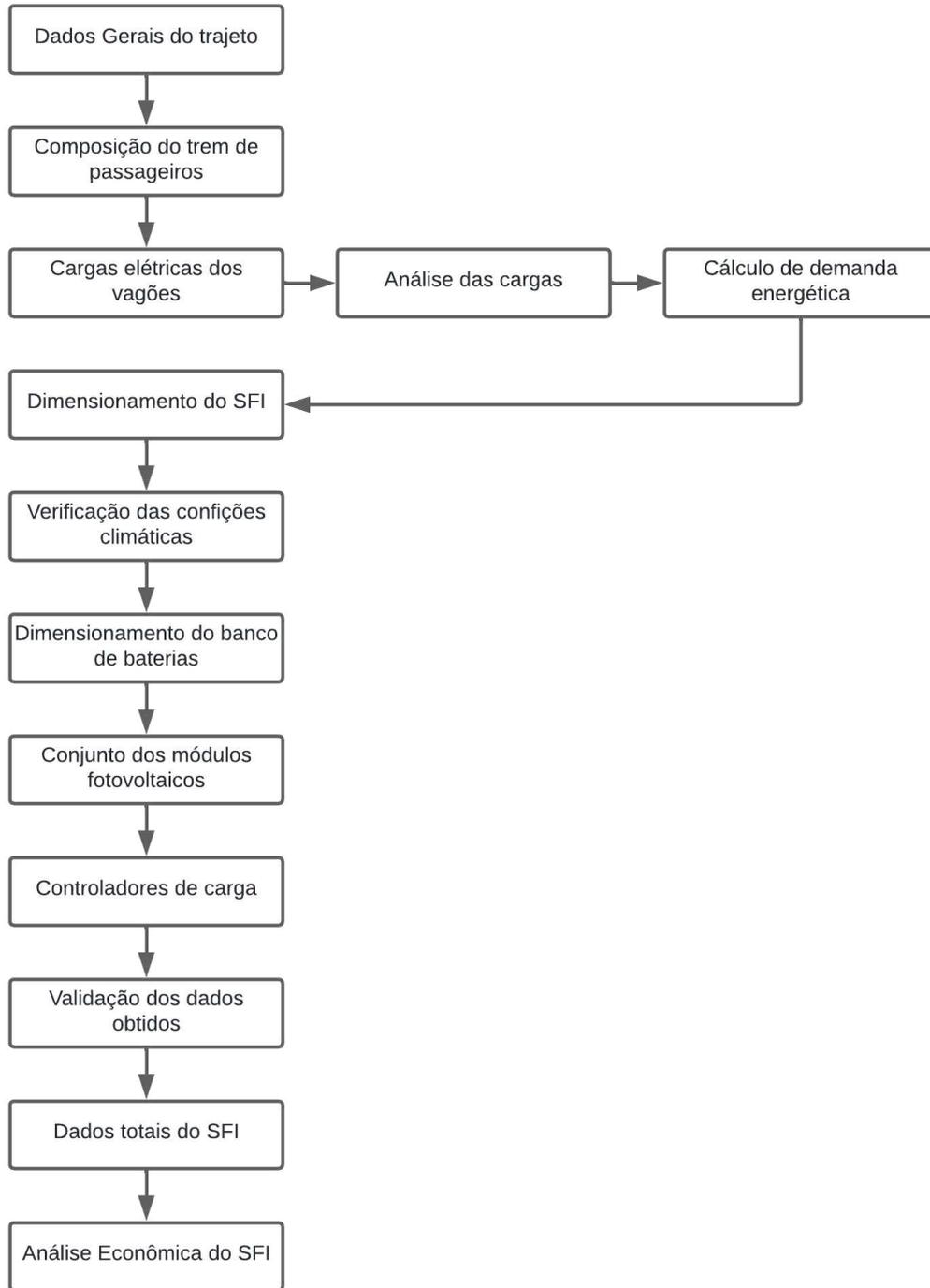
3.1. FLUXOGRAMA DO DIMENSIONAMENTO

Para acompanhar o dimensionamento do projeto, o fluxograma da metodologia utilizada tem como papel apoiar o leitor para um melhor entendimento dos cálculos e sequência empregada. Na Figura 9 é apresentado o fluxograma utilizado neste projeto, com a sequência utilizada para atingir o objetivo do trabalho.

A primeira etapa é a de dados gerais do trajeto, que envolve a coleta de dados como tempo de viagem, distância percorrida e parâmetros referentes à irradiação solar do trajeto. Após isso, é necessário coletar os dados referentes a composição do trem de passageiros, considerando o número de vagões que serão utilizados assim como as cargas elétricas a serem supridas. Em seguida, as cargas elétricas da composição são dispostas e especificadas com seus consumos, e logo analisadas.

Após a coleta de dados inicial, segue-se para o dimensionamento do SFI, envolvendo os componentes críticos. Primeiramente, o dimensionamento do banco de baterias é realizado para garantir energia suficiente e assegurar o funcionamento das cargas demandadas por cada vagão. Seguindo para o conjunto de módulos fotovoltaicos, dimensionados para abater o consumo das cargas selecionadas. E então, os controladores de carga são selecionados, assegurando um funcionamento eficiente e seguro do SFI. A junção dessas informações leva aos dados totais do SFI, que por sua vez permitem alcançar o objetivo do trabalho, que é realizar uma análise de viabilidade econômica do SFI para o trem de passageiros selecionado.

Figura 9 – Fluxograma do projeto



Fonte: O autor (2024)

A sequência apresentada na Figura 9 organiza as etapas do trabalho, proporcionando um entendimento mais detalhado do processo desenvolvido e das informações que serão aprofundadas nos tópicos seguintes.

3.2. DADOS GERAIS

A EFVM é uma das mais antigas do Brasil, inaugurada em 1904, ela liga o estado de Minas Gerais com o Espírito Santo, com o início do trajeto em Belo Horizonte e fim em Cariacica, na grande Vitória. Ao longo deste percurso existem 30 estações de passageiros e, como mostrado na Figura 10, o trajeto tem a extensão de aproximadamente 664 km. Além disso, nessa extensão, 42 municípios são atendidos, o que permite a diversificação nos meios de transporte da população da região (VALE, 2024).

Figura 10 - Trajeto EFVM



Fonte: VALE (2024)

O trajeto além de ser utilizado com o intuito exclusivamente de transporte entre cidades com estações, também é frequentado por turistas para apreciar a vista e belezas presentes, como mostra a Figura 11 onde é visto o trem passando 'por uma obra de arte' no percurso.

Figura 11 - Trem de passageiros EFVM



Fonte: VALE (2023)

Ao mesmo tempo que um trem de passageiros sai às 7:00 h da região metropolitana de Vitória, outro sai de Belo Horizonte com destino a Vitória. As viagens têm a previsão de encerrar aproximadamente às 20:30 h ao chegar nos respectivos destinos e com isso totaliza uma estimativa de 13:30 h de deslocamento. A Figura 12 mostra os horários de chegada e saída em cada uma das estações.

Figura 12 - Horário de circulação

Sentido BH - Pedro Nolasco			Sentido Pedro Nolasco - BH				
Estação	Chegada	Partida	Estação	Chegada	Partida		
Belo Horizonte		07:00	Pedro Nolasco (Cariacica)		07:00		
Dois Irmãos (Barão de Cocais)	08:32	08:35	Flexal	07:14	07:15		
Rio Piracicaba	09:34	09:35	Fundão	07:59	08:00		
João Monlevade	09:52	09:55	Aricanga (Ibiraçu)	08:19	08:20		
D. Drumond (Nova Era)	10:22	10:25	Piraqueaçu (João Neiva)	08:28	08:30		
Antônio Dias	10:54	10:55	Colatina	09:29	09:30		
Mario Carvalho (Timóteo)	11:28	11:30	Itapina (Colatina)	09:49	09:50		
Intendente Câmara (Ipatinga)	11:45	11:50	Mascarenhas (Baixo Guandu)	09:59	10:00		
Ipaba	12:09	12:10	Baixo Guandu	10:12	10:15		
Frederico Sellow (Belo Oriente)	12:29	12:30	Aimorés	10:22	10:25		
Periquito	12:54	12:55	Resplendor	11:05	11:08		
Pedra Corrida	13:09	13:10	Crenaque	11:24	11:25		
Gov. Valadares	13:52	14:00	Conselheiro Pena	11:42	11:45		
Tumiritinga	14:44	14:45	Barra do Cuieté	11:59	12:00		
São Tomé do Rio Doce (Galiléia)	14:59	15:00	São Tomé do Rio Doce (Galiléia)	12:09	12:10		
Barra do Cuieté	15:09	15:10	Tumiritinga	12:19	12:20		
Conselheiro Pena	15:27	15:30	Gov. Valadares	13:02	13:10		
Crenaque	15:49	15:50	Pedra Corrida	13:49	13:50		
Resplendor	16:07	16:10	Periquito	13:59	14:00		
Aimorés	16:47	16:50	Frederico Sellow (Belo Oriente)	14:24	14:25		
Baixo Guandu	16:57	17:00	Ipaba	14:39	14:40		
Mascarenhas (Baixo Guandu)	17:14	17:15	Intendente Câmara (Ipatinga)	15:05	15:10		
Itapina	17:29	17:30	Mario Carvalho (Timóteo)	15:23	15:25		
Colatina	17:49	17:50	Antônio Dias	15:59	16:00		
Piraqueaçu (João Neiva)	18:50	18:51	D. Drumond (Nova Era)	16:32	16:35		
Aricanga	18:59	19:00	João Monlevade	17:02	17:05		
Fundão	19:14	19:15	Rio Piracicaba	17:19	17:20		
Flexal (Cariacica)	20:04	20:05	Dois Irmãos (Barão de Cocais)	18:27	18:30		
Pedro Nolasco (Cariacica)		20:30	Belo Horizonte		20:30		
Estação	D. Drumond (Nova Era)	16:44	16:45	Estação	Itabira	-	09:00
Sentido	Itabira	17:50	-	Sentido	D. Drumond (Nova Era)	09:56	-
P011 - D. Drumond - Itabira			P012 - Itabira - D. Drumond				
Estação	Chegada	Partida	Estação	Chegada	Partida		
Desembargador Drumond		16:44	Desembargador Drumond	10:26			
Dois Irmãos (Barão de Cocais)	17:40		Dois Irmãos (Barão de Cocais)		09:30		

Fonte: VALE (2024)

Atualmente a EFVM é administrada pela empresa Vale e para além de toda sua importância no setor de transporte de cargas, os trens de passageiros representam uma ligação com a comunidade e transportam cerca de 700 mil pessoas por ano, uma marca expressiva para a única linha de viagens diárias de longa distância no Brasil (Moreira, 2023)

Para a determinação da carga elétrica utilizada pelo trem de passageiros é necessário saber como é a sua composição e o que a integra. Utilizando os dados obtidos na Figura 13 é possível se ter uma prévia do que integra um trem de passageiros da EFVM.

Figura 13 - Composição trem de passageiros EFVM



Fonte: VALE (2023)

Baseando-se na Figura 13 e nos dados fornecidos pela VALE, a composição máxima de um trem de passageiros é de 1 locomotiva, 1 carro gerador, 4 vagões executivos, 1 vagão especial, 1 vagão Lanchonete, 1 vagão restaurante e 8 vagões classe econômica, totalizando uma composição com 16 vagões com algum consumo de energia.

3.3. INCIDÊNCIA SOLAR NO TRAJETO

Por meio do mapa de irradiação global apresentado na Figura 7 página 29 é possível fazer uma sobreposição do trajeto do trem de passageiros para descobrir

uma irradiação média, assim, é possível calcular a média de energia gerada ao longo do ano.

Para aquisição dos dados foi utilizada a base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, com essa ferramenta foi possível determinar a irradiação global em cada cidade com estação de trem no trajeto. Para os cálculos futuros é utilizada uma média desses dados apresentados na Tabela 1, com unidade de medida Wh/m².dia. A linha destacada na tabela é uma média geral da irradiação do trajeto em que o trem passa, e os dados em cada coluna a média para cada mês do ano.

Tabela 1 - Irradiação Solar Global no trajeto

Cidade	Estado	Anual	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cariacica	ESPÍRITO SANTO	4783	6037	6346	5239	4452	3803	3563	3631	4258	4713	4792	4843	5722
Fundão	ESPÍRITO SANTO	4604	5773	6014	5084	4278	3713	3471	3568	4084	4521	4611	4627	5502
João Neiva	ESPÍRITO SANTO	4746	5955	6143	5273	4470	3858	3567	3671	4206	4649	4733	4790	5631
Ibiraçu	ESPÍRITO SANTO	4746	5955	6143	5273	4470	3858	3567	3671	4206	4649	4733	4790	5631
Baixo Guandu	ESPÍRITO SANTO	4961	6226	6330	5345	4718	4003	3666	3808	4448	4891	5087	5093	5912
Colatina	ESPÍRITO SANTO	4849	6089	6195	5338	4581	3941	3623	3689	4314	4777	4932	4958	5751
Belo Horizonte	MINAS GERAIS	5129	5799	5982	5154	4775	4170	4063	4282	5145	5535	5659	5349	5639
Barão de Cocais	MINAS GERAIS	4699	5433	5715	4761	4368	3840	3674	3894	4718	4952	5004	4767	5260
Rio Piracicaba	MINAS GERAIS	4682	5454	5782	4802	4383	3789	3640	3838	4597	4897	4950	4705	5348
João Monlevade	MINAS GERAIS	4734	5499	5809	4879	4448	3826	3688	3902	4681	4956	5022	4718	5379
Nova Era	MINAS GERAIS	4774	5628	5939	4974	4501	3852	3634	3890	4654	4961	5050	4739	5465
Antônio Dias	MINAS GERAIS	4774	5670	5982	4918	4529	3854	3671	3866	4593	4938	5081	4673	5514
Itabira	MINAS GERAIS	4768	5511	5818	4819	4432	3919	3756	3947	4721	5009	5074	4753	5453
Timóteo	MINAS GERAIS	4808	5768	6039	5019	4579	3812	3684	3879	4563	4905	5078	4823	5549
Ipatinga	MINAS GERAIS	4844	5784	6144	5085	4612	3875	3695	3898	4548	4949	5118	4818	5602
Aimorés	MINAS GERAIS	4961	6226	6330	5345	4718	4003	3666	3808	4448	4891	5087	5093	5912
Ipaba	MINAS GERAIS	4916	5959	6220	5177	4712	3951	3731	3929	4610	4966	5137	4913	5692
Resplendor	MINAS GERAIS	4901	6124	6285	5368	4669	3936	3658	3751	4369	4842	5011	4974	5822
Belo Oriente	MINAS GERAIS	4892	5885	6193	5212	4684	3917	3733	3886	4546	4955	5121	4863	5709
Periquito	MINAS GERAIS	4916	5970	6205	5246	4692	3941	3726	3851	4523	4931	5146	4949	5813
Conselheiro Pena	MINAS GERAIS	4985	6229	6321	5395	4738	3994	3707	3818	4445	4954	5202	5064	5950
Tumiritinga	MINAS GERAIS	4960	6183	6286	5383	4692	3902	3722	3789	4439	4948	5222	5053	5905
Governador Valadares	MINAS GERAIS	4885	5984	6122	5260	4591	3875	3637	3751	4506	4966	5192	4933	5799
Média Geral	Trajeto	4840	5876	6102	5146	4569	3897	3676	3827	4505	4902	5045	4882	5650

Fonte: Adaptado (Pereira, E., 2024)

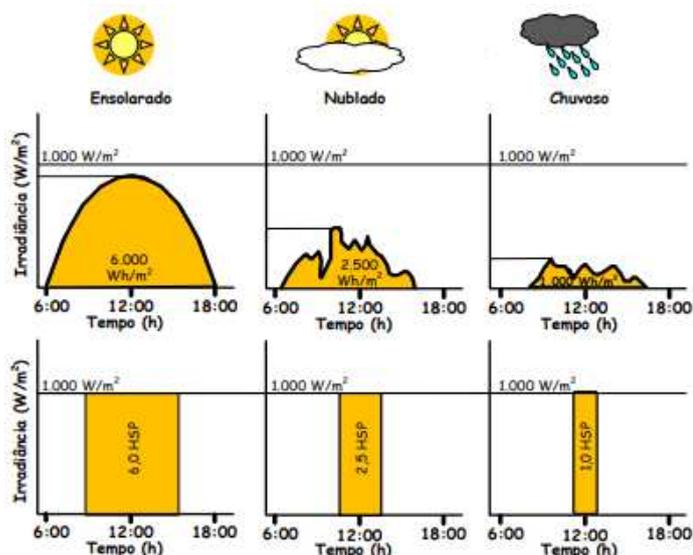
Etapa importante para o dimensionamento do sistema é saber a irradiação global anual, que é obtida multiplicando os dados gerais apresentados na linha destacada na Tabela 1 pela quantidade respectiva de dias de cada mês e que resulta em uma média anual de 147,51 kWh/m² de irradiação global, ou 1770,17 kWh/m² em um ano.

Ainda, além da irradiação é preciso estimar o período de geração de energia, o que é facilitado pelo horário de circulação do trem de passageiros, como o trem parte às 7:00 e chega ao destino às 20:30, o período de geração do sistema será enquanto o trajeto for percorrido, até o sol se pôr.

Outra grandeza importante relacionada ao recurso solar e que é utilizada para calcular a geração de energia solar por cada módulo é a chamada Hora de Sol Pleno por Dia (HSP/dia). Essa variável expressa o valor de energia solar acumulado ao longo de um dia, representando o número de horas que a irradiância solar precisa ser

constante e igual a 1 kWh/m^2 (1000 W/m^2), condição de pico, para igualar a incidência da irradiação solar em $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$. A Figura 14 mostra o conceito de HSP/dia com as variações provocadas por um dia nublado, chuvoso ou ensolarado.

Figura 14 - Grandeza HSP/dia



Fonte: GTES (2014)

A grandeza de horas sol pleno por dia é utilizada para o dimensionamento do SFI. Para isso os dados referentes ao trajeto são apresentados na Tabela 2, onde há a informação referente à irradiação global e HSP/dia mês a mês.

Tabela 2 - HSP/dia trajeto EFVM

Mês	Irradiação global ($\text{Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$)	HSP/dia
Janeiro	5.876	5,876
Fevereiro	6.102	6,102
Março	5.146	5,146
Abril	4.569	4,569
Mai	3.897	3,897
Junho	3.676	3,676
Julho	3.827	3,827
Agosto	4.505	4,505
Setembro	4.902	4,902
Outubro	5.045	5,045
Novembro	4.882	4,882
Dezembro	5.650	5,650

Fonte: O autor (2024)

Como um SFI depende muito da variação climática durante as estações, os dados da Tabela 2, divididos nos meses do ano, são importantes para análises futuras. A linha destacada apresenta o mês com menor HSP/dia e é fundamental para o dimensionamento do SFI, já que a quantidade de módulos necessários depende do potencial de geração por dia (HSP/dia) e a análise mais segura é baseada na pior geração.

3.4. CARGA ELÉTRICA DOS VAGÕES E INVERSOR OFF-GRID

Um dos primeiros passos para determinar o tamanho de um SFI é ter acesso à potência dos equipamentos utilizados nos vagões tipo, que é medida em watts (W). Em contato com o setor de engenharia da VALE foi possível obter os dados diretamente do fornecedor dos vagões, esses dados estão compilados nas Tabelas 3 até 8. As cargas destacadas representam as selecionadas para a sequência de cálculos futuros. A Tabela 3 mostra as cargas e dados de um vagão classe econômica.

Tabela 3 - Carga de um vagão classe econômica

Load name	Voltage (V)	Load power (kW)	Quantity	Utilization factor	Total power (kW)	Power in summer (kW)	Power in winter (kW)
Cooling under high temperature + dehumidification	CA400V	14,5	2	0,78	29	22,62	0
AC socket	CA230V	0,2	46	0,2	9,2	1,84	1,84
Water pump	CA230V	0,27	1	0,6	0,27	0,162	0,162
Hand-dryer	CA230V	1,95	2	0,3	3,9	1,17	1,17
Electrical control unit (DTC)	CC48V	0,15	1	0,6	0,15	0,09	0,09
Air conditioning controller	CC48V	0,073	1	1	0,073	0,073	0,073
Waste exhaust fan	CC48V	0,1	2	1	0,2	0,2	0,2
DC48/24 power supply	CC48V	0,24	1	0,5	0,24	0,12	0,12
Charger	CC48V	0,45	1	1	0,45	0,45	0,45
Foot light	CC48V	0,005	6	0,3	0,03	0,009	0,009
Underfloor maintenance light	CC48V	0,006	11	0,3	0,066	0,0198	0,0198
Interior end door power supply	CC48V	0,092	2	0,5	0,184	0,092	0,092
Sliding-plug door power supply	CC48V	0,16	2	0,3	0,32	0,096	0,096
Fire alarm system	CC48V	0,036	1	1	0,036	0,036	0,036
Rolling stock fault diagnose system (RSFDS)	CC48V	0,05	1	1	0,05	0,05	0,05
TCMS (switch +EGWM)	CC48V	0,075	1	1	0,075	0,075	0,075
Braking and anti-slide	CC48V	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1
Exterior end door	CC48V	0,15	2	0,5	0,3	0,15	0,15
Others	CC48V	1	1	0,5	1	0,5	0,5
Emergency lighting	CC48V	0,839	1	1	0,839	0,839	0,839
Video surveillance	CC48V	0,05	1	1	0,05	0,05	0,05
PA phone	CC48V	0,105	1	1	0,105	0,105	0,105
Display system	CC48V	0,37	1	1	0,37	0,37	0,37
General lighting	CC48V	0,983	1	1	0,983	0,983	0,983
Decorative light	CC48V	0,8	1	0,1	0,8	0,08	0,08
Entertainment system	CC48V	0,87	1	0,6	0,87	0,522	0,522
Oil-water separation solenoid valve	CC48V	0,06	1	0,2	0,06	0,012	0,012
AC control circuit	CC48V	0,1	1	0,8	0,1	0,08	0,08
DC control circuit	CC48V	0,1	1	0,8	0,1	0,08	0,08
Battery charging (DC48V)	CC48V	2,2	1	0,4	2,2	0,88	0,88
Total (kW)					52,1	31,9	9,2
	Charger					6,0618	6,0618

Fonte: VALE (2024)

A Tabela 4 mostra as cargas e dados de um vagão classe executiva, que conta com algumas diferenças, visto que a passagem é mais cara, também conta com mais funções. Porém, as cargas selecionadas são as mesmas de um vagão classe econômica.

Tabela 4 - Carga de um vagão classe executiva

Load name	Voltage (V)	Load power (kW)	Quantity	Utilization factor	Total power (kW)	Power in summer (kW)	Power in winter (kW)
Cooling under high temperature + dehumidification	CA400V	14,5	2	0,68	29	19,72	0
AC socket	CA230V	0,2	66	0,2	13,2	2,64	2,64
Water pump	CA230V	0,27	1	0,6	0,27	0,162	0,162
Hand-dryer	CA230V	1,95	2	0,3	3,9	1,17	1,17
Electrical control unit (DTC)	CC48V	0,15	1	0,6	0,15	0,09	0,09
Air conditioning controller	CC48V	0,073	1	1	0,073	0,073	0,073
Waste exhaust fan	CC48V	0,1	2	1	0,2	0,2	0,2
DC48/24 power supply	CC48V	0,24	1	0,5	0,24	0,12	0,12
Charger	CC48V	0,45	1	1	0,45	0,45	0,45
Foot light	CC48V	0,005	6	0,3	0,03	0,009	0,009
Underfloor maintenance light	CC48V	0,006	11	0,3	0,066	0,0198	0,0198
Interior end door power supply	CC48V	0,092	2	0,5	0,184	0,092	0,092
Sliding-plug door power supply	CC48V	0,16	2	0,3	0,32	0,096	0,096
Fire alarm system	CC48V	0,036	1	1	0,036	0,036	0,036
Rolling stock fault diagnose system (RSFDS)	CC48V	0,05	1	1	0,05	0,05	0,05
TCMS (switch +EGWM)	CC48V	0,075	1	1	0,075	0,075	0,075
Braking and anti-slide	CC48V	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1
Exterior end door	CC48V	0,15	2	0,5	0,3	0,15	0,15
Others	CC48V	1	1	0,5	1	0,5	0,5
Emergency lighting	CC48V	0,839	1	1	0,839	0,839	0,839
Video surveillance	CC48V	0,05	1	1	0,05	0,05	0,05
PA phone	CC48V	0,105	1	1	0,105	0,105	0,105
Display system	CC48V	0,37	1	1	0,37	0,37	0,37
General lighting	CC48V	0,983	1	1	0,983	0,983	0,983
Decorative light	CC48V	0,8	1	0,1	0,8	0,08	0,08
Entertainment system	CC48V	0,87	1	0,6	0,87	0,522	0,522
Oil-water separation solenoid valve	CC48V	0,06	1	0,2	0,06	0,012	0,012
AC control circuit	CC48V	0,1	1	0,8	0,1	0,08	0,08
DC control circuit	CC48V	0,1	1	0,8	0,1	0,08	0,08
Battery charging (DC48V)	CC48V	2,2	1	0,4	2,2	0,88	0,88
Total (kW)					56,1	29,8	10,0
Charger						6,0618	6,0618

Fonte: VALE (2024)

A Tabela 5 mostra as cargas e dados de um vagão restaurante, que é onde as refeições dos passageiros podem ser realizadas.

Tabela 5 - Carga de um vagão restaurante

Load name	Voltage (V)	Load power (kW)	Quantity	Utilization factor	Total power (kW)	Power in summer (kW)	Power in winter (kW)
Cooling under high temperature + dehumidification	CA400V	14,5	2	0,7	29	20,3	0
AC socket	CA230V	0,2	46	0,2	9,2	1,84	1,84
Water pump	CA230V	0,27	1	0,6	0,27	0,162	0,162
Vertical refrigerated display cabinet	CA230V	0,3	1	0,3	0,3	0,09	0,09
Cash register	CA230V	0,3	1	0,6	0,3	0,18	0,18
Horizontal hot display cabinet	CA230V	0,8	1	0,3	0,8	0,24	0,24
Electrical control unit (DTC)	CC48V	0,15	1	0,6	0,15	0,09	0,09
Air conditioning controller	CC48V	0,073	1	1	0,073	0,073	0,073
Waste exhaust fan	CC48V	0,1	2	1	0,2	0,2	0,2
DC48/24 power supply	CC48V	0,24	1	0,5	0,24	0,12	0,12
Charger	CC48V	0,45	1	1	0,45	0,45	0,45
Foot light	CC48V	0,005	6	0,3	0,03	0,009	0,009
Underfloor maintenance light	CC48V	0,006	11	0,3	0,066	0,0198	0,0198
Sliding-plug door power supply	CC48V	0,16	2	0,3	0,32	0,096	0,096
Fire alarm system	CC48V	0,036	1	1	0,036	0,036	0,036

Rolling stock fault diagnose system (RSFDS)	CC48V	0,05	1	1	0,05	0,05	0,05
TCMS (switch +EGWM)	CC48V	0,075	1	1	0,075	0,075	0,075
Braking and anti-slide	CC48V	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1
Exterior end door	CC48V	0,15	2	0,5	0,3	0,15	0,15
Others	CC48V	1	1	0,5	1	0,5	0,5
Emergency lighting	CC48V	0,673	1	1	0,673	0,673	0,673
Video surveillance	CC48V	0,05	1	1	0,05	0,05	0,05
PA phone	CC48V	0,105	1	1	0,105	0,105	0,105
Display system	CC48V	0,37	1	1	0,37	0,37	0,37
General lighting	CC48V	1,339	1	1	1,339	1,339	1,339
Decorative light	CC48V	0,8	1	0,1	0,8	0,08	0,08
Entertainment system	CC48V	0,25	1	0,6	0,25	0,15	0,15
Oil-water separation solenoid valve	CC48V	0,06	1	0,2	0,06	0,012	0,012
AC control circuit	CC48V	0,1	1	0,8	0,1	0,08	0,08
DC control circuit	CC48V	0,1	1	0,8	0,1	0,08	0,08
Battery charging (DC48V)	CC48V	2,2	1	0,4	2,2	0,88	0,88
Total (kW)					49,0	28,6	8,3
Charger						5,7878	5,7878

Fonte: VALE (2024)

A tabela 6 mostra as cargas e dados de um vagão lanchonete, que é onde as refeições dos passageiros são preparadas, contam com mais cargas visto que para a preparação de armazenamento de alimentos são utilizados mais equipamentos.

Tabela 6 - Carga de um vagão lanchonete

Load name	Voltage (V)	Load power (kW)	Quantity	Utilization factor	Total power (kW)	Power in summer (kW)	Power in winter (kW)
Cooling under high temperature + dehumidification	CA400V	14,5	2	0,74	29	21,46	0
AC socket	CA230V	0,2	22	0,2	4,4	0,88	0,88
Water pump	CA230V	0,27	1	0,6	0,27	0,162	0,162
Range hood	CA230V	0,6	2	0,3	1,2	0,36	0,36
Electric oven socket	CA230V	9,3	4	0,3	37,2	11,16	11,16
Coffee maker (gourmet)	CA230V	2,19	1	0,3	2,19	0,657	0,657
Coffee maker (traditional)	CA230V	1,3	2	0,3	2,6	0,78	0,78
Sandwich maker	CA230V	2,5	1	0,3	2,5	0,75	0,75
Induction cooker	CA230V	3	1	0,3	3	0,9	0,9
Horizontal freezer	CA230V	0,35	4	0,3	1,4	0,42	0,42
Refrigerator with sink	CA230V	0,275	1	0,3	0,275	0,0825	0,0825
Vertical refrigerated display cabinet	CA230V	0,3	1	0,3	0,3	0,09	0,09
Microwave oven	CA230V	1,5	1	0,3	1,5	0,45	0,45
Horizontal hot display cabinet	CA230V	0,8	1	0,3	0,8	0,24	0,24
Horizontal cold display cabinet	CA230V	0,8	1	0,3	0,8	0,24	0,24
Electrical control unit (DTC)	CC48V	0,15	1	0,6	0,15	0,09	0,09
Air conditioning controller	CC48V	0,073	1	1	0,073	0,073	0,073
Waste exhaust fan	CC48V	0,1	2	1	0,2	0,2	0,2
DC48/24 power supply	CC48V	0,24	1	0,5	0,24	0,12	0,12
Two-way charger	CC48V	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5
Foot light	CC48V	0,005	6	0,3	0,03	0,009	0,009
Underfloor maintenance light	CC48V	0,006	10	0,3	0,06	0,018	0,018
Sliding-plug door power supply	CC48V	0,16	2	0,3	0,32	0,096	0,096
Fire alarm system	CC48V	0,036	1	1	0,036	0,036	0,036
Rolling stock fault diagnose system (RSFDS)	CC48V	0,05	1	1	0,05	0,05	0,05
TCMS (switch +EGWM)	CC48V	0,075	1	1	0,075	0,075	0,075
Braking and anti-slide	CC48V	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1
Exterior end door	CC48V	0,15	2	0,5	0,3	0,15	0,15
Others	CC48V	1	1	0,5	1	0,5	0,5
Emergency lighting	CC48V	0,191	1	1	0,191	0,191	0,191
Video surveillance	CC48V	0,125	1	1	0,125	0,125	0,125
PA phone	CC48V	0,105	1	1	0,105	0,105	0,105
Display system	CC48V	0,27	1	1	0,27	0,27	0,27
Central server and single car server	CC48V	0,36	1	1	0,36	0,36	0,36
General lighting	CC48V	0,236	1	1	0,236	0,236	0,236
Decorative light	CC48V	0,8	1	0,1	0,8	0,08	0,08
Oil-water separation solenoid valve	CC48V	0,06	1	0,2	0,06	0,012	0,012
AC control circuit	CC48V	0,1	1	0,8	0,1	0,08	0,08
DC control circuit	CC48V	0,1	1	0,8	0,1	0,08	0,08
Lithium battery charging	CC48V	6	1	1	6	6	6
Total (kW)					98,9	48,2	26,7
Charger						9,556	9,556

Fonte: VALE (2024)

A Tabela 7 mostra as cargas e os dados de um carro gerador, utilizado para alimentar a energia utilizada nos vagões da composição do trem de passageiros.

Tabela 7 - Carga de um carro gerador

Load name	Voltage (V)	Load power (kW)	Quantity	Utilization factor	Total power (kW)	Power in summer (kW)	Power in winter (kW)
Cooling under high temperature + dehumidification	CA400V	7,9	1	0,58	7,9	4,582	0
AC socket	CA230V	0,2	12	0,2	2,4	0,48	0,48
Ventilation room ventilator	CA230V	25	2	0,5	50	25	25
Onboard fuel tank level controller	CA230V	0,22	2	1	0,44	0,44	0,44
Air conditioning controller	CC48V	0,048	1	1	0,048	0,048	0,048
Charger	CC48V	0,32	1	1	0,32	0,32	0,32
Underfloor maintenance light	CC48V	0,006	11	0,3	0,066	0,0198	0,0198
Fire alarm system	CC48V	0,036	1	1	0,036	0,036	0,036
Automatic fire extinguishing system	CC48V	0,03	1	1	0,03	0,03	0,03
Rolling stock fault diagnose system (RSFDS)	CC48V	0,05	1	1	0,05	0,05	0,05
TCMS (switch +EGWM)	CC48V	0,075	1	1	0,075	0,075	0,075
Braking and anti-slide	CC48V	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1
Diesel generator set control	CC48V	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5
Others	CC48V	1	1	0,5	1	0,5	0,5
Ventilation device	CC48V	0,05	1	1	0,05	0,05	0,05
Emergency lighting	CC48V	0,306	1	1	0,306	0,306	0,306
Video surveillance	CC48V	0,05	1	1	0,05	0,05	0,05
PA phone	CC48V	0,07	1	1	0,07	0,07	0,07
Display system	CC48V	0,22	1	1	0,22	0,22	0,22
Decorative light	CC48V	0,8	1	0,1	0,8	0,08	0,08
AC control circuit	CC48V	0,5	1	0,8	0,5	0,4	0,4
DC control circuit	CC48V	0,5	1	0,8	0,5	0,4	0,4
Battery charging (DC48V)	CC48V	2,2	1	0,4	2,2	0,88	0,88
Battery charging (DC24V)	CC48V	2,1	1	0,4	2,1	0,84	0,84
Total (kW)					69,8	35,5	30,9
	Charger					4,1348	4,1348

Fonte: VALE (2024)

A Tabela 8 apresenta as cargas e os dados de um vagão especial, projetado para atender passageiros com deficiência (PCD) e seus acompanhantes, promovendo a acessibilidade por meio da empresa administradora.

Tabela 8 - Carga de um vagão especial

Load name	Voltage (V)	Load power (kW)	Quantity	Utilization factor	Total power (kW)	Power in summer (kW)	Power in winter (kW)
Cooling under high temperature + dehumidification	CA400V	7,9	2	0,8	15,8	12,64	0
AC socket	CA230V	0,2	56	0,2	11,2	2,24	2,24
Water pump	CA230V	0,27	1	0,6	0,27	0,162	0,162
Refrigerator	CA230V	0,35	2	0,3	0,7	0,21	0,21
Hand-dryer	CA230V	1,95	1	0,3	1,95	0,585	0,585
Microwave oven	CA230V	1,8	1	0,3	1,8	0,54	0,54
Toilet door for the disabled	CC48V	0,15	1	0,5	0,15	0,075	0,075
Electrical control unit (DTC)	CC48V	0,15	1	0,6	0,15	0,09	0,09
Air conditioning controller	CC48V	0,073	1	1	0,073	0,073	0,073
Waste exhaust fan	CC48V	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1
DC48/24 power supply	CC48V	0,24	1	0,5	0,24	0,12	0,12
Charger	CC48V	0,45	1	1	0,45	0,45	0,45
Foot light	CC48V	0,005	6	0,3	0,03	0,009	0,009
Underfloor maintenance light	CC48V	0,006	11	0,3	0,066	0,0198	0,0198
Interior end door power supply	CC48V	0,092	1	0,5	0,092	0,046	0,046
Sliding-plug door power supply	CC48V	0,16	2	0,3	0,32	0,096	0,096
Fire alarm system	CC48V	0,036	1	1	0,036	0,036	0,036
Rolling stock fault diagnose system (RSFDS)	CC48V	0,08	1	1	0,08	0,08	0,08
TCMS	CC48V	0,15	1	1	0,15	0,15	0,15
Braking and anti-slide	CC48V	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1
Exterior end door	CC48V	0,15	2	0,5	0,3	0,15	0,15

Others	CC48V	1	1	0,5	1	0,5	0,5
Wheelchair lifter	CC48V	1,65	1	0,3	1,65	0,495	0,495
Network equipment provided by Vale (VSA, Ethernet switch, network firewall equipment, 4U chassis)	CC48V	0,4	1	1	0,4	0,4	0,4
Emergency lighting	CC48V	0,473	1	1	0,473	0,473	0,473
Video surveillance	CC48V	0,2	1	1	0,2	0,2	0,2
PA phone	CC48V	0,105	1	1	0,105	0,105	0,105
Display system	CC48V	0,37	1	1	0,37	0,37	0,37
PIS host and operating screen	CC48V	0,13	1	1	0,13	0,13	0,13
Password lock	CC48V	0,003	4	1	0,012	0,012	0,012
General lighting	CC48V	0,399	1	1	0,399	0,399	0,399
Decorative light	CC48V	0,8	1	0,1	0,8	0,08	0,08
Entertainment system	CC48V	0,3	1	0,6	0,3	0,18	0,18
Oil-water separation solenoid valve	CC48V	0,06	1	0,2	0,06	0,012	0,012
AC control circuit	CC48V	0,1	1	0,8	0,1	0,08	0,08
DC control circuit	CC48V	0,1	1	0,8	0,1	0,08	0,08
Central server and single car server	CC48V	0,36	1	1	0,36	0,36	0,36
Battery charging (DC48V)	CC48V	2,2	1	0,4	2,2	0,88	0,88
Total (kW)					42,7	22,7	10,1
	Charger					6,3508	6,3508

Fonte: VALE (2024)

Ao fazer um levantamento das cargas selecionadas apresentadas nas Tabelas 3 até 8 é possível chegar em uma potência total e consumo para cada vagão, que serão mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Carga e consumo considerados para vagões tipo

Vagão tipo	Potência total (kW)	Consumo (kWh)
Econômico	4,151	4,833
Executivo	4,151	4,833
Restaurante	3,893	4,492
Lanchonete	5,465	17,716
Gerador	2,3748	2,723
Especial	5,501	6,146

Fonte: Adaptada VALE (2024)

Com a carga demandada determinada, de todos os vagões tipo, o único que precisa atender cargas CA é o Vagão Lanchonete como mostra a Tabela 6 na coluna 'Load', por isso será necessário um inversor Off-Grid para atender a carga. Na Tabela 6, é possível ver quais são as cargas CA, através das células destacadas e a coluna da alimentação da carga.

A potência CA demandada é de 1,675 kW, sendo assim deverá ser utilizado um inversor com no mínimo essa potência, porém é interessante utilizar um inversor com uma "folga" na potência, com isso analisando preço e disponibilidade no mercado foi escolhido o inversor IPOWER Plus IP3000-42T da marca Epeve com potência de 3 kW e com alguns dados relevantes expostos na Figura 15, retirada do manual técnico (datasheet) do equipamento no Anexo A.

Figura 15 - Dados do inversor Off-Grid

Parâmetro	IP750-42-Plus(T)	IP1000-22-Plus(T)	IP1000-42-Plus(T)	IP1500-12-Plus(T)	IP1500-42-Plus(T)	IP2000-22-Plus(T)	IP2000-42-Plus(T)	IP3000-12-Plus(T)	IP3000-22-Plus(T)	IP3000-42-Plus(T)
Potência Nominal de Saída*	750W	1000W	1000W	1500W	1500W	2000W	2000W	3000W	3000W	3000W
Potência de Pico Máxima (5s)*	1500W	2000W	2000W	3000W	3000W	4000W	4000W	4800W	6000W	6000W
Tensão de Saída	220Vca (-8% - 5%) Monofásica									
Frequência de Saída	60Hz									
Forma de onda	Senoidal Pura									
THD (carga resistiva)	THDs3%	THDs3%	THDs3%	THDs3%	THDs3%	THDs3%	THDs3%	THDs3%	THDs3%	THDs3%
Tensão Nominal de Entrada	48Vcc (43,2-64,0Vcc)	24Vcc (21,6-32,0Vcc)	48Vcc (43,2-64,0Vcc)	12Vcc (10,8-16,0Vcc)	48Vcc (43,2-64,0Vcc)	24Vcc (21,6-32,0Vcc)	48Vcc (43,2-64,0Vcc)	12Vcc (10,8-16,0Vcc)	24Vcc (21,6-32,0Vcc)	48Vcc (43,2-64,0Vcc)
Eficiência Máxima	>93%	>93%	>93%	>93%	>94%	>93%	>94,5%	>94%	>94%	>94,5%
Corrente sem Carga	<0,4A	<0,9A	<0,4A	<1,2A	<0,5A	<1,0A	<0,5A	<1,6A	<1,0A	<0,5A
Porta RS485	5Vcc/200mA									
Porta USB	-	5Vcc 1A (máx.)	-	5Vcc 1A (máx.)	-	5Vcc 1A (máx.)	-	5Vcc 1A (máx.)	5Vcc 1A (máx.)	-
Parâmetros Mecânicos										
Terminal de Entrada	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M10	M6	M6
Dimensões	332x231,5x123mm	371x231,5x123mm	332x231,5x123mm	387x231,5x123mm	387x231,5x123mm	421x231,5x123mm	421x231,5x123mm	557x231,5x123mm	521x274x148mm	491x231,5x123mm
Dimensões de Montagem	306x145mm	345x145mm	306x145mm	361x145mm	361x145mm	395x145mm	395x145mm	532x145mm	495x145mm	465x145mm
Orifícios de Montagem	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm
Peso Líquido	4,5kg	5,0kg	4,5kg	6,0kg	6,0kg	6,5kg	6,5kg	10,5kg	8,0kg	7,0kg
Temperatura de Operação	-20°C - +60°C									
Temperatura de Armazenamento	-35°C - +70°C									
Umidade	≤ 95%									
Grau de Proteção	IP20									

Fonte: Epeve (2024)

Para os demais vagões, como não há carga CA, não será necessário o uso de um inversor Off-Grid, utilizando apenas o banco de baterias e o controlador de carga que serão escolhidos posteriormente.

3.5. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

Como informado no referencial teórico, os sistemas isolados ou híbridos necessitam de um meio para armazenar energia, neste caso utilizando um banco de baterias. Os dados fornecidos pela VALE já contam com um cálculo de baterias, pensando em atender apenas algumas das cargas, as quais foram destacadas nas Tabelas 3 até 8. Sendo assim, a Tabela 10 apresenta a capacidade de baterias calculada pelo fornecedor para cada vagão tipo.

Tabela 10 - Capacidade de baterias para os vagões tipo

Vagão tipo	Potência total (kW)	Consumo (kWh)	Capacidade de Bateria pelo fornecedor (Ah)
Econômico	4,151	4,833	146,242
Executivo	4,151	4,833	146,242
Restaurante	3,893	4,492	135,924
Lanchonete	5,465	17,716	485,622
Gerador	2,3748	2,723	82,389
Especial	5,501	6,146	185,972

Fonte: Adaptada VALE (2024)

Com o intuito de validar se o banco de baterias seria suficiente para o SFI dimensionado, foi realizado um cálculo para cada vagão tipo e comparado com o valor entregue pelo fornecedor. A sequência lógica e de cálculos seguida é a de Miranda (2018), que leva em consideração a eficiência de outros itens que fazem parte do sistema, aproximando-se à realidade.

Utilizando-se energia demandada diariamente como o consumo apresentado na tabela 9 é possível calcular a demanda em Ah das baterias, com o seu uso diário representado pela Equação 4.

$$Ah/dia\ nominal = \frac{Consumo}{VDCsistema} \quad (4)$$

O 'VDCsistema' é a tensão de corrente contínua utilizada nos sistemas em cada um dos vagões, no caso de todos será utilizado 48 V como referência para cálculos.

Visando aproximar os valores de 'Ah/dia nominais' aos de funcionamento real, Miranda (2018) utiliza diversos fatores e perdas empíricas, enfim chegando a um valor 'Ah/dia corrigido' e que é calculado pela Equação 5.

$$Ah/dia\ corrigido = \frac{Ah/dia\ nominal * FEbateria * Autonomia(dias)}{Efcabos * Ef.bateria * Descarga\ bateria} \quad (5)$$

Ao passo que, 'FEbateria' é o fator de envelhecimento da bateria, ou seja, o quanto a bateria perde a capacidade de carga com o tempo. Autonomia é representada em dias e a estimativa de armazenamento que serão necessários para suprir o sistema sem carregamento. Os indicadores 'Ef.cabos' e 'Ef.bateria' representam, respectivamente, as eficiências dos cabos e das baterias utilizadas.

Para finalizar, 'Descarga bateria' representa a profundidade de descarga permitida para o conjunto de baterias, a Tabela 11 mostra os dados empíricos considerados no presente trabalho, a 'Autonomia' foi pensada para suportar uma viagem do trajeto, que é de 13h30min, os destacados representam os valores utilizados.

Tabela 11 - Dados de perda e fatores empíricos

Perda	Valor
Ef.cabos	98,00%
Ef.bateria	85,00%
FEbateria	1,25
Descarga bateria	80,00%
Autonomia (dias)	0,5625

Fonte: Adaptada MIRANDA. I. (2018)

Por fim, é necessário calcular a quantidade de energia a ser armazenada representada por 'Earmazenada', utilizando-se a Equação 6 com os valores obtidos anteriormente.

$$E_{armazenada} = Ah/diacorrigido * VDC_{sistema} \quad (6)$$

Tendo realizado os cálculos, os valores de energia armazenada para cada vagão são mostrados na Tabela 12, onde será visto o 'vagão tipo', 'Ah/dia corrigido', 'VDCsistema' e 'Earmazenada', os valores de energia armazenada estão destacados.

Tabela 12 - Energia armazenada pelo conjunto de baterias

Vagão tipo	Ah/dia corrigido (Calculado)	VDC sistema (V)	Energia armazenada (kWh)
Econômico	106,236	48	5,099
Executivo	106,236	48	5,099
Restaurante	98,741	48	4,740
Lanchonete	389,412	48	18,692
Gerador	59,851	48	2,873
Especial	135,098	48	6,485

Fonte: O autor (2024)

Com isso, na tabela 13 é apresentado um comparativo do cálculo de baterias realizado para o trabalho com o que o fornecedor projetou para o sistema ser atendido.

É possível verificar que o fornecedor utilizou em todos os vagões uma capacidade maior de baterias como apresentado na coluna destacada.

Tabela 13 - Comparativo entre dados calculados e os do fornecedor

Vagão tipo	Capacidade de Bateria pelo fornecedor (aH)	Ah/dia corrigido (Calculado)	Diferença entre fornecedor e calculado (aH)
Econômico	146,242	106,236	40,006
Executivo	146,242	106,236	40,006
Restaurante	135,924	98,741	37,183
Lanchonete	485,622	389,412	96,21
Gerador	82,389	59,851	22,538
Especial	185,972	135,098	50,874

Fonte: O autor (2024)

Considerando-se a sequência de cálculos apresentada neste tópico, a diferença para a capacidade de baterias do fornecedor vista na coluna destacada da Tabela 13 será determinada pela autonomia das baterias, que, segundo o fornecedor é estimada em aproximadamente 18h35min. Assim, utilizando-se as informações do fornecedor o banco de baterias seria relativamente maior que o calculado e conseqüentemente teria um custo maior. Para a continuação do dimensionamento, o trabalho considera os dados calculados neste tópico para o armazenamento das baterias.

O próximo passo é calcular a disposição das baterias no banco, isso é dividido em 2 partes, calculando a quantidade necessária de baterias em série e em paralelo. São utilizadas baterias de 12 VDC devido à facilidade de encontrá-las no mercado e ao menor custo de aquisição, em comparação com as baterias de 24 VDC e 48 VDC. Utilizando-se a metodologia proposta por Villalva (2015), o cálculo de baterias em série utiliza a Equação 7, onde 'VDCsistema' é a tensão do sistema e 'VDCbateria' é o valor comercial de tensão da bateria.

$$Bateriassérie = VDCsistema/VDCbateria \quad (7)$$

Aplicando-se a equação obtém-se resultados mostrados na Tabela 14, onde a linha destacada mostra os valores considerados para o SFI.

Tabela 14 - Valores de baterias em série

VDCsistema	VDCbaterias	Bateriassérie
48 VDC	12 VDC	4

Fonte: O autor (2024)

Para o cálculo das baterias em paralelo também será utilizada a metodologia de Villalva (2015), onde a quantidade de baterias em paralelo é resultado da divisão do valor de 'Ah/diacorrigido' pelo valor de 'Ah bateria' conforme apresentado na Equação 8.

$$Bateriasparalelo = \frac{Ah/diacorrigido}{Ahbateria} \quad (8)$$

A título de comparação e a fim de chegar no menor preço possível para o banco de baterias, foram analisados os valores de capacidade das baterias (Ah) mais comumente encontrados no mercado, com folha de dados no Anexo B. e a escolha do conjunto limitou-se a um modelo que não ocupasse muito espaço dos vagões tipo. Para determinar o número total de baterias basta uma multiplicação do valor de 'Bateriassérie' e 'Bateriasparalelo', o que resultará nos valores destacados na Tabela 15 para cada vagão tipo.

Tabela 15 - Baterias em paralelo para os vagões

	Ah/dia corrigido	Ah Bateria	Baterias paralelo	Taxa de utilização
Econômica	106	60	2	88%
		105	2	50%
		150	1	71%
		220	1	48%
Executivo	106	60	2	88%
		105	2	50%
		150	1	71%
		220	1	48%
Restaurante	99	60	2	83%
		105	1	94%
		150	1	66%
		220	1	45%
Lanchonete	389	60	7	93%
		105	4	93%
		150	3	86%
		220	2	88%
Gerador	60	60	1	100%
		105	1	57%

		150 220	1 1	40% 27%
	Ah/dia corrigido	Ah Bateria	Baterias paralelo	Taxa de utilização
		60	3	75%
		105	2	64%
Especial	135	150	1	90%
		220	1	61%

Fonte: O autor (2024)

Compilando-se os dados sobre as baterias chega-se em uma capacidade e quantidade de baterias para cada vagão tipo, que é apresentada na Tabela 16 nas células destacadas para cada vagão.

Tabela 16 - Quantidade de baterias e capacidade do banco

Vagão tipo	Qtd. de Baterias	Capacidade (Ah)
Econômico	4 x 150 Ah	600
Executivo	4 x 150 Ah	600
Restaurante	4 x 105 Ah	420
Lanchonete	8 x 220 Ah	1760
Gerador	4 x 60 Ah	240
Especial	4 x 150 Ah	600

Fonte: O autor (2024)

Importante frisar que são visados a redução de espaço utilizado pelo banco de baterias e o valor gasto com o equipamento. Nos vagões de classe econômica e executiva, optou-se por não utilizar a quantidade mínima de baterias, uma vez que baterias de maior capacidade têm um custo mais elevado.

3.6. CONJUNTO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para iniciar o dimensionamento e análise do conjunto de módulos fotovoltaicos, deve-se antes conhecer o módulo fotovoltaico que será utilizado no sistema. Após uma busca entre os modelos disponíveis no mercado e compatíveis com a base de cálculo anterior, o módulo escolhido foi o da marca ZTROON modelo ZTP-340M com ficha de dados do equipamento no Anexo C e algumas das informações relevantes na Figura 16.

Figura 16 - Características do módulo ZTROON ZTP-340M

ESPECIFICAÇÕES	
Potência Máxima (Pmax)	340W
Tolerância de potência	0 ~ 3%
Tensão Máxima (Vmp)	38,85V
Corrente Máxima (Imp)	8,8A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	45,2V
Corrente de Curto-circuito (Isc)	9,27A
Eficiência (%)	20,66%
Tensão máxima do sistema	1000V
Categoria	Classe A
Tecnologia da célula	Silício Monocristalino PERC
Número de células	68
Dimensão do módulo (mm)	1870x880x30mm
Área do módulo (m²)	1,65m²
Peso (kg)	16,67kgs
Grau de Proteção	IP67
Busbars	12 Busbars
Associação das células	4x17S
NMOT	44°C ±2
Coefficiente de temperatura Pmax	-0,4%/K
Coefficiente de temperatura Voc	-0,37%/K
Coefficiente de temperatura Isc	+0,05%/K
Temperatura ambiente de operação	44°C ± 2
Corrente reversa máxima suportada	20A
Garantia	Garantia de 3 anos (já incluído os 90 dias da garantia legal).*

Fonte: ZTROON (2024)

Para o cálculo da energia gerada por módulo existem 2 opções segundo Villalva (2015), por método da insolação recomendada para quando um controlador de carga MPPT for utilizado e pelo método da corrente máxima do módulo. O tópico controlador de carga será comentado mais adiante, para a sequência de cálculos foi considerado o método da insolação.

A fórmula utilizada para o cálculo da energia produzida por módulo é simples e utiliza como variáveis a Insolação diária (E_s) expressada em $Wh/m^2/dia$, a área da superfície do módulo em m^2 (A_m) e a eficiência do módulo (η_m) e está expressa na Equação 9.

$$E_p = E_s * A_m * \eta_m \quad (9)$$

Como o sistema é Off-grid é preciso lembrar que a energia produzida a mais no verão não será incorporada na rede elétrica e voltará em forma de crédito para abatimento de faturas futuras, com isso vê-se necessário dimensionar o sistema para

o mês com a menor irradiação solar durante o ano. Na Tabela 17 são apresentados os valores de energia gerada por módulo em kWh, com o mês de junho destacado pois é o mês em que ocorre a menor irradiação.

Tabela 17 - Dados de energia produzida por módulo

Mês	Irradiação global (Wh/m ² *dia)	HSP/dia	Energia produzida (kWh)
Janeiro	5.876	5,876	2,00
Fevereiro	6.102	6,102	2,07
Março	5.146	5,146	1,75
Abril	4.569	4,569	1,55
Maio	3.897	3,897	1,32
Junho	3.676	3,676	1,25
Julho	3.827	3,827	1,30
Agosto	4.505	4,505	1,53
Setembro	4.902	4,902	1,67
Outubro	5.045	5,045	1,72
Novembro	4.882	4,882	1,66
Dezembro	5.650	5,650	1,92

Fonte: O autor (2024)

A partir da energia produzida pode-se calcular a quantidade de módulos necessários para abater o consumo ou energia demandada. Para aproximar este valor da realidade, pode-se fazer uma aproximação da energia demandada considerando-se a eficiência dos cabos e banco de baterias, conforme Miranda (2018) utilizou a Equação 10.

$$E_{corrigida} = \frac{Consumo}{Ef.cabos * Ef.bat} \quad (10)$$

Para o cálculo da quantidade de módulos necessários para abater a energia demandada corrigida é necessário utilizar a Equação 11, lembrando que assim como no banco de baterias, números com casas após a vírgula precisam ser arredondados.

$$N_{mod} = \frac{E_{corrigida}}{E_{mód}} \quad (11)$$

Na Tabela 18 estão os dados compilados para cada vagão tipo, considerando-se a energia corrigida e a quantidade de módulos necessária para atendê-la, levando-se em consideração o pior mês de produção, destacado na última coluna.

Tabela 18 - Número de módulos necessários

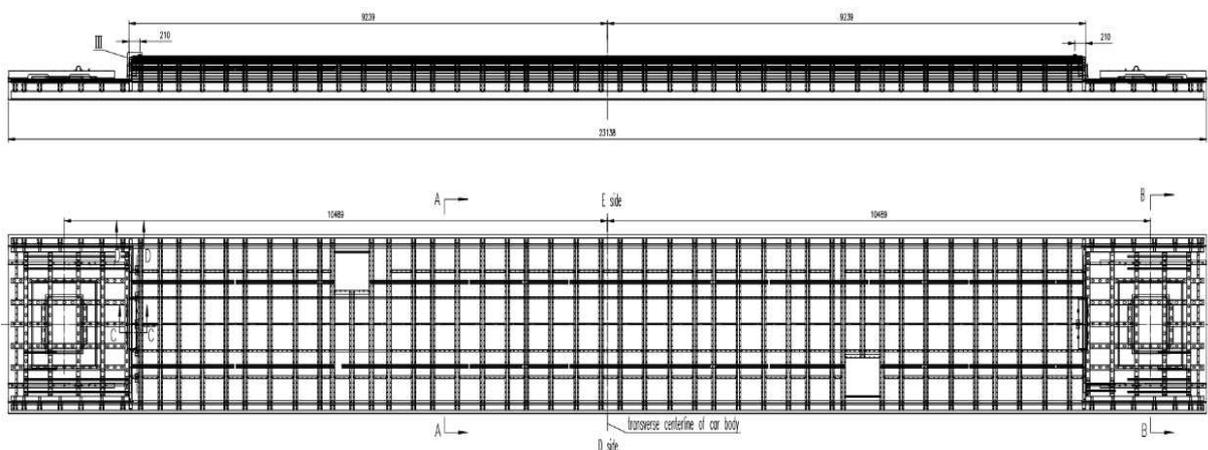
Vagão tipo	Consumo (kWh)	Energia corrigida (kWh)	Nmódulos
Econômico	4,833	5,802	5
Executivo	4,833	5,802	5
Restaurante	4,492	5,393	5
Lanchonete	17,716	21,267	18
Gerador	2,723	3,269	3
Especial	6,146	7,378	6

Fonte: O autor (2024)

Contudo, é necessário avaliar também o local para instalação dos módulos, averiguando-se a área disponível para instalação a fim de encontrar a capacidade máxima de módulos para instalação.

Como apresentado no projeto fornecido pela VALE, na Figura 17, a área no topo da superestrutura dos vagões é limitada pelos condensadores do ar-condicionado, que restringem o vão central a aproximadamente 18 m. Além disso, como indicado na Figura 18, a forma abaulada dessa área limita as opções de módulos que poderiam ser utilizados.

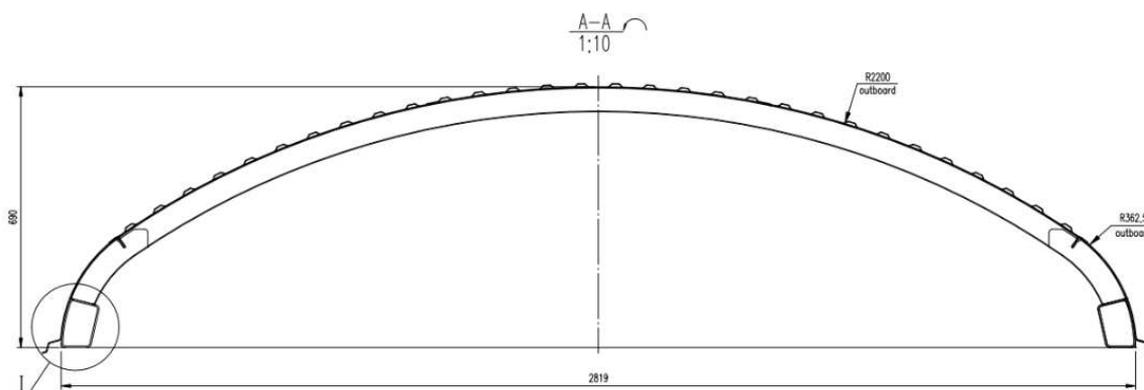
Figura 17 - Vista superior do vagão



Fonte VALE (2024)

A parte abaulada do teto apresentada na Figura 18 dificulta a instalação dos módulos e limita a área que pode ser utilizada, visto que o corredor central do vagão precisa estar livre tanto para a manutenção dos módulos fotovoltaicos ou relacionadas à estrutura do vagão.

Figura 18 - Vista frontal do vagão



Fonte: VALE (2024)

Considerando-se as dimensões do módulo fotovoltaico escolhido para o trabalho que são 1,87m de altura e 0,88m de largura seria possível instalar um total de 18 módulos por vagão. Este número atenderia o consumo de todos os vagões analisados e com isso não haveria nenhum sistema com entrega parcial de ESFV.

3.7. CONTROLADORES DE CARGA

Foi escolhido o controlador de carga MPPT, apesar de o custo ser maior que um controlador PWM, a maximização da produção de energia vinda dos módulos compensa essa diferença. Para determinar a quantidade de controladores que serão necessários para o sistema é necessário saber a corrente total do sistema, que é obtida por meio da multiplicação da corrente em curto-circuito dos módulos, (I_{sc}) e a quantidade utilizada em cada vagão tipo além disso, a tensão do sistema ($VDC_{sistema}$) que é 48V.

Como em um SFI a tensão precisa ser um valor baixo, próximo ao banco de baterias, é necessário que os módulos sejam interligados em paralelo. Com isso, o valor de tensão se mantém constante e a corrente resultante será um valor elevado, para os vagões tipos os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Corrente total do sistema para cada vagão tipo

Vagão tipo	Tensão do sistema	I_{sc} (A)	nº de módulos	Corrente total (A)	Quantidade de controladores utilizados
Econômico	48 VDC	9,27	5	46,35	1 x 60a
Executivo	48 VDC	9,27	5	46,35	1 x 60a
Restaurante	48 VDC	9,27	5	46,35	1 x 60a
Lanchonete	48 VDC	9,27	18	166,86	1 x 30a + 2 x 60a

Gerador	48 VDC	9,27	3	27,81	1 x 30a
Especial	48 VDC	9,27	6	55,62	1 x 60a

Fonte: O autor (2024)

Em busca por modelos que atendessem a tensão do sistema, visando preço e qualidade dos produtos utilizados, foram escolhidos 2 modelos de controladores MPPT. O de 60 A da marca POWMR modelo M60-PRO e o de 30 A da marca Epever, modelo XTRA 3415N, folhas de dados dos equipamentos disponíveis no Anexo D. Para não misturar os controladores de modelos e marcas diferentes, para cada vagão tipo foi escolhida a disposição que se encontra na Tabela 20.

Tabela 20 - Dados dos controladores de carga por vagão tipo

Vagão tipo	Corrente total (A)	Quantidade de controladores utilizados	Corrente total permitida (A)
Econômico	46,35	1 x 60a	60
Executivo	46,35	1 x 60a	60
Restaurante	46,35	1 x 60a	60
Lanchonete	166,86	3 x 60a	180
Gerador	27,81	1 x 30a	30
Especial	55,62	1 x 60a	60

Fonte: O autor (2024)

Os dados mostrados na Tabela 20 exemplificam a diferença no tamanho do sistema que cada vagão necessita para atender a demanda energética.

3.8. DADOS DO SFI

Após fazer os dimensionamentos necessários para os SFI utilizados foi realizada uma cotação dos materiais, com o intuito de chegar a um valor final do sistema em reais e realizar a análise econômica. Os dados obtidos nas cotações se encontram na Tabela 21 onde há o valor final do sistema para cada vagão tipo, além dos equipamentos. Há também a adição de materiais como estruturas, cabos, conectores e proteções para o sistema, assim como a consideração de uma mão de obra terceirizada para fazer a instalação.

Tabela 21 - Dados do SFI para cada vagão tipo

Vagão tipo	Carga (kW)	Autonomia	Alimentação	Inversor	Banco de baterias	Módulos	Controlador de carga	Outros componentes	Valor do sistema
Econômico	4,151		DC48V	-	4 x 150 Ah	5 x ZTROON 340 Wp	1 x 60A POWMR M60-PRO	Estrutura e material elétrico	R\$ 14.438,52
Executivo	4,151		DC48V	-	4 x 150 Ah	5 x ZTROON 340 Wp	1 x 60A POWMR M60-PRO	Estrutura e material elétrico	R\$ 14.438,52
Restaurante	3,893		DC48V	-	4 x 105 Ah	5 x ZTROON 340 Wp	1 x 60A POWMR M60-PRO	Estrutura e material elétrico	R\$ 12.250,92
Lanchonete	3,79	0,5625 dias	DC48V	-	8 x 220 Ah	18 x ZTROON 340 Wp	3 x 60A POWMR M60-PRO	Estrutura e material elétrico	R\$ 43.545,29
	1,675		AC220V	Epever IP3000-42-PLUS(T)					
Gerador	2,3748		DC48V	-	4 x 60 Ah	3 x ZTROON 340 Wp	1 x 30A Epever XTRA 3415N	Estrutura e material elétrico	R\$ 8.830,23
Especial	5,501		DC48V	-	4 x 150 Ah	6 x ZTROON 340 Wp	1 x 60A POWMR M60-PRO	Estrutura e material elétrico	R\$ 15.247,37

Fonte: O autor (2024)

Consequentemente, para saber o valor total do sistema utilizando a composição máxima, é necessário multiplicar pela quantidade de vagões utilizados. A Tabela 22 apresenta os valores totais do sistema assim como a energia gerada total por mês em kWh.

Tabela 22 - Valores totais do SFI

Vagão tipo	Valor por vagão	Energia gerada (kWh/mês)	Quantidade	Energia total (KWh/mês)	Valor composição
Econômico	R\$ 14.438,52	250,76	8	4613,94	R\$ 253.136,04
Executivo	R\$ 14.438,52	250,76	4		
Restaurante	R\$ 12.250,92	250,76	1		
Lanchonete	R\$ 43.545,29	902,73	1		
Gerador	R\$ 8.830,23	150,45	1		
Especial	R\$ 15.247,37	300,91	1		

Fonte: O autor (2024)

Com o valor total da composição apresentado na coluna destacada na Tabela 22, a análise econômica realizada terá uma proximidade maior com a realidade visto que foram levantadas cotações dos equipamentos utilizados.

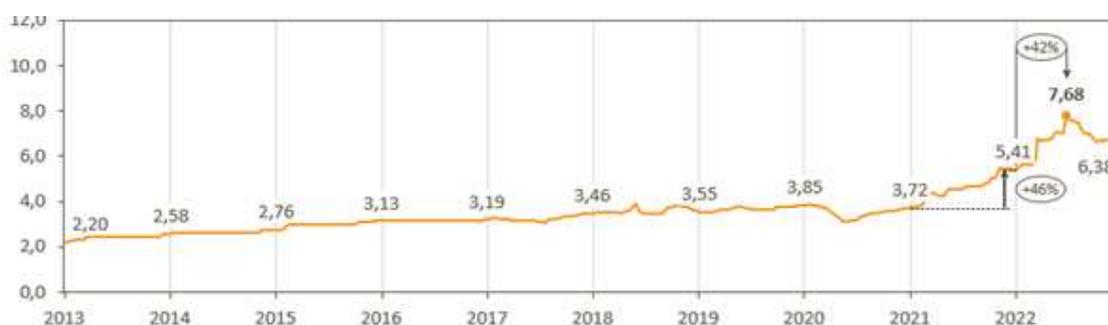
3.9. MÉDIA HISTÓRICA DIESEL S10

Para a análise econômica do sistema dimensionado é necessário ter um valor de comparação para saber o quanto a energia solar economizaria para o cliente. No caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, este valor seria a taxa

determinada pela concessionária de energia local, ainda, para o SFI projetado será necessária uma outra medida de comparação.

Como atualmente as cargas selecionadas para análise são atendidas por um grupo gerador Diesel, faz-se o uso do valor do Diesel S10 como a taxa a ser abatida pelo SFI. Na Figura 19 há uma mostra do valor desse combustível até meados do ano de 2022, necessário para o cálculo tarifário, além disso mostra-se a alta histórica no valor do Diesel que ocorreu em 2022.

Figura 19 - Preço médio Diesel S10



Fonte: MODOLO, L. O. (2023)

Visando aumentar o período de análise do aumento tarifário, a tabela 23 busca trazer informações até outubro de 2024 para gerar uma média de aumento dos últimos 10 anos. Assim, interpolando os dados obtidos na Figura 19 com informações mais recentes é obtido o aumento tarifário por ano na coluna destacada na Tabela 23.

Tabela 23 - Média histórica e % de aumento do Óleo Diesel S10

Média histórica do diesel R\$/l		
Ano	Valor	Aumento Tarif.
2013	R\$ 2,20	-
2014	R\$ 2,58	17,27%
2015	R\$ 2,76	6,98%
2016	R\$ 3,13	13,41%
2017	R\$ 3,19	1,92%
2018	R\$ 3,46	8,46%
2019	R\$ 3,55	2,60%
2020	R\$ 3,85	8,45%
2021	R\$ 3,72	-3,38%
2022	R\$ 6,68	79,61%
2023	R\$ 5,84	-12,60%
2024	R\$ 6,01	2,91%

Fonte: Adaptado MODOLO, L.O. (2024)

O aumento no valor do Óleo Diesel S10 no ano de 2022 pode ser explicado por diversos fatores políticos tanto no Brasil quanto no exterior, fortemente atrelado à produção mundial, assim, percebe-se que fatores externos têm um impacto no preço praticado para o consumidor. Um dos maiores produtores mundiais, a Rússia, em guerra com a Ucrânia desde o início de 2022 fez com que os preços aumentassem consideravelmente, assim como a alta demanda e baixa produtividade no fim de 2021 e início de 2022. Valores que tiveram uma certa queda ou estabilidade devido a um projeto de lei (PLP 18/2022) que classificou o combustível como um bem indispensável, limitou a alíquota do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) entre 17% e 18% dependendo do estado (MODOLO, 2023).

A média de aumento do Óleo Diesel S10 por ano ficou em 11,42%, a título de consideração para a análise econômica apresentada, o estudo desconsiderou os resultados discrepantes, tanto positivos quanto negativos apresentados nos anos de 2022 e 2023. Com isso, a média de aumento do Diesel considerada foi de 6,51%.

Ainda, o preço atual praticado no mercado, com média nacional de R\$ 6,01 por litro, em contato com a VALE para obter o valor real praticado foi informado que é uma informação restrita internamente e não poderia ser divulgado. Logo, para chegar em um valor final é considerada uma redução no preço do Diesel, que resulta em um valor de R\$ 4,81 por litro.

O consumo do gerador Diesel utilizado é uma média dos valores praticados no mercado, dos geradores mais modernos, que é de aproximadamente 0,25 l/kWh, ou seja, é consumido 0,25 litros de S10 para gerar 1 kWh de energia. Com o valor atual considerado para o combustível, o custo para gerar 1 kWh é de R\$ 1,20, dado que é utilizado na análise.

4. ANÁLISE ECONÔMICA

Com o sistema dimensionado e com um valor definido para a instalação para a composição máxima, é fundamental um investimento por parte da empresa, assim, fez-se necessário uma análise econômica para checar a viabilidade de instalação. Para o presente trabalho a análise foi limitada a um período de 25 anos, que é o período em que o fabricante dos módulos garante uma perda mínima de eficiência.

Para fazer uma análise econômica foi preciso determinar alguns itens importantes como por exemplo o índice de inflação, Índice Nacional de Preços ao Consumidor (IPCA) e taxa de atratividade ou a taxa mínima de atratividade (TMA). Para o cálculo do IPCA foi utilizada a mesma metodologia aplicada ao Óleo Diesel S10 no tópico anterior, e foram analisados os últimos 10 anos. Este índice representa uma análise comportamental dos preços tanto de produtos quanto de serviços ao longo do ano. Na Tabela 24 é apresentada a variação ano a ano e ao final a média aritmética dos últimos 10 anos, em destaque, utilizada como base na análise.

Tabela 24 - IPCA Acumulado anual

IPCA acumulado por ano	
Ano	Taxa
2014	6,41%
2015	10,67%
2016	6,29%
2017	2,95%
2018	3,75%
2019	4,31%
2020	4,52%
2021	10,06%
2022	5,79%
2023	4,62%
Média	5,94%

Fonte: IBGE (2024)

A TMA escolhida para o projeto foi de 7,5% ao ano, valor praticado por algumas empresas do ramo de energia solar e que representa um percentual de retorno maior do que um investimento mais seguro como a poupança que pelos dados do Banco Central, tem um retorno anual estimado em 6,82% em 2024.

Outro item a se considerar para a projeção futura de renda economizada é a manutenção do sistema. Nos sistemas off-grid há um gasto elevado neste item, algo que impacta no payback e no fluxo de caixa acumulado, isso porque segundo

recomendação do fabricante de baterias, é necessário realizar a troca a cada 4 anos. Dito isso, o custo das baterias do sistema é de R\$ 86.539,20 para a composição máxima e, para a análise, foi considerado o reajuste da inflação médio de 5,94% e um valor de mão de obra em torno de 15% desse valor.

Além do custo de manutenção do sistema, também foi importante considerar o decréscimo de eficiência dos módulos ao longo do tempo, assim, considerou-se 0,06% de queda por mês. As ponderações feitas para o investimento são encontradas agrupadas na Tabela 25.

Tabela 25 - Considerações do investimento

RESUMO CONSIDERAÇÕES	
Item	Valor
Conversão Diesel l/kWh	0,25
R\$/kWh	R\$ 1,20
Média aumento Diesel	6,51%
Média IPCA 10 anos	5,94%
TMA anual	7,50%

Fonte: O autor (2024)

Com as considerações feitas foi possível chegar em um valor de fluxo de caixa por ano, estes dados estão compilados na Tabela 26, onde a Economia foi representada pelo fluxo de caixa, e ainda, os anos em que o valor é negativo acontecem pela manutenção necessária do sistema. Também pode ser apresentado graficamente como mostra na Figura 20.

Tabela 26 - Fluxo de caixa anual (Economia anual)

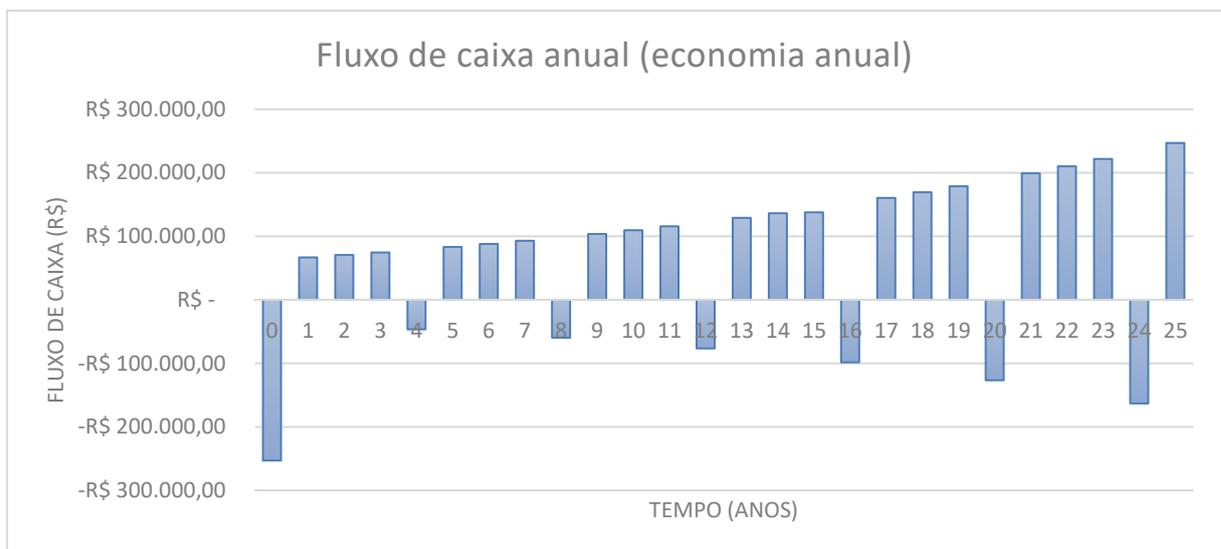
Ano	Geração (kWh)	Valor do kWh	Fluxo de Caixa (Economia)
0	-	-	-R\$ 253.136,04
1	55.171,69	R\$ 1,20	R\$ 66.702,78
2	54.743,97	R\$ 1,28	R\$ 70.496,74
3	54.316,72	R\$ 1,36	R\$ 74.502,57
4	53.889,47	R\$ 1,45	-R\$ 46.612,22
5	53.461,30	R\$ 1,55	R\$ 83.193,05
6	53.034,51	R\$ 1,65	R\$ 87.904,49
7	52.606,79	R\$ 1,76	R\$ 92.875,12
8	52.179,54	R\$ 1,87	-R\$ 59.746,07
9	51.752,29	R\$ 1,99	R\$ 103.656,65
10	51.324,12	R\$ 2,12	R\$ 109.494,89
11	50.897,33	R\$ 2,26	R\$ 115.657,11
12	50.469,62	R\$ 2,41	-R\$ 76.675,07
13	50.042,36	R\$ 2,56	R\$ 129.010,55
14	49.615,11	R\$ 2,73	R\$ 136.240,55

15	49.186,94	R\$	2,91	R\$	137.688,94
16	48.760,15	R\$	3,10	-R\$	98.519,26
17	48.332,44	R\$	3,30	R\$	160.378,40
18	47.905,19	R\$	3,52	R\$	169.314,72
19	47.477,94	R\$	3,74	R\$	178.734,75
20	47.049,76	R\$	3,99	-R\$	126.741,96
21	46.622,97	R\$	4,25	R\$	199.125,49
22	46.195,26	R\$	4,52	R\$	210.149,97
23	45.768,01	R\$	4,82	R\$	221.768,03
24	45.340,76	R\$	5,13	-R\$	163.233,68
25	44.912,58	R\$	5,47	R\$	246.896,37

Fonte: O autor (2024)

Para auxiliar na visualização dos valores, os dados da Tabela 26 são apresentados graficamente na Figura 20.

Figura 20 - Fluxo de caixa (Economia anual)



Fonte: O autor (2024)

Com o valor do fluxo de caixa anual apresentado há a possibilidade de calcular o payback simples, ou seja, em quanto tempo haverá o retorno do valor inicial investido no projeto. Compilando-se os dados graficamente, é possível visualizar o fluxo de caixa acumulado no período de 25 anos conforme a Figura 21.

Figura 21 - Fluxo de caixa acumulado

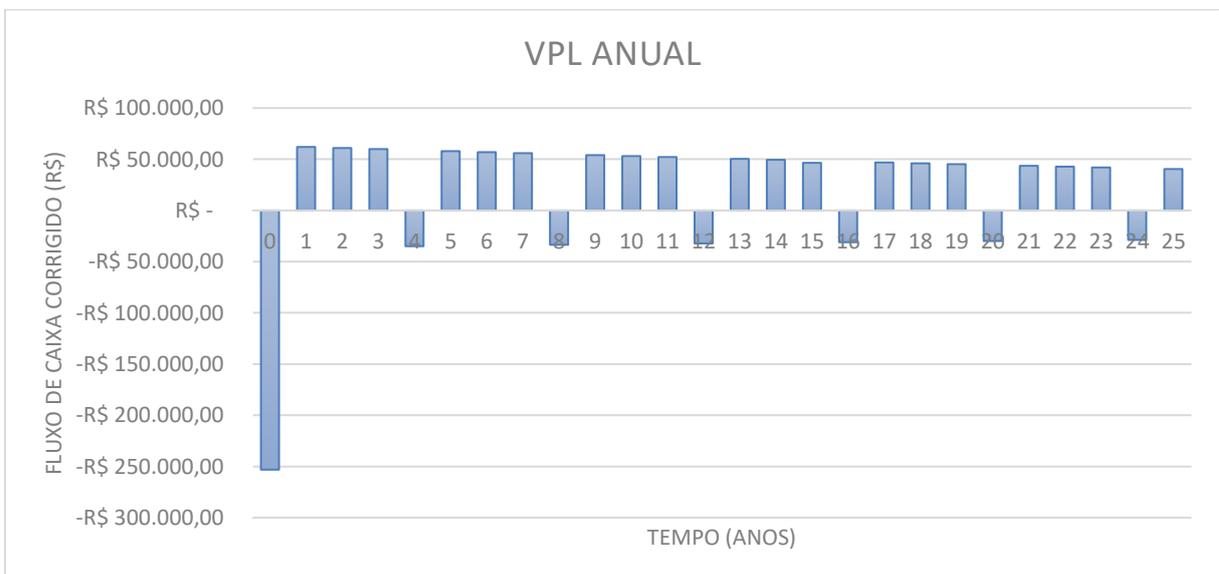


Fonte: O autor (2024)

A Figura 21 mostra o impacto que as manutenções têm para obter o retorno financeiro do sistema, que finalmente se dá entre o quinto e o sexto ano de funcionamento, mais especificamente no período de 5 anos e 1 mês de funcionamento.

Para fazer a correção dos valores de acordo com a taxa de atratividade selecionada, foi preciso fazer o cálculo do VPL, que resultou no gráfico apresentado na Figura 22, utilizado para que se possa verificar os anos em que a manutenção dos equipamentos aumentaria o tempo de retorno do investimento.

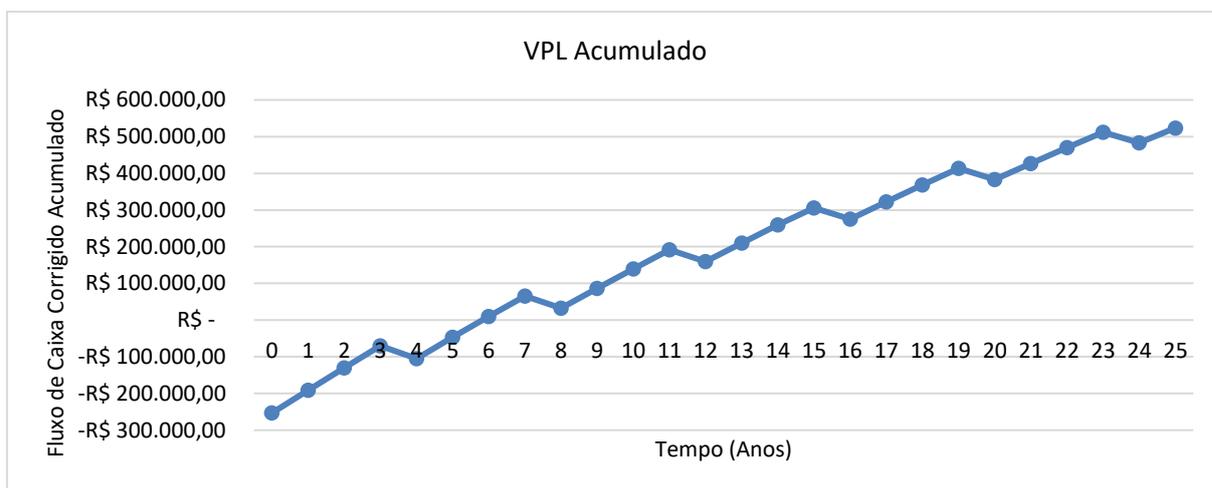
Figura 22 - VPL anual



Fonte: O autor (2024)

A Figura 23 traz os dados apresentados na Figura 22 de forma acumulada nos últimos 25 anos e mostra uma curva similar ao fluxo de caixa acumulado.

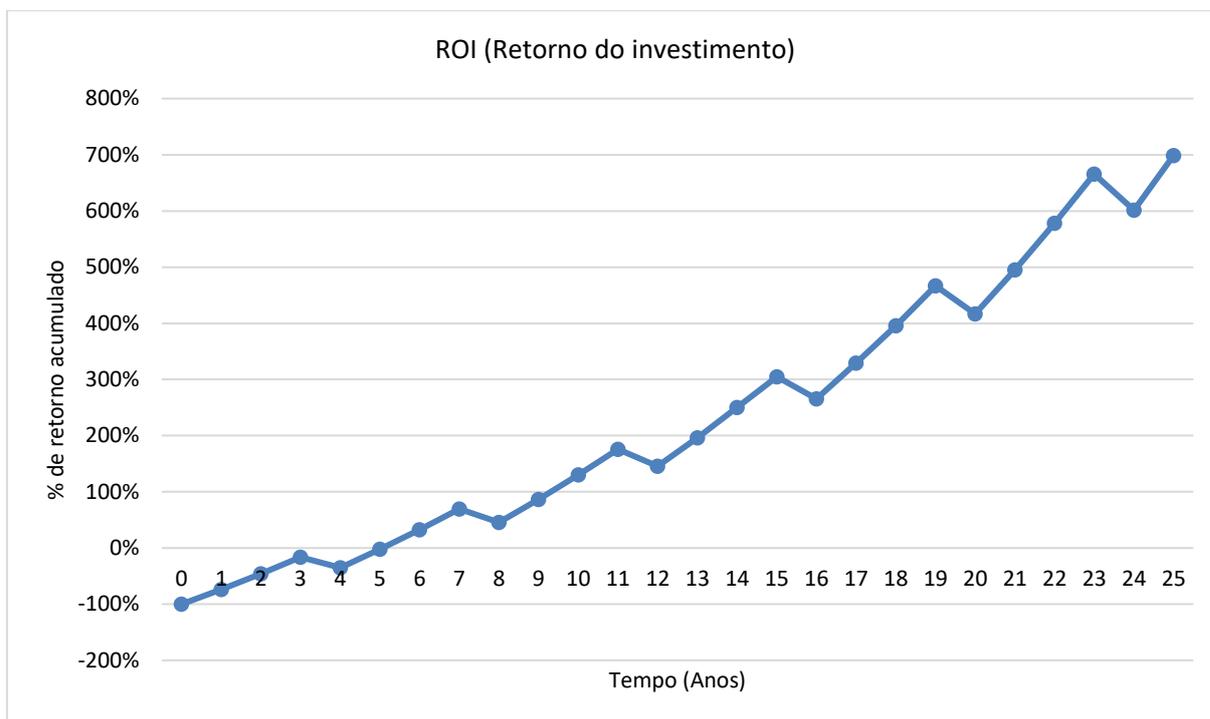
Figura 23 - VPL acumulado no período de 25 anos



Fonte: O autor (2024)

Pelo gráfico do VPL acumulado apresentado na Figura 23 é possível perceber um aumento no tempo de payback do sistema, indo para próximo de 6 anos. Além disso, é possível visualizar uma diferença no valor acumulado do projeto. Para avaliar o quanto o SFI retornaria foi preciso fazer o cálculo do ROI, que gerou o gráfico apresentado na Figura 24. Vale ressaltar que o ROI é uma estimativa de ganhos e não um indicador de viabilidade do SFI instalado.

Figura 24 - ROI



Fonte: O autor (2024)

Avaliando-se o gráfico da Figura 24, entre os anos 5 e 6 o fluxo de caixa chegou a 0 e após isso todo valor de entrada foi visto como um ganho. Considerando-se o período de análise do sistema, que é de 25 anos, o ROI foi estimado em 699%, o que monetariamente seria um valor de R\$ 1.769.126,87.

Os resultados do investimento, utilizando-se as considerações do investimento na Tabela 25, encontram-se na Tabela 27, com dados agrupados.

Tabela 27 - Resumo dos indicadores econômicos

RESUMO INDICADORES ECONÔMICOS		
Payback simples		5 anos e 1 mês
Economia acumulada	R\$	1.769.126,87
VPL em 25 anos	R\$	523.532,29
ROI		699%

Fonte: O autor (2024)

Como o VPL no final dos 25 anos foi positivo, indicou que o investimento realizado no sistema projetado foi viável e, permite sua execução. Contudo, é importante salientar que é uma análise econômica preliminar e que outros fatores externos (panorama do preço do óleo Diesel, possíveis incentivos fiscais por utilizar

energia “limpa”, novos tipos de geração de energia, mudanças na frota de vagões, entre outros) devem ser considerados pela empresa para checar a viabilidade econômica de instalação de um SFI.

Com o intuito de comparar o VPL em 25 anos com outras TMAs, foram considerados outros 2 novos valores, 10,75% que é a taxa SELIC no mês de outubro de 2024, e 15% que é uma TMA considerada para investimentos com riscos mais elevados. Calculando-se o VPL em 25 anos para essas taxas mencionadas os valores obtidos são destacados na Tabela 28.

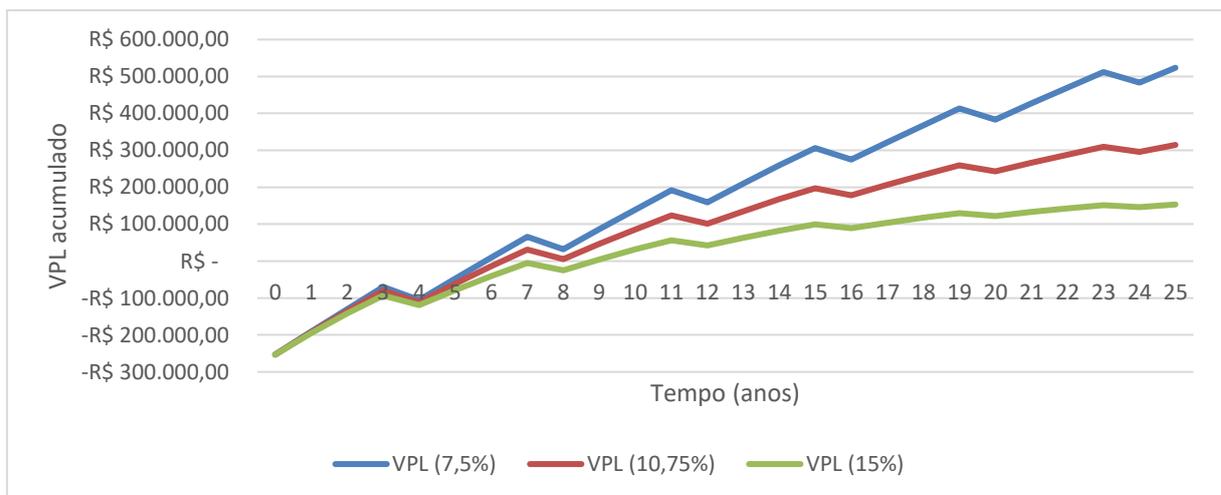
Tabela 28 - VPL com diferentes TMAs

TMA	VPL (25 anos)	
7,50%	R\$	523.532,29
10,75%	R\$	314.655,25
15,00%	R\$	153.328,01

Fonte: O autor (2024)

Mesmo utilizando-se taxas de desconto (TMAs) maiores, o que indicaria um aumento no risco do investimento, o VPL continuaria sendo positivo e com isso indicaria a viabilidade de execução do projeto. Para visualizar essa diferença no VPL acumulado anual a Figura 25 contém uma comparação entre as 3 curvas geradas para cada TMA escolhida.

Figura 25 - VPL acumulado com diferentes TMAs



Fonte: O autor (2024)

Para efeito comparativo, caso não fossem utilizados os descontos nas taxas, mencionadas na Tabela 25, outros resultados seriam obtidos, superiores economicamente aos anteriormente expostos. Os dados considerados para apresentar o investimento sem descontos estão na Tabela 29.

Tabela 29 - Considerações sem o desconto

RESUMO CONSIDERAÇÕES	
Item	Valor
Conversão Diesel l/kWh	0,3
R\$/kWh	R\$ 1,80
Média aumento Diesel	11,42%
Média IPCA 10 anos	5,94%
TMA anual	7,50%

Fonte: O autor (2024)

Com as considerações apresentadas na Tabela 29, a rentabilidade do sistema seria consideravelmente mais elevada, porém, não estaria tão atrelada com a realidade do investimento. Os dados obtidos com o cálculo encontram-se na Tabela 30.

Tabela 30 - Resumo dos indicadores econômicos

RESUMO INDICADORES ECONÔMICOS	
Payback simples	2 anos e 5 meses
Economia acumulada	R\$ 8.930.970,44
VPL em 25 anos	R\$ 2.569.001,86
ROI	3528%

Fonte: O autor (2024)

Os valores da Tabela 30 mostram-se fora da realidade de um investimento, principalmente por não levar em consideração os descontos mencionados no início do tópico, em longo prazo os valores tornam-se imprecisos e possivelmente inatingíveis. Sendo assim, é apresentado o quão importante é a escolha e análise dos parâmetros a serem utilizados no projeto, para que a análise econômica se aproxime da realidade e que o investimento não seja distorcido por dados inatingíveis a longo prazo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por objetivo dimensionar e analisar a viabilidade econômica de um projeto SFV para um trem de passageiros, mais especificamente a composição máxima utilizada na Estrada de Ferro Vitória a Minas. O sistema proposto teria como finalidade atender parcialmente as cargas elétricas demandadas por cada vagão utilizado na composição.

Na fase de dimensionamento do sistema foi possível contar com o auxílio da empresa que administra a EFVM, a VALE, que fez o envio de uma tabela com os dados de carga demandada e consumo de energia estimada por viagem. Com base nestes parâmetros recebidos, fez-se o uso de uma planilha que auxiliasse no cálculo das informações referentes à geração de ESFV, utilizando a metodologia de VILLALVA (2015) para a sequência de cálculos.

Para a composição máxima analisada neste trabalho chegou-se a um consumo de energia em 89,072 kWh por viagem considerando as cargas analisadas. A potência total instalada para a composição máxima totaliza 14,28 kWp e com uma estimativa de produção anual de 55,37 MWh de energia. Somando a quantidade de módulos para cada SFI totalizariam 42 unidades de 340 Wp instalados.

Com relação à análise de viabilidade econômica do projeto, o intuito do trabalho foi realizar uma análise sobre o tempo de retorno necessário para o investimento inicial. Após realização de cotações dos equipamentos utilizados chegou-se em um valor total de custo do sistema, além das considerações necessárias quanto à manutenção e taxa de energia a ser abatida, foi possível obter o fluxo de caixa utilizado no cálculo do payback simples, VPL e ROI. Para o reajuste da taxa de energia considerada, do óleo Diesel S10, foi utilizada a média do valor de aumento nos últimos 10 anos, excluindo-se os valores discrepantes resultados da influência geopolítica, obteve-se como resultado um aumento de 6,51% ao ano (a.a.).

Além disso, os valores das manutenções realizadas seguem a média do IPCA acumulado dos últimos 10 anos, valor de 5,94 % a.a. O VPL foi calculado com base em uma TMA de 7,5% a.a. praticada por algumas empresas do ramo de energia solar, com isso, pode-se calcular o retorno proveniente do investimento no período determinado de 25 anos.

Os resultados, avaliados sob um aspecto bibliográfico, mostram-se satisfatórios. Com o investimento inicial de R\$ 253.136,04, a análise de payback

simples mostra que entre o 5º e o 6º ano de funcionamento o sistema seria pago. Outro ponto importante foi a análise de VPL, que retorna um valor positivo, o que indica que o investimento é considerado atrativo com relação à TMA selecionada para análise. O último indicador, ROI, que foi utilizado como um indicativo de retornos do sistema, mostrou um retorno de R\$ 1.769.126,87 ao fim do período pré-estipulado de 25 anos, o que é aproximadamente 6,98 vezes o valor do investimento inicial.

Ainda, como alguns dos fatores foram estimados antes do seu uso, caso o projeto saia do papel e seja implantado, vê-se como necessário uma validação dos dados utilizando a metodologia representada neste trabalho, que buscou se aproximar ao máximo dos valores reais empregados.

Portanto, além do retorno financeiro que segundo os indicadores econômicos se mostrou positivo, o sistema de ESFV tem uma importância ambiental considerando-se a meta de redução de emissão de gás carbônico e um enquadramento da empresa em uma metodologia Ambiental, Social e Governança (ESG).

5.1. TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, seguem as recomendações:

- Utilização de softwares como PVsyst para chegar em perdas do sistema mais próximas da realidade;
- Cálculo de redução de emissão de gases de efeito estufa e o impacto ambiental que a substituição de um sistema gerador Diesel por um SFI gera;

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW.** Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw> . 2024

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10899: Energia solar fotovoltaica - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de juros básicas – Histórico.** Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. 2024

BERVIAN, P. A.; CERVO, A. L.; SILVA, R. d. **Metodologia científica.** São Paulo: Pretence Hall, ,2002.

BNDES. **Transporte sobre trilhos no Brasil: uma perspectiva do material rodante.** BNDES Setorial 40, p. 235-282. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3021/2/Transporte%20sobre%20trilhos%20no%20Brasil.pdf> . 2021.

BOARDMAN, A. E. **Cost-benefit analysis – concepts and practice.** 2018.

BREALEY, R., MYERS, S., ALLEN, F. **Principles of Corporate Finance.** 2016.

Breve História da Energia Solar. Disponível em: <https://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>

BRIGHAM, E.F., EHRHARDT, M.C. **Financial Management Theory and Practice.** 13th edititon- Cengage Learning. 2010.

CNT. **Anuário CNT do Transporte: Estatísticas Consolidadas|2021.** Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/File/PrincipaisDados.pdf> . 2021.

GITMAN, L. J., ZUTTER, C. J. **Administração Financeira: Princípios e Aplicações (12^a ed.).** São Paulo: Pearson Hall, 2012.

GTES. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltáicos.** Edição esp ed. Rio de Janeiro: CRESESB, 2014.

IBGE. **IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>>

LUQUE, A., HEGEDUS, S. **Photovoltaic Science Handbook of Photovoltaic Science.** Chichester: Wiley & Sons Ltd, 2003.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. D. S. **Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geostacionário-o Projeto Swera (Solar energy resources assesment using geostationary satellites in 85**

brazil-Swera Project). Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 2, p. 145– 159, 2004.

MIRANDA, I. L. L. **Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de KITs de Energia Solar Fotovoltaico para Sistemas Isolados até 3800 Wh/dia**. Universidade Federal do Paraná (UFPR). 2018

MODOLO, L. O. **Análise sobre o preço do diesel no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://ilos.com.br/analise-sobre-o-preco-do-diesel-no-brasil/>

OVELHA, Rui Miguel Rocha Val de; **Projeto, Dimensionamento e Instalação de Solução Fotovoltaica em moradia offgrid**. 2017. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia de Energia e do Ambiente, Universidade de Lisboa, 2017.

PEREIRA, E. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. [s.l.] Universidade Federal de São Paulo, 2017.

PINHO, J. T., GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltáicos**. Edição esp ed. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CRESESB, 2014.

RIBEIRO, B. H. L. **Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891): o criador da célula solar**. 2021. Disponível em: <https://www3.unicentro.br/petfisica/2021/12/17/alexandre-edmond-becquerel-1820-1891-o-criador-da-celula-solar/>

ROSS, S. A., WESTERFIELD, R. W. JAFFE, J. **Administração Financeira Corporativa (12ª ed)**. São Paulo: McGraw-Hill, 2018.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. [s.l: s.n.].

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC, 4. Ed. 138p., 2005.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2015.

ANEXOS

ANEXO A – FICHA TÉCNICA INVERSOR


Série IPower-Plus
 Inversor de onda senoidal pura

Visão Geral

O IPower-Plus é um inversor de onda senoidal pura de alta frequência que pode converter 12/24/48Vcc em 220/230/240Vca (ou 100/110/120Vca) e alimentar as cargas CA. Ele foi projetado de acordo com o padrão internacional, com maior qualidade, confiabilidade e segurança.

Variando de 750W a 5.000W, o IPower-Plus é perfeitamente compatível com baterias de íons de lítio e se adapta a qualquer situação de CC para CA, como trailers, barcos, residências e locais que exigem alta qualidade de energia elétrica.

Características

- Tecnologia SPWM e uma saída de onda senoidal pura.
- Completo isolamento elétrico entre a entrada CC e saída CA
- Frequência de saída configurável
- Alta capacidade de potência e componentes de alta qualidade para garantir maior confiabilidade
- Visor LCD rotacionável (180 graus) para simplificar instalação do sistema
- Proteção completa: inversão de polaridade na entrada/subtensão/sobretensão/sobrecarga de saída/curto-circuito/superaquecimento
- Conexão externa projetada para permitir acionamento remoto
- Ventoinha de resfriamento de ar controlado por temperatura e carga
- Segurança (EN/IEC62109) e EMC aprovados por normas internacionais



Especificações Técnicas

Parâmetro	IP750-41-Plus(T)	IP1000-21-Plus(T)	IP1000-41-Plus(T)	IP1500-11-Plus(T)	IP1500-41-Plus(T)	IP2000-21-Plus(T)	IP2000-41-Plus(T)	IP3000-11-Plus(T)	IP3000-21-Plus(T)	IP3000-41-Plus(T)	IP4000-41-Plus(T)
Potência Nominal de Saída*	750W	1000W	1000W	1500W	1500W	2000W	2000W	3000W	3000W	3000W	4000W
Potência de Pico/Máxima (Se)*	1500W	2000W	2000W	3000W	3000W	4000W	4000W	4800W	6000W	6000W	8000W
Tensão de Saída	127Vca (-8% ~ 5%) Monofásica										
Frequência de Saída	60Hz										
Forma de onda	Senoidal Pura										
THD (carga resistiva)	THD≤3%	THD≤3%	THD≤3%	THD≤4%	THD≤4%	THD≤4%	THD≤4%	THD≤4%	THD≤5%	THD≤4%	THD≤4%
Tensão Nominal de Entrada	48Vcc (43,2~64,0Vcc)	24Vcc (21,6~32,0Vcc)	48Vcc (43,2~64,0Vcc)	12Vcc (10,8~16,0Vcc)	48Vcc (43,2~64,0Vcc)	24Vcc (21,6~32,0Vcc)	48Vcc (43,2~64,0Vcc)	12Vcc (10,8~16,0Vcc)	24Vcc (21,6~32,0Vcc)	48Vcc (43,2~64,0Vcc)	48Vcc (43,2~64,0Vcc)
Eficiência Máxima	>92,5%	>92,5%	>92,5%	>93%	>92%	>92%	>93%	>93%	>91,5%	>93,5%	>93%
Corrente sem Carga	<0,5A	<0,6A	<0,5A	<1,0A	<0,5A	<0,9A	<0,5A	<1,6A	<1,0A	<0,4A	<0,6A
Porta RS485	5Vcc/200mA										
Porta USB	-	5Vcc 1A (máx.)	-	5Vcc 1A (máx.)	-	5Vcc 1A (máx.)	-	5Vcc 1A (máx.)	5Vcc 1A (máx.)	-	-
Parâmetros Mecânicos											
Terminal de Entrada	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M10	M6	M6	M6
Dimensões	332x231,5x123mm	371x231,5x123mm	332x231,5x123mm	387x231,5x123mm	387x231,5x123mm	421x231,5x123mm	421x231,5x123mm	550x274x148mm	521x274x148mm	516x231,5x123mm	521x274x148mm
Dimensões de Montagem	306x145mm	345x145mm	306x145mm	361x145mm	361x145mm	395x145mm	395x145mm	525x145mm	495x145mm	490x145mm	495x145mm
Orifícios de Montagem	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm
Peso Líquido	4,5kg	5,0kg	4,5kg	6,0kg	6,0kg	6,5kg	6,5kg	13,0kg	8,0kg	8,0kg	12,0kg
Temperatura de Operação	-20°C ~ +60°C										
Temperatura de Armazenamento	-39°C ~ +70°C										
Umidade	≤ 95%										
Grau de Proteção	IP20										

*Temperatura padrão de referência: 35°C. A potência nominal e a potência de pico/máxima são as mesmas para a temperatura de 40°C.

Especificações Técnicas

Parâmetro	IP750-42-Plus(T)	IP1000-22-Plus(T)	IP1000-42-Plus(T)	IP1500-12-Plus(T)	IP1500-42-Plus(T)	IP2000-22-Plus(T)	IP2000-42-Plus(T)	IP3000-12-Plus(T)	IP3000-22-Plus(T)	IP3000-42-Plus(T)	IP5000-42-Plus(T)
Potência Nominal de Saída*	750W	1000W	1000W	1500W	1500W	2000W	2000W	3000W	3000W	3000W	5000W
Potência de Pico/Máxima (5s)*	1500W	2000W	2000W	3000W	3000W	4000W	4000W	4800W	6000W	6000W	8000W
Tensão de Saída	220Vca (-8% ~ 5%) Monofásica										
Frequência de Saída	60Hz										
Forma de onda	Senoidal Pura										
THD (carga resistiva)	THD\leq3%	THD\leq3%	THD\leq3%	THD\leq3%	THD\leq3%	THD\leq3%	THD\leq3%	THD\leq3%	THD\leq3%	THD\leq3%	THD\leq3%
Tensão Nominal de Entrada	48Vcc (43,2~64,0Vcc)	24Vcc (21,6~32,0Vcc)	48Vcc (43,2~64,0Vcc)	12Vcc (10,8~16,0Vcc)	48Vcc (43,2~64,0Vcc)	24Vcc (21,6~32,0Vcc)	48Vcc (43,2~64,0Vcc)	12Vcc (10,8~16,0Vcc)	24Vcc (21,6~32,0Vcc)	48Vcc (43,2~64,0Vcc)	48Vcc (43,2~64,0Vcc)
Eficiência Máxima	>93%	>93%	>93%	>93%	>94%	>93%	>94,5%	>94%	>94%	>94,5%	>94%
Corrente sem Carga	<0,4A	<0,9A	<0,4A	<1,2A	<0,5A	<1,0A	<0,5A	<1,6A	<1,0A	<0,5A	<0,8A
Porta RS485	5Vcc/200mA										
Porta USB	-	5Vcc 1A (máx.)	-	5Vcc 1A (máx.)	-	5Vcc 1A (máx.)	-	5Vcc 1A (máx.)	5Vcc 1A (máx.)	-	-
Parâmetros Mecânicos											
Terminal de Entrada	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M10	M6	M6	M6
Dimensões	332x231,5x123mm	371x231,5x123mm	332x231,5x123mm	387x231,5x123mm	387x231,5x123mm	421x231,5x123mm	421x231,5x123mm	557x231,5x123mm	521x274x148mm	491x231,5x123mm	531x231,5x123mm
Dimensões de Montagem	306x145mm	345x145mm	306x145mm	361x145mm	361x145mm	395x145mm	395x145mm	532x145mm	495x145mm	465x145mm	505x145mm
Orifícios de Montagem	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm	Φ6mm
Peso Líquido	4,5kg	5,0kg	4,5kg	6,0kg	6,0kg	6,5kg	6,5kg	10,5kg	8,0kg	7,0kg	9,0kg
Temperatura de Operação	-20°C ~ +60°C										
Temperatura de Armazenamento	-35°C ~ +70°C										
Umidade	≤ 95%										
Grau de Proteção	IP20										

*Temperatura padrão de referência: 35°C. A potência nominal e a potência de pico/máxima são as mesmas para a temperatura de 40°C.

ANEXO B – FICHA TÉCNICA BATERIAS

CATÁLOGO TÉCNICO

FREEDOM[®]
ESTACIONÁRIA by Heliar ⚡
 LIVRE DE MANUTENÇÃO
 LIBRE DE MANTENIMIENTO

PRINCIPAIS APLICAÇÕES:
 SISTEMAS DE FIDELIDADE, SISTEMAS ESTACIONÁRIOS,
 NO BREAKS (UPS) E SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES.
 NÃO UTILIZAR EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS.
 PRINCIPALES APLICACIONES:
 SISTEMAS ESTACIONARIOS, SISTEMAS ESTACIONARIOS,
 NO BREAKS (UPS) Y SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES.
 NO UTILIZAR EN VEHICULOS AUTOMOTRICES.

DF700

FABRICADO POR ENBREC DO BRASIL LTDA.
 AV. INDEPENDÊNCIA, 2707 - SOHO/LARA / SP
 C.N.F. (IMP.) 05.374-079/000210

ANATEL
 1216-07-3962

(011) 0789167607010

ANATEL
 1216-07-3962

www.heliar.com.br

Johnson Controls

NOSSA *FÁBRICA*

As baterias estacionárias FREEDOM® by Heliar são produzidas pela Johnson Controls, maior fabricante mundial de baterias.



Em Sorocaba-SP, fica localizada a fábrica da Johnson Controls no Brasil, a maior e mais moderna fábrica de baterias da América do Sul.

As baterias estacionárias FREEDOM® by Heliar são produzidas com alto padrão de qualidade e respeito ao meio ambiente. São homologadas pela Anatel e possuem certificação ISO 9002, ISO14000 e ISOTS16949. Todos os títulos conferem à FREEDOM® by Heliar qualidade e confiabilidade de ordem internacional.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Principais Características Elétricas

Modelos		DF300	DF500	DF700	DF1000	DF1500	DF2000	DF2500	DF3000	DF4000/ DF4001	DF4100
Capacidade @25°C (Ah)	10 h	24	30	41	54	76	94	130	156	200	200
	20 h	26	36	45	60	80	105	150	170	225	220
	100 h	30	40	50	70	93	115	165	185	240	240
Dimensões (mm)	Comprimento	175	175	210	244	330	330	511	511	518	525
	Largura	175	175	175	175	172	172	213	213	274	275
	Altura	175	175	175	175	240	240	230	230	242	250
Peso (Kg)		8,8	9,7	12,5	14,7	23,9	27,1	44,6	48,3	60	60,3
Torque	Mínimo	9 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m	13,6 N.m	13,6 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m
	Máximo	11 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m	20,3 N.m	20,3 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m
Tensão de Flutuação						de 13,2 a 13,8V @ 25°C					
Tensão de carga / equalização						de 14,4 a 15,5V @ 25°C					
Compensação de temperatura						Para cada 1°C acima de 25°C, subtrair 0,033V Para cada 1°C acima de 25°C, adicionar 0,033V					

Correntes de descarga (A) em diferentes regimes a 25°C (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS															MINUTOS			
	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
Bateria	0,3	1,3	2,4	2,6	2,9	3,3	3,8	4,4	4,9	5,4	6	7	8,2	10	12,8	18	21	25	40
DF300	0,4	1,8	3	3,3	3,7	4,2	4,9	5,8	6,2	6,8	7,6	8,6	9,9	12	15	20	25,3	33	52
DF500	0,5	2,3	4,1	4,5	5	5,6	6,5	7,5	8,2	9,2	10	11,5	13,6	16,3	21	27	32	43	65
DF700	0,7	3	5,4	5,8	6,4	7,3	8,2	9,8	10,5	11,5	12,5	14,5	17	19	25,2	35	42,5	55	84
DF1000	0,93	4	7,6	8,2	9	10	11,5	13,2	14,5	16	18,2	21	25	29,5	38	54	69	90	130
DF2000	1,2	5,3	9,4	10,2	11,5	13	14,5	17	18,4	20,3	22,6	25	29,5	34,5	44	60	75	96	150
DF2500	1,7	7,5	13	14,4	16,2	18	20	23	25	28	31	34	40	47	58	81	99	130	200
DF3000	1,9	8,5	15,6	17	19	21,4	24,7	28	30	33	36	41	48	57	72	95	112	152	231
DF4000 DF4001 DF4100	2,4	11	20	21,5	24	26,5	30	35	38	41,5	46	52	60	72	90	120	145	191	290

Capacidade em ampère-hora (Ah) a 25°C em diferentes regimes de descarga (tensão final 10,5V)

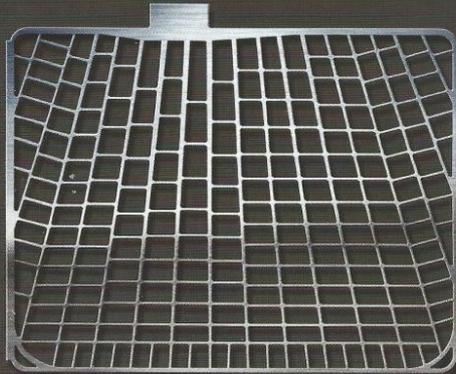
Modelo	HORAS															MINUTOS			
	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
Bateria	30	26	24	23,8	23,5	23,1	22,8	22	21,9	21,6	21	21	20,5	20	19,2	18	15,8	12,5	10
DF300	40	36	30	29,9	29,8	29,7	29,4	28,8	27,7	27	26,6	25,8	24,8	24	22,5	20	19	16,5	13
DF500	50	45	41	40,5	40	39,5	39,2	37,5	37,1	36,8	35	34,5	34	32,5	31,5	27	24	21,5	16,3
DF700	70	60	54	51,8	51,6	51,1	49,2	49	47,3	46	43,8	43,5	42,5	38	37,8	35	31,9	27,5	21
DF1000	93	80	76	73,8	72	70	69	66	65,3	64	63,7	63	62,5	59	57	54	51,8	45	32,5
DF2000	115	105	94	92	91,8	91	87	85	82,8	81,2	79,1	75	73,8	69	66	60	56,3	48	37,5
DF2500	165	150	130	129,8	129,6	126	120	115	112,5	112	108,5	102	100	94	87	81	74,3	65	50
DF3000	185	170	156	153	152	150	148,2	140	135	132	126	123	120	114	108	95	84	76	57,8
DF4000 DF4001 DF4100	240	220	200	193,5	192	185,5	180	175	171	166	161	156	150	144	135	120	108,8	95,5	72

Watts (W) a 25°C (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS															MINUTOS			
	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
Bateria	4	16	29	32	35	40	46	53	58	65	72	84	98	120	154	216	253	300	480
DF300	5	22	36	40	45	51	59	69	74	81	91	103	119	144	180	240	304	396	576
DF500	6	27	49	54	60	68	78	90	99	110	120	138	163	195	252	324	384	502	750
DF700	8	36	65	69	77	88	98	118	126	138	150	174	204	228	302	420	459	594	907
DF1000	11	48	91	98	108	120	138	158	174	192	218	252	300	354	456	648	746	972	1404
DF2000	14	63	113	123	138	156	174	204	221	244	271	300	354	414	528	720	811	1037	1620
DF2500	20	90	156	173	194	216	240	276	300	336	372	408	480	564	696	972	1070	1404	2160
DF3000	22	102	187	204	228	257	296	336	360	396	432	492	576	684	864	1140	1210	1642	2497
DF4000 DF4001 DF4100	29	132	240	258	288	318	360	420	456	498	552	624	720	864	1080	1440	1567	2063	3110

TECNOLOGIA

A tecnologia **PowerFrame®** é a maior evolução que a produção de baterias no Brasil já alcançou.



TECNOLOGIA MUNDIAL:

É comprovado que nas baterias o fator que mais as desgasta é a corrosão, e a grade é o componente mais atacado por isso. As grades da bateria estacionária **FREEDOM®** by Heliar são comprovadamente mais resistentes à corrosão, pois contam com a tecnologia **PowerFrame®**.

MAIS ENERGIA E CAPACIDADE DE CICLAGEM:

PowerFrame® melhora a condutividade elétrica e capacidade de ciclagem porque o processo de fabricação resulta em um desenho otimizado e grades com material altamente homogêneo.



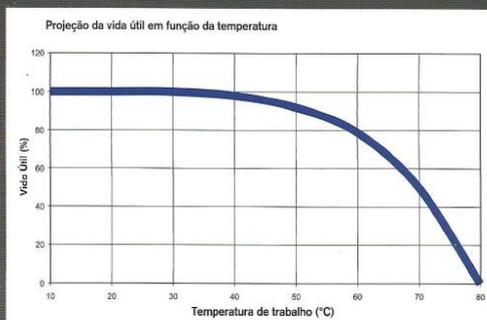
LIVRE DE
MANUTENÇÃO

RESPEITO AO MEIO AMBIENTE:

Além de melhorar a performance da bateria, a tecnologia de grades **PowerFrame®** é ecológica porque reduz em até 20% o uso de recursos naturais como energia elétrica.

VIDA ÚTIL

As baterias estacionárias **FREEDOM®** by Heliar foram projetadas para uma vida útil superior a 4 anos (a uma temperatura de 25°C e profundidade de descarga de 20%).



APLICAÇÕES

Este manual destina-se às aplicações em:

Ups/No-Break; Pabx; Centrais Telefônicas; Sinalização; Iluminação de Emergência; Energia Solar; Energia Eólica; Monitoramento Remoto; Alarmes; Vigilância Eletrônica; Subestações Elétricas; Telecomunicações e outras.

CARACTERÍSTICAS

As características de construção das baterias estacionárias FREEDOM® by Heliar são:

TAMPA

Tampa selada com sistema de labirinto, com grande superfície interna, permite que gotículas de eletrólito originadas na carga sejam condensadas em sua superfície e retornem às respectivas células, evitando escape de eletrólito para o exterior.

FILTRO ANTICHAMA

Pastilhas em material poroso que permitem o escape de gases para fora da bateria e impedem a penetração de chamas para o seu interior, que podem ocasionar explosão.

GRADES

Com exclusiva tecnologia PowerFrame®. Mais energia e capacidade de reciclagem porque são produzidas com precisão e material altamente homogêneo.

ELETRÓLITO FLUIDO

Diferentemente das baterias VRLA, as baterias FREEDOM® by Heliar têm eletrólito em forma fluida, que permite melhor dissipação térmica da bateria, conferindo vantagens em relação às baterias VRLA, que são mais sensíveis à variação de temperatura.

SOLDA INTERCELULAR

Conexão entre elementos com área de solda 36% maior que as baterias do mercado. Permite melhor condução de corrente e melhor eficiência elétrica da bateria em processo de carga e descarga.

SEPARADOR

Separador de polietileno microporoso de alta resistência mecânica, menor resistência elétrica, maior resistência às ações químicas do ácido, aumentando significativamente a vida útil da bateria.

INDICADOR DE TESTE (charge eye)*

Permite imediata visualização das condições da bateria para teste, orientando seu diagnóstico:

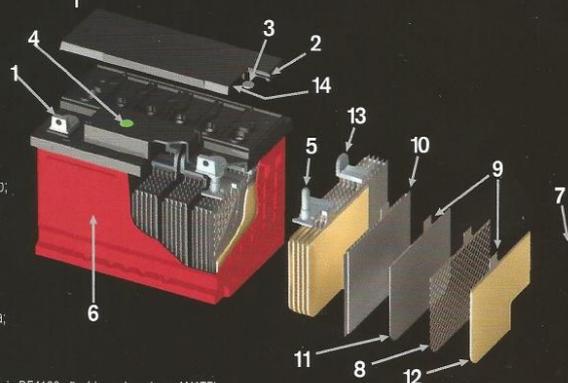
- Indicação verde: a bateria está carregada e pode ser submetida a teste;
- Indicação escura: a bateria está descarregada e deve ser recarregada;
- Indicação clara: nível do eletrólito está baixo, esta bateria não deve ser submetida a teste e recarga, pode ter sido danificada pelo sistema de carga, exposição à temperatura elevada por um longo período de tempo ou por dano que ocasionou vazamento, a bateria deve ser substituída.

TIPOS DE TERMINAIS

- DF300, DF500, DF700, DF1000, DF2500, DF3000, DF4001 E DF4100: terminal "L", De chumbo.
- DF1500 e DF2000: rosqueados, de aço Inoxidável (rosca de 3/8" 16 unc).
- DF4000: terminal DIN Cônico.

As baterias estacionárias FREEDOM® by Heliar são produzidas em fábrica certificada ISO9002, ISO/TS16949, ISO14000 e Certificação na Resolução Anatel nº 602 - Homologação 1216-07-3962.

1. Terminal tipo "L";
2. Respiro;
3. Filtro Antichama;
4. Indicador de Teste;
5. Poste Reforçador;
6. Caixa Polipropileno Vermelha;
7. Grades Positivas PowerFrame®;
8. Grades Negativas expandidas em Liga de Chumbo - Cálcio;
9. Terminal da placa centralizado com área 36% maior que a concorrência;
10. Separador em Polietileno;
11. Material Ativo Negativo;
12. Material Ativo Positivo;
13. Conexão com área de solda 36% maior que a concorrência;
14. Labirinto SMS II.

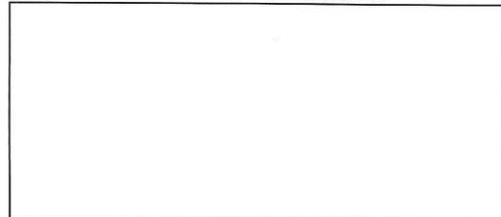


*NÃO SE APLICA À BATERIA DF4000, DF4001, DF4100 | OBS: a bateria DF4100 não é homologada na ANATEL.

LINHA *COMPLETA* HELIAR



DISTRIBUIDOR AUTORIZADO



Produzido por:
Johnson Controls - Divisão de Baterias
Av. Independência, 2757 - Bairro Éden - Sorocaba - SP - CEP 18087-101
SAC: 0800 16 16 44

www.heliar.com.br

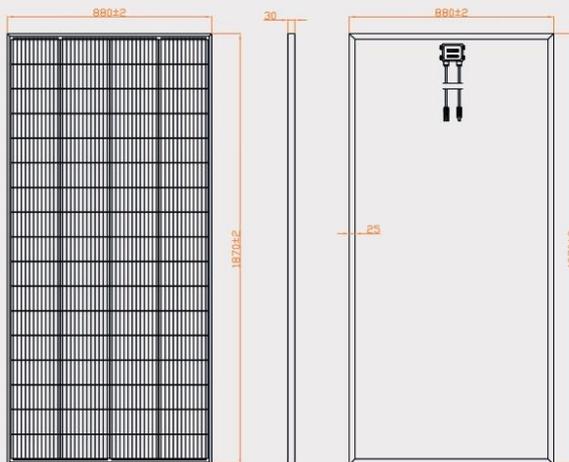
FREEDOM[®]
by Heliar

ANEXO C – FICHA TÉCNICA MÓDULOS



PAINÉIS SOLARES

ZTP-340M | 340W



ESPECIFICAÇÕES

Potência Máxima (Pmax)	340W
Tolerância de potência	0 – 3%
Tensão Máxima (Vmp)	38,65V
Corrente Máxima (Imp)	8,8A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	45,2V
Corrente de Curto-circuito (Isc)	9,27A
Eficiência (%)	20,66%
Tensão máxima do sistema	1000V
Categoria	Classe A
Tecnologia da célula	Silício Monocristalino PERC
Número de células	68
Dimensão do módulo (mm)	1870x880x30mm
Área do módulo (m²)	1,65m²
Peso (kg)	16,67kgs
Grau de Proteção	IP67
Busbars	12 Busbars
Associação das células	4x17S
NMOT	44°C ±2
Coefficiente de temperatura Pmax	-0,4%/K
Coefficiente de temperatura Voc	-0,37%/K
Coefficiente de temperatura Isc	+0,05%/K
Temperatura ambiente de operação	44°C ± 2
Corrente reversa máxima suportada	20A
Garantia	Garantia de 3 anos (já incluído os 90 dias da garantia legal).*

*Consulte o termo de garantia na [Central de Suporte ao Cliente](#).

Condições Padrão de Teste (STC):
Am = 1,5 E = 1000W/m² T = 25°C



ANEXO D – FICHA TÉCNICA CONTROLADORES DE CARGA

Controlador de carga 30ª



Série XTRA
Controlador de Carga Solar MPPT

Visão Geral

A Série XTRA (10A~40A) é composta por controladores de carga com avançado rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) para sistemas fotovoltaicos não conectados à rede (off-grid), com unidades de display opcionais (XDB1/XDS1/XDS2). Foram projetados de acordo com os padrões internacionais de alta qualidade, confiabilidade e segurança. A função de limitação da potência de carga, corrente de carga e redução automática da potência asseguram total estabilidade ao trabalhar com painéis PV superdimensionados (máximo uma vez e meia da potência nominal) e em ambiente de alta temperatura.

Características

- Eficiência no rastreamento MPPT superior a 99,5%
- Eficiência máxima na conversão para carga chega a 97,4%
- Atende baterias chumbo-ácidas e baterias de lítio-ion
- Múltiplos modos de funcionamento
- Funções de limitação de potência e de corrente de carga
- Função de degradação da potência de carga em alta temperatura
- Protocolo de comunicação padrão Modbus com interface RS485 isolada
- Função de estatísticas de energia em tempo real
- Unidades de display LCD opcionais (XDB1/XDS1/XDS2) e acessórios
- Grau de proteção IP33
- Atende CE(LVD IEC62109, EMC EN3/1-6-61000) e RoHS, ETL (UL-1741:2010 e Canadian
- CSA C22.2 No.107.1.o1), FCC Class B Part 15 Compliant, IEC 62509:2010



Carro Solar



Casa Solar



Mochila Solar



Barco Solar



Iluminação Pública Solar



Gerador Solar

Especificações Técnicas

Modelo	XTRA 1206N	XTRA 2206N	XTRA 1210N	XTRA 2210N	XTRA 3210N	XTRA 4210N	XTRA 3215N	XTRA 4215N	XTRA 3415N	XTRA 4415N
Tensão Nominal do Sistema	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24/36/48 Vcc Auto	12/24/36/48 Vcc Auto
Tipo de Bateria	Chumbo-ácida (Selada / Gel / Úmida) / Lítio (LiFePo ₄ / LiCoMn)O ₂) / Usuário									
Faixa de Tensão da Bateria	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~68V	8~68V
Corrente de Carga Nominal	10A	20A	10A	20A	30A	40A	30A	40A	30A	40A
Corrente de Descarga Nominal	10A	20A	10A	20A	30A	40A	30A	40A	30A	40A
Potência de Carga Nominal	130W/12V 260W/24V	260W/12V 520W/24V	130W/12V 260W/24V	260W/12V 520W/24V	390W/12V 780W/24V	520W/12V 1040W/24V	390W/12V 780W/24V	520W/12V 1040W/24V	990W/12V 780W/24V 1170W/36V 1560W/48V	520W/12V 1040W/24V 1560W/36V 2080W/48V
Eficiência Máxima na Conversão	97,90%	98,30%	98,20%	98,30%	98,60%	98,60%	97,60%	97,90%	98,10%	98,50%
Eficiência de Rastramento	≥99,5%									
Tensão Máxima em Circuito Aberto do PV	60V (à mínima temperatura ambiente de operação) 46V (à temperatura ambiente de 25°C)		100V (à mínima temperatura ambiente de operação) 92V (à temperatura ambiente de 25°C)				150V (à mínima temperatura ambiente de operação) 138V (à temperatura ambiente de 25°C)			
Faixa de Tensão do MPPT	(Tensão da bateria +2V) ~36V	(Tensão da bateria +2V) ~36V	(Tensão da bateria +2V) ~72V	(Tensão da bateria +2V) ~72V	(Tensão da bateria +2V) ~72V	(Tensão da bateria +2V) ~72V	(Tensão da bateria +2V) ~108V	(Tensão da bateria +2V) ~108V	(Tensão da bateria +2V) ~108V	(Tensão da bateria +2V) ~108V
Tensão de Equalização	Selada:14,6V, Úmida:14,8V, Definido pelo usuário: 9-17V									
Tensão de Carga Intensa (Boost)	Gel:14,2V, Selada:14,4V, Úmida: 14,6V, Definido pelo usuário: 9-17V									
Tensão de Flutuação	Gel / Selada / Úmida:13,8V, Definido pelo usuário: 9-17V									
Tensão de Reconexão por Baixa Tensão	Gel / Selada / Úmida:12,6V, Definido pelo usuário: 9-17V									
Tensão de Desconexão por Baixa Tensão	Gel / Selada / Úmida:11,1V, Definido pelo usuário: 9-17V									
Autoconsumo	≤14mA(12V) ≤15mA(24V)	≤14mA(12V) ≤15mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V) ≤13mA(36V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V) ≤13mA(36V)
Compensação de Temperatura (Bat. Chumbo-ácida)	-3mV/C/2V (Default)									
Umidade Relativa	≤95%, N.C.									
Gabinete	IP33									
Interface de Comunicação	RS485 (RJ45)									
Aterramento	Negativo comum									
Faixa de Temperatura de Operação	-25°C ~+50°C (LCD); -30°C ~+50°C (Sem LCD)						-25°C ~+45°C (LCD); -30°C ~+45°C (Sem LCD)			
Dimensões (A x L x P)	175x143x48	217x158x56,5	175x143x48	217x158x56,5	230x165x63	255x185x67,8	255x185x67,8	255x187x75,7	255x187x75,7	255x189x83,2
Peso Líquido	0,57kg	0,96kg	0,57kg	0,96kg	1,31kg	1,70kg	1,70kg	2,07kg	2,07kg	2,47kg
<p>1. O controlador não irá identificar automaticamente a tensão do sistema quando conectado a baterias de lítio.</p> <p>2. Os valores de tensão são para sistema em 12V. Multiplique por 2 para sistema em 24V, por 3 para sistema em 36V, por 4 para sistema em 48V</p>										

Distribuidor Oficial no Brasil
Assistência Técnica no Brasil

NEOSOLAR ENERGIA LTDA

CNPJ 12.420.339/0001-26

Rua Morgado de Mateus, 516, 04015-051, São Paulo, SP

www.neosolar.com.br

contato@neosolar.com.br

Fone SAC (11) 4328-5113

WhatsApp (11) 99935-4534

HUIZHOU EPEVER TECHNOLOGY CO.,LTD.

Telefone de Pequim: +86-10-82894896/82894112

Telefone de Huizhou: +86-752-3889706

E-mail: info@epsolarpv.com

Site: www.epsolarpv.com

www.epever.com

Controlador de carga 60A

6 Technical Specification

Model	POW-M60-PRO
PV Input	
Max Open Voltage of PV Module	160Vdc
Max. Input Power:	
For 12V system	720W 20-80Vdc;
For 24V system	1440W 37-105Vdc;
For 36V system	2100W 50-160Vdc;
For 48V system	2800W 72-160Vdc.
Input Voltage Range	
For 12V System	20V~80V
For 24V System	37V~105V
For 36V System	50V~160V
For 48V System	72V~160V
Charge Mode	
Charging Technology	MPPT
Charge Algorithm	3-Stage
Nominal System Voltage	12V/24V/36V/48V
Battery Voltage Range	9~70V
Rated Charging Current	60A
Conversion Efficiency	≤98%
MPP Tracking Efficiency	>99%
Self-consumption	0.7W-1.2W
DC output	
Rated Output Current	6A
Max. DC Output Current	8A
Max. Capacitive Load Capacity	10000μF
Environment	
Operating Temperature Range	-35°C~+45°C
Humidity Range	≤95%, Non-condensing

Altitude	<3000m
General Specification	
Protection Class	IP32
Dimension	230*165*72mm (9.1*6.5*2.8in)
Net Weight	1.33kg (2.9lbs)