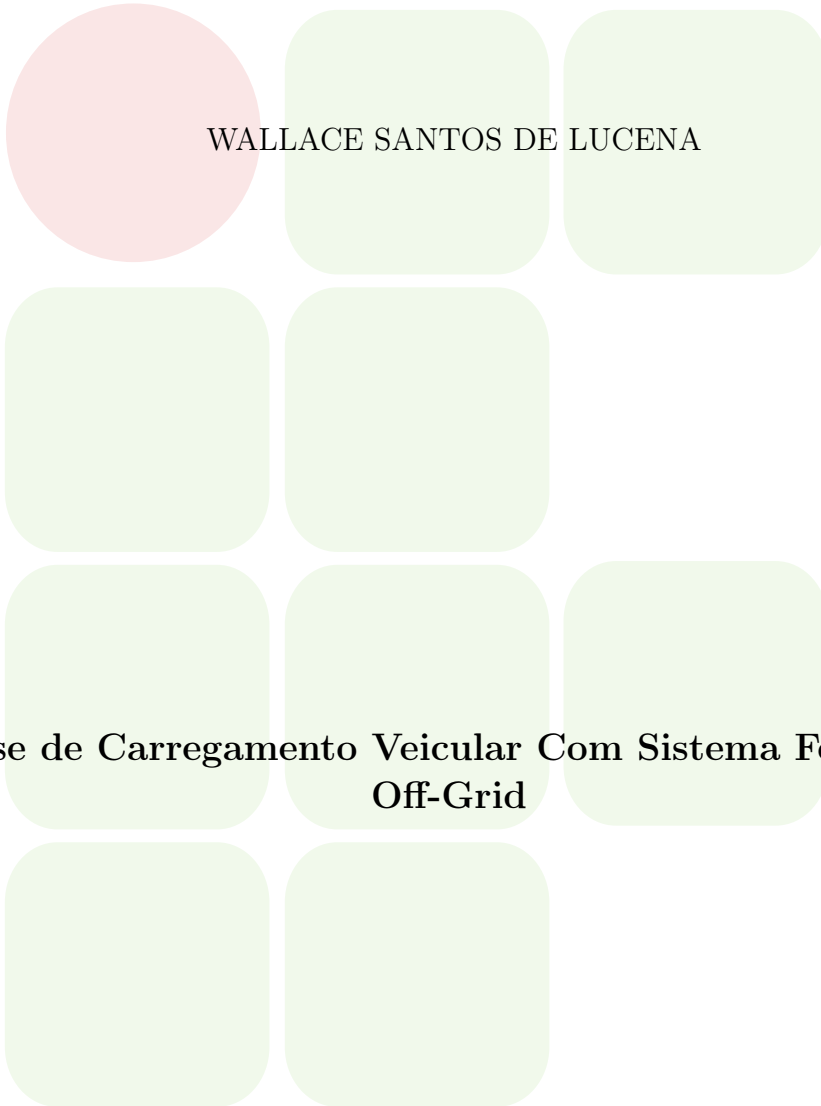


INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA
PARAÍBA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



WALLACE SANTOS DE LUCENA

**Análise de Carregamento Veicular Com Sistema Fotovoltaico
Off-Grid**

João Pessoa
2024

WALLACE SANTOS DE LUCENA

**Análise de Carregamento Veicular Com Sistema Fotovoltaico
Off-Grid**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Gilvan Vieira de Andrade Junior

João Pessoa
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

L935a Lucena, Wallace Santos de.

Análise de carregamento veicular com sistema fotovoltaico off-grid / Wallace Santos de Lucena. – 2024.

59 f. :il.

TCC (Graduação – Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2024.

Orientação : Prof^o. Dr. Gilvan Vieira de Andrade Junior.

1.Carregamento veicular. 2. Energia fotovoltaica. 3. Sistema off-grid 4. Veículo elétrico – frota municipal. 5. Sustentabilidade - economia de energia. I. Título.

CDU 621.3:629.331(043)

Bibliotecária responsável: Lucrecia Camilo de Lima – CRB 15/132


WALLACE SANTOS DE LUCENA

Análise de Carregamento Veicular Com Sistema Fotovoltaico Off-Grid


Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Trabalho aprovado pela banca examinadora em: 11/11/2024


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **GILVAN VIEIRA DE ANDRADE JUNIOR**
Data: 11/11/2024 17:54:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Gilvan Vieira de Andrade Junior, Dr. –
IFPB**

Documento assinado digitalmente
 **DIANA MORENO NOBRE DE SOUZA**
Data: 11/11/2024 18:57:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Diana Moreno Nobre de Souza, Dr. – IFPB
Membro da Banca**

Documento assinado digitalmente
 **JULIO CEZAR DE CERQUEIRA VERAS**
Data: 11/11/2024 18:00:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Julio Cezar de Cerqueira Veras, Me. –
IFPB
Membro da Banca**

João Pessoa, 11 de Novembro de 2024.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que me apoiaram ao longo deste trabalho. Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde, força e perseverança durante toda a trajetória acadêmica. Aos meus pais, Maria Enedina Santos de Lucena e Vinícius Trigueiro de Lucena, pela educação, apoio incondicional e por sempre acreditarem em meu potencial, tornando possível a realização deste sonho. A minha irmã, Déborah Lucena, por seu carinho e apoio constante, e à minha namorada, Virnna Barbosa, pela paciência, incentivo e compreensão ao longo dessa jornada. Ao meu orientador, Prof. Dr. Gilvan Vieira de Andrade Júnior, por sua paciência, orientação precisa e por compartilhar seu vasto conhecimento ao longo da realização deste TCC, sempre me incentivando a alcançar a excelência. Aos colegas de curso, especialmente, Henrique Pontes e Geraldo Júnior, que compartilharam essa jornada comigo, contribuindo com discussões, trocas de ideias e momentos de apoio mútuo. E, por fim, agradeço a todos os profissionais e amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

*“Você nunca alcança o sucesso verdadeiro a menos que você goste do que está fazendo.”
(Dale Carnegie)*

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como foco a análise e o desenvolvimento de um sistema de carregamento veicular off-grid, alimentado por energia solar fotovoltaica, para abastecimento da frota de veículos elétricos da prefeitura. O estudo foi realizado em três etapas principais: inicialmente, foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre sistemas fotovoltaicos e tecnologias de carregamento para veículos elétricos, com ênfase em soluções off-grid e sua viabilidade econômica. Em seguida, um estudo de caso foi desenvolvido para avaliar a implementação prática dessa tecnologia na infraestrutura existente, considerando os benefícios econômicos e de sustentabilidade para o município. Por fim, foram analisados os resultados obtidos, destacando-se a viabilidade do sistema proposto, o tempo de retorno do investimento e o potencial de economia energética.

Este TCC visa fornecer uma visão abrangente sobre a utilização de sistemas fotovoltaicos off-grid para frotas municipais, contribuindo para a expansão da mobilidade elétrica com economia e sustentabilidade. A análise realizada possibilita reflexões sobre a viabilidade técnica e econômica dessas tecnologias em contextos urbanos, incentivando futuros projetos de ampliação da frota elétrica sem custos adicionais de energia

Palavras-chave: Carregamento veicular, energia fotovoltaica, sistema off-grid, veículos elétricos, sustentabilidade, economia de energia, frota municipal

Palavras-chave: Carregamento veicular, energia fotovoltaica, sistema off-grid, veículos elétricos, sustentabilidade, economia de energia, frota municipal..

ABSTRACT

This thesis focuses on the analysis and development of an off-grid vehicle charging system powered by solar photovoltaic energy to supply the municipality's fleet of electric vehicles. The study was conducted in three main stages: initially, a literature review was carried out on photovoltaic systems and charging technologies for electric vehicles, emphasizing off-grid solutions and their economic feasibility. Subsequently, a case study was developed to evaluate the practical implementation of this technology within the existing infrastructure, taking into account the economic and sustainability benefits for the municipality. Finally, the results were analyzed, highlighting the viability of the proposed system, the investment payback period, and potential energy savings.

This thesis aims to provide a comprehensive view of the use of off-grid photovoltaic systems for municipal fleets, contributing to the expansion of electric mobility with cost savings and sustainability. The analysis enables reflections on the technical and economic feasibility of these technologies in urban contexts, encouraging future projects to expand electric fleets without additional energy costs.

Keywords: *Vehicle charging, photovoltaic energy, off-grid system, electric vehicles, sustainability, energy savings, municipal fleet.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Um ciclo de corrente alternada	19
Figura 2 – Tensão de Pico Eficaz e RMS	21
Figura 3 – Frota Municipal	35
Figura 4 – Imagem da coordenada do CAM	36
Figura 5 – Imagem da área do telhado proposto	36
Figura 6 – Imagem do VE em carregamento	37
Figura 7 – Esquema de carregamento	39
Figura 8 – Fator de Capacidade média no estado da Paraíba no ano de 2023	40
Figura 9 – Carregador Veicular Duosida SES-32	41
Figura 10 – Gráfico de retorno do investimento	50
Figura 11 – Datasheet do carregador veicular Duosida SES-32	55
Figura 12 – Datasheete parâmetros técnicos do carregador Veicular Duosida SES-32	55
Figura 13 – Datasheet2 da bateria estacionária Moura 12MN220	56
Figura 14 – Datasheet e parâmetros técnicos da bateria estacionária Moura 12MN220	56
Figura 15 – Parâmetros técnicos do módulo Canadian 555w monocristalino CS6W	57
Figura 16 – Conectores e painel controlador de carga EPEVER Tracker	58
Figura 17 – Parâmetros técnicos do controlador de carga EPEVER Tracer	58
Figura 18 – Datasheet Inversor Solar Growatt 36kW	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de carregamento da bateria do Veículo Elétrico BYD Dolphin com Carregador Nível 2 (CA)	37
Tabela 2 – Parâmetros Técnicos dos carregadores utilizados na EC da Prefeitura de João Pessoa	41
Tabela 3 – Características do Módulo Fotovoltaico selecionado	45
Tabela 4 – Dados da planta fotovoltaica a ser construída	46
Tabela 5 – Características do controlador EPEVER TRACER	47
Tabela 6 – Características da bateria Moura 12MN4100 12V 225Ah	48
Tabela 7 – Características do Inversor Solar 36kw 220/380V	49
Tabela 8 – Tabela de Itens e Valores	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	<i>Amperes</i>
ABVE	<i>Associação Brasileira do Veículo Elétrico</i>
AIE	<i>Agência Internacional de Energia</i>
Ah	<i>Amperère-hora</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
CA	<i>Corrente Alternada</i>
CAM	<i>Centro Administrativo Municipal</i>
CC	<i>Corrente Contínua</i>
CCS	<i>Combined Charging System</i>
DDP	<i>Diferença de Potencial</i>
DoD	<i>Profundidade de Descarga - Depth of Discharge</i>
Ea	<i>Energia Anual gerada</i>
Ed	<i>Energia diária gerada</i>
EC	<i>Estação de Carregamento</i>
FC	<i>Fator de Capacidade</i>
FV	<i>Sistema Fotovoltaico</i>
IEA	<i>international energy agency</i>
I-V	<i>Corrente-Tensão</i>
kW	<i>Quilowatt - Kilowatt</i>
kWh	<i>Quilowatt-hora - Kilowatt-hour</i>
Li-Ion	<i>Íons de Lítio</i>
Li-Po	<i>Polímero de Lítio</i>
Hz	<i>hertz</i>
MWh	<i>Megawatt-hora - Megawatt-hour</i>

MPP	<i>Ponto de máxima potência - Maximum Power Point</i>
MPPT	<i>Rastreamento de Ponto Máximo de Potência - Maximum Power Point Tracking</i>
Na	<i>Número de horas anuais</i>
NiMH	<i>Níquel-Hidreto Metálico</i>
Off-Grid	<i>Não conectado à rede</i>
On-Grid	<i>Conectado à rede</i>
ONS	<i>Operador Nacional do Sistema Elétrico</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RMS	<i>Raiz do valor quadrático médio - Root Mean Square</i>
SEMAM	<i>Secretaria de Meio Ambiente</i>
V	<i>Volts</i>
VE	<i>Veículos Elétricos</i>
VEB	<i>Veículo Elétrico a Bateria</i>
VEH	<i>Veículo Elétrico Híbrido</i>
W	<i>Watts</i>
Wh/kg	<i>Watt-hora por quilograma</i>
TCC	<i>Trabalho de Conclusão de Curso</i>

SUMÁRIO

	LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivos	15
1.3	Estrutura do Texto	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Conceitos Fundamentais de Eletricidade	17
2.1.1	Relevância da Potência Elétrica para Veículos Elétricos	18
2.1.2	Corrente Contínua (CC) e Corrente Alternada (CA)	18
2.1.2.1	Corrente Contínua (CC)	19
2.1.2.2	Corrente Alternada (CA)	19
2.1.3	RMS (Root Mean Square)	20
2.2	Veículos Elétricos (VE)	21
2.2.1	História e Tipos de Veículos Elétricos	21
2.2.2	Veículo Elétrico Híbrido (VEH)	23
2.2.3	Veículo Elétrico a Bateria (VEB)	23
2.2.4	Cenário Atual dos Veículos Elétricos	24
2.3	Baterias	25
2.3.1	Tipos de Baterias Utilizadas em Veículos Elétricos	25
2.3.2	Capacidade e Densidade de Energia	26
2.3.3	Ciclo de Vida e Degradação das Baterias	26
2.3.4	Gerenciamento de Baterias (Battery Management System - BMS)	26
2.3.5	Banco de Baterias em Sistemas Fotovoltaicos Off-Grid	27
2.3.5.1	Configuração do Banco de Baterias: Ligação Série e Paralelo	27
2.3.6	Dimensionamento do Banco de Baterias	28
2.3.7	Controladores de Carga	28
2.3.8	Monitoramento e Manutenção do Banco de Baterias	28
2.4	Estação de Carregamento de Veículos Elétricos	29
2.4.1	Tipos de Carregadores	29
2.4.2	Tipos de Conectores e Tomadas	29
2.4.3	Mercado de Carregadores de Veículos Elétricos	30
2.4.3.1	Desafios e Oportunidades	31
2.5	Sistema Fotovoltaico (On Grid e Off Grid)	31
2.5.1	Sistemas Fotovoltaicos On-Grid e Off-Grid	31

2.5.2	Módulos Fotovoltaicos (Parâmetros Elétricos e Curva I-V)	32
2.5.3	Inversor	32
2.5.4	Conexões e Proteções do Sistema	33
2.5.5	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico	33
2.5.6	Aspectos Financeiros (Fluxo de Caixa, Tempo de Retorno)	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	Veículos Elétricos: Consumo e Autonomia	35
3.2	Localização da Estação de Carregamento	36
3.3	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico	38
3.3.1	Funcionamento da Estação de Carregamento	38
3.3.2	Potência Instalada e Energia Gerada	39
3.3.3	Módulos Fotovoltaicos	41
3.3.4	Carregadores	41
3.3.5	Controladores	42
3.3.6	Baterias	42
3.3.7	Inversores	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	Demanda da Estação de Carregamento	44
4.2	Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos	45
4.3	Dimensionamento dos Controladores	46
4.4	Dimensionamento do Banco de Baterias	48
4.5	Dimensionamento do Inversor	49
4.6	Estimativa de Custo de Implementação	49
4.7	Análise Financeira	50
5	CONCLUSÃO	52
5.1	Sugestões de trabalhos Futuros	52
	REFERÊNCIAS	54
A	ANEXOS	55
A.1	Datasheet Carregador Veicular	55
A.2	Datasheet Bateria	56
A.3	Datasheet Módulo Solar	57
A.4	Datasheet Controlador de Carga	58
A.5	Datasheet Inversor Solar	59

1 INTRODUÇÃO

O avanço na eletrificação do transporte urbano segundo (REUTERS, 2024) está promovendo uma transformação significativa no setor automotivo. Com o aumento da adoção de veículos elétricos (VEs), a demanda por uma infraestrutura adequada de carregamento torna-se essencial para garantir a viabilidade dessa nova modalidade de transporte. Dentro deste cenário, os carregadores veiculares desempenham um papel fundamental, uma vez que são responsáveis por fornecer a energia necessária para que os veículos operem de forma eficiente e sustentável.

De acordo com o relatório da Agência Internacional de Energia (AIE), o número de veículos elétricos em circulação globalmente ultrapassou os 10 milhões em 2020, com uma previsão de crescimento exponencial até 2030. No Brasil, a mobilidade elétrica está em fase de expansão, impulsionada por incentivos fiscais e por uma crescente demanda por soluções sustentáveis no setor de transportes. No entanto, a infraestrutura de carregamento ainda é incipiente, especialmente fora dos grandes centros urbanos, evidenciando a necessidade de investimentos e melhorias na rede elétrica nacional.

Os carregadores veiculares podem ser divididos em três categorias principais: carregadores rápidos, que utilizam corrente contínua (CC), capazes de carregar baterias em menos de uma hora; carregadores semirrápidos, que combinam correntes alternada (CA) e contínua; e os carregadores lentos, mais adequados para residências e locais com maior tempo de permanência, que utilizam apenas corrente alternada. Cada tipo de carregador apresenta vantagens e desvantagens, dependendo do uso e da infraestrutura disponível.

A expansão da infraestrutura de carregamento veicular traz novos desafios para o sistema elétrico. Em regiões onde a rede já opera próxima à sua capacidade máxima, o aumento na demanda por energia pode sobrecarregar o sistema, resultando em instabilidade ou na necessidade de investimentos massivos em melhorias. A implementação de redes inteligentes, ou smart grids, pode ser uma solução viável para gerenciar essa demanda, otimizando o uso de energia e evitando picos de consumo. A integração dessas redes com os carregadores é, portanto, um aspecto crucial para garantir a eficiência energética e a sustentabilidade no longo prazo (REUTERS, 2024).

Além dos aspectos tecnológicos e de infraestrutura, a transição para veículos elétricos oferece grandes benefícios ambientais, especialmente em termos de redução de emissões de gases de efeito estufa. A eletrificação do transporte representa uma solução eficaz para mitigar os impactos ambientais do setor automotivo, responsável por uma parcela significativa das emissões globais de carbono.

O problema central deste trabalho é investigar como implementar um sistema de

carregamento eficiente, autônomo e eficaz, utilizando energia solar fotovoltaica para alimentar veículos elétricos. Em um cenário de crescente demanda por soluções de mobilidade sustentável, a necessidade de alternativas de carregamento que sejam independentes da rede elétrica tradicional é cada vez mais relevante, especialmente em contextos urbanos, onde a infraestrutura de carregamento pode enfrentar desafios de espaço e custo.

1.1 Justificativa

A justificativa para este estudo reside na necessidade crescente de soluções eficazes para o carregamento de veículos elétricos, visando não apenas atender à demanda atual, mas também promover uma mobilidade urbana mais sustentável com a utilização de energia solar fotovoltaica. À medida que o Brasil avança na transição para o transporte elétrico, a implementação de tecnologias de carregamento eficientes torna-se crucial para o desenvolvimento econômico e ambiental do país.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é projetar e analisar a viabilidade de implementação de um sistema de carregamento autônomo e eficiente para veículos elétricos, alimentado por energia solar fotovoltaica em um modelo off-grid. A intenção é desenvolver uma solução que permita à frota elétrica da prefeitura de João Pessoa ser abastecida de forma independente da rede elétrica, promovendo economia de energia e reduzindo a dependência de fontes não-renováveis.

Os objetivos específicos são:

- A:** Entender os conceitos fundamentais relacionados ao carregamento de veículos elétricos, eficiência energética e o papel das redes inteligentes na distribuição de energia;
- B:** Explorar as características e funcionalidades dos diferentes equipamentos necessários para a instalação do sistema de carregamento fotovoltaico off-grid, incluindo os módulos fotovoltaicos, inversores, controladores de carga, baterias de armazenamento e infraestrutura de suporte. Serão analisadas suas especificações técnicas, capacidade de integração e adequação para o contexto de carregamento de veículos elétricos, assim como as suas aplicações específicas para garantir um abastecimento eficiente e autônomo da frota;
- D:** Investigar a viabilidade técnica e econômica dos diferentes equipamentos que serão usados, levando em conta fatores como custo, demanda e infraestrutura disponível;
- E:** Sistematizar os resultados e propor melhorias para a infraestrutura de carregamento da frota elétrica da prefeitura de João Pessoa, além de apresentar as conclusões finais por meio da defesa deste TCC.

1.3 Estrutura do Texto

O trabalho está estruturado da seguinte forma: no Capítulo 2, será apresentada a fundamentação teórica, com uma explicação detalhada dos conceitos e características de todos os equipamentos utilizados no sistema de carregamento fotovoltaico off-grid, incluindo módulos fotovoltaicos, inversores, controladores de carga e baterias de armazenamento. O Capítulo 3 abordará a metodologia do estudo, descrevendo os métodos e dados utilizados para a análise de viabilidade técnica e econômica do sistema. No Capítulo 4, serão apresentados os resultados e a discussão, com a análise dos dados obtidos, as conclusões sobre a viabilidade do sistema proposto e as considerações sobre a sua implementação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais para compreender a tecnologia de veículos elétricos (VE), as características e tipos de baterias utilizadas, as especificidades das estações de carregamento e os principais componentes de um sistema fotovoltaico. Esses tópicos fornecem o embasamento teórico necessário para a análise do carregamento de veículos elétricos, incluindo fontes renováveis de energia.

2.1 Conceitos Fundamentais de Eletricidade

Para compreender o funcionamento dos veículos elétricos e dos sistemas de carregamento, é essencial entender alguns conceitos básicos de eletricidade. Nesta seção, são abordadas as definições de tensão, corrente elétrica, resistência, a Lei de Ohm e as diferenças entre corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA).

A tensão elétrica, também chamada de diferença de potencial elétrico (D.D.P.), é a força que impulsiona os elétrons a se movimentarem através de um condutor, como um fio, em um circuito elétrico. A tensão é medida em volts (V) e representa a quantidade de energia potencial elétrica disponível para mover uma carga. Em termos simples, quanto maior a tensão, maior será a força que impulsiona a corrente elétrica.

Tensão Contínua (CC): É um tipo de tensão que mantém seu valor constante ao longo do tempo, usada em baterias, como as de veículos elétricos. Já a tensão alternada (CA), varia com o tempo, mudando de polaridade várias vezes por segundo, como a que sai das tomadas residenciais Gussow (2005).

A corrente elétrica refere-se ao fluxo de elétrons através de um material condutor. É medida em amperes (A) e pode ser entendida como a quantidade de carga elétrica que passa por um ponto do circuito a cada segundo. Existem dois tipos principais de corrente:

Corrente Contínua (CC): O fluxo de elétrons ocorre em uma única direção, do terminal negativo para o terminal positivo. Veículos elétricos utilizam corrente contínua para armazenar energia em suas baterias. Corrente Alternada (CA): A direção do fluxo de elétrons inverte-se periodicamente. A rede elétrica que abastece residências e estações de carregamento geralmente usa corrente alternada: Gussow (2005).

A resistência elétrica é a oposição ao fluxo de corrente em um material. Ela depende das propriedades do material e das dimensões do condutor, sendo medida em *ohms* (Ω). A resistência afeta diretamente o fluxo de corrente em um circuito; materiais de alta resistência reduzem a corrente, enquanto materiais de baixa resistência permitem um fluxo mais intenso.

A potência elétrica é a quantidade de energia elétrica consumida ou gerada por um dispositivo em um determinado período de tempo. Ela é medida em *watts* (W) e representa a taxa de transferência de energia elétrica em um circuito. A potência elétrica pode ser determinada usando diferentes combinações de tensão, corrente e resistência. A seguir, são apresentadas três equações para encontrar a potência em função dessas variáveis: Gussow (2005):

$$P = V \cdot I \quad (2.1)$$

onde: - P é a potência (em watts), - V é a tensão (em volts), - I é a corrente (em ampères). Potência em função da corrente e da resistência:

$$P = I^2 \cdot R \quad (2.2)$$

Esta equação é útil quando se conhece a corrente (I) e a resistência (R) do circuito. Ela indica que a potência é proporcional ao quadrado da corrente multiplicada pela resistência. Potência em função da tensão e da resistência:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2.3)$$

Essa equação é aplicável quando se conhece a tensão (V) e a resistência (R) no circuito. Ela mostra que a potência é proporcional ao quadrado da tensão dividido pela resistência. Essas fórmulas são derivadas da Lei de Ohm, que estabelece as seguintes relações básicas:

$$V = I \cdot R \quad (2.4)$$

A partir dessa relação, as variáveis são manipuladas para obter diferentes expressões para a potência, dependendo das grandezas disponíveis no circuito. Essas equações são fundamentais para calcular a potência dissipada em componentes elétricos e para dimensionar a capacidade de um sistema de carregamento de veículos elétricos.

2.1.1 Relevância da Potência Elétrica para Veículos Elétricos

A potência elétrica é um parâmetro essencial no carregamento de veículos elétricos. A quantidade de potência disponível no carregador determina a velocidade com que a bateria do veículo é carregada. Os carregadores de alta potência (como os de corrente contínua) são capazes de carregar baterias muito mais rapidamente do que carregadores de baixa potência, tornando-os ideais para estações de carregamento rápido.

2.1.2 Corrente Contínua (CC) e Corrente Alternada (CA)

A compreensão das diferenças entre corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA) é fundamental para o estudo de carregadores elétricos veiculares, já que os sistemas de recarga podem operar em ambas as formas de corrente.

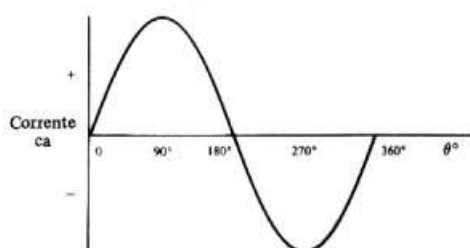
2.1.2.1 Corrente Contínua (CC)

Na corrente contínua (CC), o fluxo de cargas elétricas ocorre em uma única direção, do ponto de maior potencial para o ponto de menor potencial. A CC é comumente encontrada em baterias e em dispositivos eletrônicos. Nos veículos elétricos, por exemplo, a bateria armazena energia em corrente contínua. Em sistemas de carregamento CC, a eletricidade flui em uma direção constante. Esse tipo de corrente é preferido para carregamentos rápidos (*fast charging*), onde a energia é diretamente transferida para a bateria do veículo, que também opera em corrente contínua. O carregador converte a corrente alternada da rede elétrica em corrente contínua, o que torna o processo mais eficiente para armazenar energia rapidamente.

2.1.2.2 Corrente Alternada (CA)

A corrente alternada (CA) muda de direção periodicamente, oscilando entre positivo e negativo em uma frequência constante como mostra a Figura 1. A frequência da CA varia dependendo da região; no Brasil, por exemplo, a frequência padrão é de 60 Hz. A CA é utilizada em redes de distribuição de energia elétrica devido à sua eficiência para transmissão a longas distâncias. Para carregar veículos elétricos, a corrente alternada geralmente precisa ser convertida em corrente contínua por meio de um carregador ou inversor. Quando um veículo elétrico é carregado em CA, o próprio veículo contém um retificador que converte a corrente alternada em contínua para armazenar nas baterias. No entanto, esse processo pode ser mais lento, dependendo da capacidade de conversão do carregador interno do veículo.

Figura 1 – Um ciclo de corrente alternada



Fonte: Gussow (2005)

Essa base teórica de conceitos elétricos é crucial para entender o funcionamento dos sistemas de carregamento e das baterias. Esses princípios formam o alicerce para o restante da fundamentação teórica do trabalho, especialmente para os tópicos relacionados ao carregamento de veículos elétricos com energia solar.

2.1.3 RMS (Root Mean Square)

O valor RMS (Root Mean Square) ou valor eficaz é uma medida utilizada para descrever a intensidade média da corrente ou da tensão em um circuito de corrente alternada (CA). Como a CA oscila entre valores positivos e negativos, o valor RMS permite calcular uma média eficaz que equivale à quantidade de energia que a CA poderia fornecer em comparação com uma corrente contínua (CC) equivalente.

Em termos práticos, o valor RMS de uma corrente alternada é o valor da corrente contínua que geraria a mesma quantidade de calor em um resistor. Esse conceito é fundamental para dimensionar sistemas elétricos e entender a potência real disponível em circuitos de CA.

O valor RMS de uma corrente ou tensão alternada é calculado usando a raiz quadrada da média dos quadrados dos valores instantâneos ao longo de um ciclo. Matematicamente, o valor RMS para uma forma de onda senoidal é dado por: NAKASHIMA (2020).

$$V_{\text{RMS}} = \frac{V_{\text{pico}}}{\sqrt{2}} \quad (2.5)$$

onde: - V_{RMS} é o valor eficaz (ou RMS) da tensão, - V_{pico} é o valor de pico da tensão CA, - $\sqrt{2} \approx 1.414$.

Essa relação indica que o valor RMS é aproximadamente 0,707 vezes o valor de pico da tensão ou corrente em uma onda senoidal.

Quando calculamos a potência em circuitos de corrente alternada, usamos o valor RMS para obter uma medida realista da potência dissipada. A potência média em um resistor para um circuito de CA é dada por:

$$P = V_{\text{RMS}} \cdot I_{\text{RMS}} \quad (2.6)$$

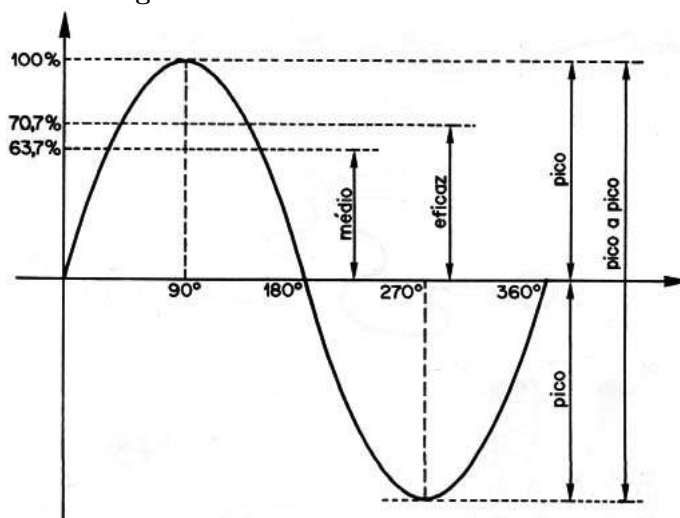
onde: - P é a potência média, - V_{RMS} é o valor eficaz da tensão, - I_{RMS} é o valor eficaz da corrente.

Em sistemas de carregamento de veículos elétricos, a rede elétrica fornece corrente alternada (CA) com valores RMS padrão (geralmente 220V RMS no Brasil). Essa tensão CA precisa ser convertida para corrente contínua (CC) para carregar a bateria do veículo. O valor RMS da tensão da rede é crucial para dimensionar os componentes do carregador e garantir a segurança e eficiência do processo de conversão e carregamento.

O valor RMS é, portanto, uma maneira de quantificar a energia real que uma corrente alternada pode fornecer como mostra a Figura 2, facilitando a comparação com

sistemas de corrente contínua. É um conceito indispensável para entender tanto o funcionamento dos sistemas de carregamento como a distribuição de energia elétrica na rede.

Figura 2 – Tensão de Pico Eficaz e RMS



Fonte: Braga (2016)

2.2 Veículos Elétricos (VE)

Os veículos elétricos (VE) são automóveis que utilizam um motor elétrico, em vez de um motor a combustão interna, para se mover. Em vez de combustíveis fósseis, como gasolina ou diesel, os veículos elétricos são alimentados por baterias recarregáveis, que armazenam a energia elétrica necessária para acionar o motor.

O desenvolvimento dos veículos elétricos segundo (AL-ARAB; BANSAL; ABO-KHALILL, 2024) tem ganhado força nos últimos anos devido à crescente preocupação com as emissões de gases de efeito estufa e ao avanço tecnológico, que vem reduzindo os custos das baterias e aumentando a autonomia desses veículos.

Os veículos elétricos (VEs) representam uma alternativa sustentável aos veículos movidos a combustíveis fósseis, proporcionando uma solução para a redução de emissões de gases de efeito estufa e a dependência de combustíveis não-renováveis. A seguir, são abordados os principais conceitos, a evolução histórica e as diferentes tecnologias de veículos elétricos, com foco em veículos elétricos híbridos e veículos elétricos a bateria.

2.2.1 História e Tipos de Veículos Elétricos

Início do Desenvolvimento (Séculos XIX e XX) Os primeiros veículos elétricos surgiram muito antes do que se imagina, ainda no início do século XIX. Entre 1828 e 1835, diversos inventores na Europa e nos Estados Unidos começaram a experimentar motores elétricos rudimentares para impulsionar pequenos veículos (MATULKA, 2024).

1832: O inventor escocês Robert Anderson criou um veículo elétrico movido a baterias não recarregáveis, considerado um dos primeiros protótipos de automóvel elétrico.

1879: Werner von Siemens apresentou o primeiro trem elétrico em Berlim, marcando o avanço dos motores elétricos para aplicações de transporte público.

1890: William Morrison, nos Estados Unidos, criou o primeiro veículo elétrico prático, que poderia acomodar até seis passageiros. No final do século XIX, cerca de um terço de todos os veículos na estrada nos EUA eram elétricos.

Era de Ouro e Declínio (1900–1930): Na virada do século XX, os veículos elétricos desfrutaram de um período de popularidade devido à sua facilidade de operação, em comparação com os veículos a combustão, que eram difíceis de dirigir e exigiam trocas manuais de marchas.

1900–1910: Na cidade de Nova York, os táxis elétricos eram populares. Em 1912, havia mais veículos elétricos em Nova York do que veículos a gasolina.

Década de 1910: Com a invenção do motor de partida elétrico para motores a combustão por Charles Kettering, o desconforto das manivelas foi eliminado, o que facilitou o uso de carros movidos a gasolina. Além disso, a produção em massa do Ford Model T, mais acessível e com maior autonomia, tornou o veículo a gasolina mais atrativo. A falta de infraestrutura de recarga elétrica e a descoberta de grandes reservas de petróleo selaram o declínio dos veículos elétricos até o final dos anos 1920.

Ressurgimento (Anos 1970 e 1980): Com a crise do petróleo na década de 1970, houve um breve interesse renovado nos veículos elétricos, especialmente para reduzir a dependência de combustíveis fósseis. No entanto, a tecnologia de baterias da época ainda era limitada, o que impediu a ampla adoção desses veículos.

Evolução Moderna e Crescimento (Décadas de 1990 em diante): A partir dos anos 1990, preocupações ambientais e avanços na tecnologia de baterias despertaram novamente o interesse nos veículos elétricos.

1996: A General Motors lançou o EV1, o primeiro veículo elétrico moderno produzido em massa, mas seu projeto foi encerrado devido ao alto custo de produção e baixa demanda.

2000: Surgiram iniciativas governamentais e novas empresas, como a Tesla Motors, que começaram a focar no desenvolvimento de veículos elétricos de alta autonomia e com baterias de íons de lítio. Em 2008, a Tesla lançou o Roadster, um veículo totalmente elétrico com autonomia superior a 300 km, que revolucionou o mercado e despertou o interesse mundial.

Anos 2010 em diante: A popularidade dos veículos elétricos cresceu significativamente com o avanço das baterias de íons de lítio e o aumento da infraestrutura de recarga.

Empresas tradicionais, como Nissan, Chevrolet, Volkswagen, e startups como a própria Tesla, consolidaram os veículos elétricos no mercado. Hoje, eles são considerados parte fundamental das políticas de redução de emissões de carbono em todo o mundo.

Os veículos elétricos atuais podem ser classificados em diferentes tipos com base na fonte de energia e no nível de eletrificação. Sendo eles classificados como veículo elétrico híbrido (VEH) ou veículo elétrico a bateria (VEB)

2.2.2 Veículo Elétrico Híbrido (VEH)

O Veículo Elétrico Híbrido (VEH) é uma solução intermediária entre o veículo movido exclusivamente por um motor de combustão interna e o veículo elétrico puro. Ele combina um motor elétrico e um motor a combustão, alternando entre eles ou utilizando ambos em conjunto para melhorar a eficiência energética conforme citado em (AL-ARAB; BANSAL; ABO-KHALILL, 2024) . Existem diferentes tipos de veículos híbridos, classificados de acordo com o nível de integração entre os sistemas de propulsão:

- Híbrido Leve: utiliza o motor elétrico para dar suporte ao motor a combustão em certas situações, mas não pode operar somente no modo elétrico.

- Híbrido Completo: pode funcionar somente com o motor elétrico em baixas velocidades, utilizando o motor a combustão em velocidades mais altas ou quando é necessário mais potência.

- Híbrido Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV): é equipado com uma bateria de maior capacidade que pode ser recarregada na tomada. Permite uma maior autonomia em modo elétrico, geralmente o suficiente para deslocamentos diários em áreas urbanas.

Os veículos híbridos oferecem uma redução no consumo de combustível e nas emissões de gases poluentes, mas ainda dependem de combustíveis fósseis. No entanto, representam uma transição importante para um transporte mais sustentável.

2.2.3 Veículo Elétrico a Bateria (VEB)

O Veículo Elétrico a Bateria (VEB) é movido exclusivamente por eletricidade armazenada em baterias recarregáveis. Esse tipo de veículo não possui um motor a combustão interna e, por isso, é considerado uma alternativa totalmente limpa, pois não emite gases poluentes durante o funcionamento. A tecnologia dos VEBs avançou consideravelmente nos últimos anos, com melhorias nas baterias de íons de lítio, que proporcionam maior autonomia e menor tempo de recarga.

As principais características dos VEBs incluem:

- Autonomia: a distância que o veículo pode percorrer com uma carga completa da bateria. A autonomia depende da capacidade da bateria e da eficiência do sistema de

propulsão.

- Tempo de Recarga: o tempo necessário para recarregar completamente a bateria, que varia de acordo com o tipo de carregador (doméstico, rápido ou ultrarrápido).

- Emissões Zero: como não possui motor a combustão, o VEB não emite gases de escape, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar, especialmente em áreas urbanas.

Os VEBs representam o futuro da mobilidade sustentável, embora ainda enfrentem desafios como a infraestrutura de carregamento e o custo das baterias, que impactam o preço final do veículo (AL-ARAB; BANSAL; ABO-KHALILL, 2024).

2.2.4 Cenário Atual dos Veículos Elétricos

O mercado de veículos elétricos tem crescido rapidamente, impulsionado pela busca por tecnologias mais sustentáveis e pelo avanço das regulamentações ambientais em várias partes do mundo. Países como Noruega, China e Alemanha têm adotado políticas de incentivo fiscal e regulamentações que favorecem a adoção de veículos elétricos. No Brasil, embora o mercado de veículos elétricos ainda esteja em fase inicial, a tendência é de crescimento, impulsionada por incentivos governamentais e pela crescente preocupação com o impacto ambiental.

As fabricantes de automóveis estão investindo pesadamente no desenvolvimento de novas tecnologias de bateria e em melhorias na infraestrutura de carregamento. Além disso, a crescente preocupação com as mudanças climáticas tem levado à busca por alternativas de energia renovável para o carregamento de VEs, como sistemas de energia solar.

No final de julho de 2022, o Brasil superou a marca de 100 mil veículos elétricos e híbridos em circulação. Esse número representa um recorde desde o início do acompanhamento realizado pela Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), que começou em 2012. Somente nos primeiros sete meses de 2022, foram registrados 23.033 emplacamentos de veículos elétricos no país, um aumento de 31% em comparação ao mesmo período de 2021, quando o total foi de 17.524 unidades. Apesar dos números, essa contagem inclui tanto veículos totalmente elétricos quanto híbridos, com os híbridos sendo atualmente os mais comuns no mercado brasileiro.

A pesquisa considera diferentes tipos de veículos, como comerciais leves, SUVs e utilitários. Atualmente, a participação de carros elétricos e híbridos no mercado brasileiro é de aproximadamente 2,4%. Quando analisamos apenas os veículos totalmente elétricos, esse número cai para 0,4% (equivalente a 3.395 unidades).

Comparado a grandes mercados globais, o Brasil ainda está atrás. Na China, por exemplo, a participação de mercado dos veículos elétricos chega a 20%, enquanto nos Estados Unidos é de 10%.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2024), o grande crescimento da frota de veículos elétricos no mundo resultará em uma significativa mudança no setor de energia nos próximos 10 anos, com uma queda considerável na demanda mundial por petróleo para transportes. O levantamento projeta que 17 milhões de carros elétricos serão vendidos até o final de 2024, um crescimento de 21% na comparação com 2023.

2.3 Baterias

As baterias são componentes essenciais dos veículos elétricos, responsáveis pelo armazenamento de energia que alimenta o motor elétrico e todos os sistemas auxiliares do veículo. A capacidade, a eficiência e a durabilidade das baterias influenciam diretamente na autonomia, no tempo de recarga e no custo final dos veículos elétricos (MOURA, 2023).

2.3.1 Tipos de Baterias Utilizadas em Veículos Elétricos

Diferentes tecnologias de bateria têm sido desenvolvidas e aprimoradas para atender às necessidades específicas dos veículos elétricos. As principais tecnologias são:

1. Baterias de Íons de Lítio (Li-Ion): A bateria de íons de lítio é a tecnologia mais amplamente utilizada nos veículos elétricos modernos. Ela oferece alta densidade de energia e um ciclo de vida mais longo em comparação com outras tecnologias. Essas baterias são relativamente leves, o que contribui para a eficiência energética do veículo, e possuem um bom desempenho em termos de tempo de recarga. No entanto, são sensíveis a altas temperaturas e exigem sistemas de gestão de temperatura para evitar superaquecimento.

2. Baterias de Polímero de Lítio (Li-Po): As baterias de polímero de lítio são uma variação das baterias de íons de lítio, porém com uma estrutura mais flexível e leve. Elas oferecem uma densidade de energia semelhante às Li-Ion, mas são mais sensíveis a danos físicos e são mais caras de produzir. Essa tecnologia ainda é menos comum em veículos elétricos de produção em massa.

3. Baterias de Níquel-Hidreto Metálico (NiMH): Antes da popularização das baterias de lítio, as baterias de níquel-hidreto metálico eram amplamente utilizadas, principalmente em veículos híbridos. Elas têm uma vida útil razoável e são mais seguras em condições adversas, mas possuem menor densidade de energia e são mais pesadas, o que as torna menos eficientes para veículos elétricos a bateria. Atualmente, seu uso é limitado a alguns modelos de veículos híbridos.

4. Baterias de Chumbo-Ácido: As baterias de chumbo-ácido são uma tecnologia mais antiga e menos eficiente em comparação com as alternativas mais modernas. São volumosas, pesadas e possuem uma baixa densidade de energia, o que limita sua aplicação em veículos elétricos modernos. No entanto, devido ao seu baixo custo, podem ser encon-

tradas em veículos elétricos de menor porte ou veículos industriais, como empilhadeiras e carrinhos de golfe.

2.3.2 Capacidade e Densidade de Energia

A capacidade de uma bateria é medida em ampère-hora (Ah) e indica a quantidade de carga elétrica que ela pode armazenar. A densidade de energia, por sua vez, é a quantidade de energia armazenada por unidade de massa ou volume e é medida em watt-hora por quilograma (Wh/kg). Baterias com maior densidade de energia permitem maior autonomia para o veículo, mas também tendem a ser mais caras e complexas de produzir.

A densidade de energia e a capacidade são parâmetros fundamentais para os veículos elétricos, pois determinam a autonomia, o peso total do veículo e o custo de produção. A evolução contínua na manipulação dos componentes das baterias visa aumentar a densidade de energia sem comprometer a segurança, a durabilidade e o custo.

2.3.3 Ciclo de Vida e Degradação das Baterias

As baterias dos veículos elétricos passam por ciclos de carga e descarga, que afetam sua capacidade ao longo do tempo. O ciclo de vida de uma bateria é o número de ciclos completos (uma carga e uma descarga) que ela pode suportar antes que sua capacidade diminua significativamente. Baterias de íons de lítio, por exemplo, podem durar entre 1.000 e 2.000 ciclos de carga e descarga, dependendo das condições de uso e da qualidade do gerenciamento de energia.

A degradação da bateria ocorre devido a fatores como: - Temperatura: o calor excessivo acelera a degradação dos componentes químicos. - Profundidade de Descarga (DoD - Depth of Discharge): quanto maior a profundidade de descarga regularmente usada, maior a degradação da bateria. - Número de Ciclos de Carga/Descarga: baterias possuem um número limitado de ciclos, e cada ciclo reduz um pouco da capacidade total.

2.3.4 Gerenciamento de Baterias (Battery Management System - BMS)

Para maximizar a eficiência e a vida útil das baterias, os veículos elétricos são equipados com sistemas de gerenciamento de baterias (BMS). O BMS monitora e controla variáveis como temperatura, tensão e corrente para garantir que a bateria opere dentro de parâmetros seguros. Suas principais funções incluem:

- Monitoramento da Temperatura: evita superaquecimento que pode danificar a bateria.

- Equilíbrio de Carga entre as Células: garante que todas as células da bateria estejam carregadas e descarregadas de forma equilibrada.

- Proteção contra Sobrecarga e Sobredescarga: impede que a bateria seja submetida a níveis de tensão prejudiciais, prolongando seu ciclo de vida.

O BMS é crucial para evitar falhas e degradação prematura da bateria, especialmente em veículos elétricos que utilizam baterias de alta capacidade e em aplicações com ciclos de carga e descarga intensos.

2.3.5 Banco de Baterias em Sistemas Fotovoltaicos Off-Grid

Nos sistemas fotovoltaicos *Off-Grid*, onde não há conexão com a rede elétrica, o banco de baterias é essencial para armazenar a energia gerada durante o dia e fornecê-la quando necessário, como à noite ou em períodos nublados. Esse sistema permite que veículos elétricos sejam carregados mesmo em locais remotos ou sem infraestrutura elétrica convencional, utilizando energia limpa e renovável.

2.3.5.1 Configuração do Banco de Baterias: Ligação Série e Paralelo

Para otimizar a capacidade e a tensão do banco de baterias, é comum utilizar combinações de conexões em série e paralelo, ajustando o sistema às necessidades específicas do sistema fotovoltaico e do carregador veicular. Abaixo estão as configurações mais comuns:

1. Ligação em Série: Na ligação em série, as baterias são conectadas em sequência (positivo com negativo) para somar suas tensões. A capacidade total em ampère-hora (Ah) permanece a mesma de uma bateria individual, mas a tensão aumenta. Por exemplo, quatro baterias de 12V e 100Ah ligadas em série resultam em um banco de baterias de 48V e 100Ah.

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Capacidade Total = Capacidade de uma bateria individual

Essa configuração é utilizada quando o sistema requer uma tensão mais alta, como em inversores de 48V, que são comuns em sistemas fotovoltaicos *Off-Grid*.

2. Ligação em Paralelo: Na ligação em paralelo, os polos positivos das baterias são conectados entre si, assim como os polos negativos. Nesse caso, a capacidade total em Ah aumenta, enquanto a tensão permanece a mesma. Usando o exemplo anterior, quatro baterias de 12V e 100Ah conectadas em paralelo resultam em um banco de 12V e 400Ah.

$$V_{\text{total}} = V \text{ de uma bateria individual}$$

$$\text{Capacidade Total} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

Essa configuração é adequada quando se deseja prolongar a autonomia sem modificar a tensão do sistema.

3. Ligação Série-Paralelo: Em alguns casos, é necessário combinar as duas configurações para ajustar tanto a tensão quanto a capacidade do banco de baterias. Por exemplo, para obter um banco de 48V com capacidade aumentada, podem ser utilizadas quatro baterias de 12V conectadas em série (totalizando 48V) e depois adicionar outros conjuntos de 48V em paralelo. Assim, é possível alcançar tanto a tensão desejada quanto a capacidade necessária para aumentar a autonomia e garantir um fornecimento contínuo de energia.

2.3.6 Dimensionamento do Banco de Baterias

O dimensionamento adequado do banco de baterias é essencial para garantir que ele armazene energia suficiente para as necessidades diárias e forneça energia durante períodos de baixa produção solar. Os principais fatores a considerar são:

- Autonomia Requerida: o tempo que o sistema deve funcionar sem geração solar. Em locais com alta incidência de dias nublados, o banco de baterias precisa ser maior.

- Profundidade de Descarga (DoD): é recomendável não esgotar completamente as baterias para prolongar sua vida útil. Por exemplo, se a profundidade de descarga recomendada for de 50%, o banco de baterias deve ter o dobro da capacidade necessária para o consumo diário.

- Capacidade Nominal das Baterias: calculada com base no consumo estimado do sistema e na eficiência do inversor e do controlador de carga.

2.3.7 Controladores de Carga

O banco de baterias em sistemas fotovoltaicos off-grid deve ser acompanhado por um controlador de carga, que regula o fluxo de energia para evitar sobrecarga e sobrecarga. Os controladores de carga mais comuns são:

- Controladores PWM (Pulse Width Modulation): mais econômicos, mas com eficiência de carga inferior. São adequados para sistemas menores.

- Controladores MPPT (Maximum Power Point Tracking): ajustam automaticamente a tensão para maximizar a captação de energia, resultando em uma eficiência de carga mais alta, especialmente em condições de baixa irradiação solar.

2.3.8 Monitoramento e Manutenção do Banco de Baterias

A manutenção e o monitoramento regulares do banco de baterias são essenciais para garantir o desempenho e a vida útil do sistema. É recomendável monitorar a tensão

e a corrente de cada célula, além de manter o sistema em uma faixa de temperatura adequada. Sistemas de monitoramento avançados, integrados ao controlador de carga, podem fornecer informações sobre o estado da carga, a eficiência e a condição de cada célula, ajudando a detectar e prevenir problemas precocemente.

2.4 Estação de Carregamento de Veículos Elétricos

A estação de carregamento é uma infraestrutura essencial para a popularização dos veículos elétricos, permitindo que as baterias desses veículos sejam recarregadas com eficiência e segurança. Os carregadores de veículos elétricos variam em tipos, potência, conectores e métodos de conexão, sendo projetados para diferentes aplicações, como carregamento residencial, comercial e público.

2.4.1 Tipos de Carregadores

Os carregadores de veículos elétricos são classificados em três categorias principais, dependendo da velocidade de carregamento e da aplicação conforme mencionado em Amancio (2024):

1. Carregadores de Nível 1: Os carregadores de nível 1 operam com corrente alternada (CA) em tensões padrão de 110V ou 220V, fornecendo uma carga de baixa potência. Esse tipo de carregador é geralmente utilizado em residências e é conectado diretamente a uma tomada padrão. Embora seja a opção mais acessível, o carregamento em nível 1 é lento, levando várias horas para carregar completamente a bateria do veículo.

2. Carregadores de Nível 2: Os carregadores de nível 2 também operam em corrente alternada (CA), mas utilizam tensões mais altas, geralmente entre 220V e 240V, e oferecem uma potência significativamente maior do que os carregadores de nível 1. Esse tipo de carregador é comumente encontrado em estações de carregamento públicas e em instalações comerciais. A maioria dos carregadores de nível 2 permite um carregamento mais rápido, reduzindo o tempo necessário para uma carga completa para algumas horas.

3. Carregadores de Nível 3 (ou Carregamento Rápido em Corrente Contínua - CC Fast Charging): Esse tipo de carregador opera com corrente contínua (CC) e é capaz de fornecer alta potência, permitindo o carregamento rápido de veículos elétricos. Carregadores de nível 3 são comumente encontrados em estações públicas e são projetados para aplicações comerciais, onde o tempo de recarga deve ser mínimo. Esse tipo de carregador é mais caro e demanda infraestrutura específica para suporte à alta potência.

2.4.2 Tipos de Conectores e Tomadas

Para garantir a interoperabilidade entre diferentes veículos e estações de carregamento, foram padronizados diversos tipos de conectores e tomadas, de acordo com a

região e o tipo de carregador:

1. Conector Tipo 1 (SAE J1772): Padrão utilizado principalmente nos Estados Unidos e no Japão para carregadores de níveis 1 e 2 em corrente alternada. Ele possui cinco pinos e permite uma potência de carregamento moderada.

2. Conector Tipo 2 (Mennekes): Comumente utilizado na Europa, esse conector é padrão para carregadores de corrente alternada de nível 2 e permite o uso de carregamento em corrente contínua. Ele possui sete pinos, suportando tanto corrente alternada quanto corrente contínua e oferecendo maior flexibilidade de potência.

3. Conector Combo (CCS - Combined Charging System): O sistema CCS é uma versão aprimorada do Tipo 2, que inclui dois pinos adicionais para carregamento rápido em corrente contínua. Ele é amplamente utilizado em veículos elétricos europeus e norte-americanos e permite o carregamento tanto em corrente alternada quanto em corrente contínua, facilitando a adoção de estações de carregamento rápido.

4. CHAdeMO: O CHAdeMO é um conector padrão desenvolvido no Japão para carregamento rápido em corrente contínua. Ele permite que os veículos sejam carregados em alta velocidade e é compatível com muitos modelos japoneses, sendo comum em estações de carregamento rápido no Japão e em alguns países da Europa.

5. Tomada GB/T: Padrão chinês para carregamento rápido em corrente contínua, comumente utilizado em veículos elétricos fabricados na China. Esse tipo de tomada é exclusivo para o mercado chinês, mas é importante mencioná-lo devido à expansão do mercado de veículos elétricos no país.

2.4.3 Mercado de Carregadores de Veículos Elétricos

O mercado de carregadores de veículos elétricos está em expansão globalmente, impulsionado pela crescente demanda por veículos elétricos e pelas políticas ambientais que incentivam a redução de emissões de carbono. Com o aumento da quantidade de veículos elétricos, há uma necessidade crescente de infraestrutura de carregamento, tanto em áreas urbanas quanto em rodovias e regiões mais remotas.

1. Infraestrutura Residencial: A instalação de carregadores residenciais é uma prática comum para proprietários de veículos elétricos, permitindo o carregamento noturno. A maioria dos carregadores residenciais é de nível 1 ou 2, já que esses veículos permanecem estacionados por longos períodos, facilitando o carregamento lento.

2. Estações Públicas e Comerciais: Em áreas urbanas, as estações de carregamento público e comercial são fundamentais para atender motoristas que não têm acesso a carregadores residenciais. Supermercados, shopping centers e estacionamentos estão começando a instalar estações de carregamento para atrair motoristas de veículos elétricos.

3. Carregamento em Rodovias (Corredores de Alta Velocidade): Estações de carregamento rápido estão sendo instaladas em rodovias e corredores de transporte para permitir viagens de longa distância com veículos elétricos. O objetivo é reduzir o tempo de espera dos motoristas e incentivar o uso de veículos elétricos para viagens intermunicipais e interestaduais.

4. Iniciativas Governamentais e Incentivos: Muitos países estão promovendo políticas de incentivo para a instalação de carregadores de veículos elétricos. Essas políticas incluem subsídios, incentivos fiscais e programas de financiamento para apoiar tanto a infraestrutura pública quanto privada. No Brasil, o setor de carregadores ainda está em crescimento, mas já existem algumas iniciativas para expandir a rede de carregamento em áreas urbanas e corredores de transporte.

2.4.3.1 Desafios e Oportunidades

O mercado de carregadores de veículos elétricos enfrenta alguns desafios, como os altos custos de instalação, a necessidade de padronização dos conectores e a infraestrutura elétrica necessária para suportar o carregamento rápido. No entanto, existem grandes oportunidades de crescimento, impulsionadas pela inovação tecnológica, pela adoção de fontes renováveis de energia para abastecimento e pelo aumento da demanda por veículos elétricos em diversos segmentos da sociedade.

2.5 Sistema Fotovoltaico (On Grid e Off Grid)

Os sistemas fotovoltaicos transformam a energia solar em energia elétrica, sendo uma alternativa sustentável e renovável para abastecimento energético. Esses sistemas podem ser classificados como conectados à rede *On-Grid* ou autônomos *Off-Grid*, dependendo de sua configuração e uso. Em aplicações de carregamento de veículos elétricos, o sistema fotovoltaico pode fornecer energia direta ou armazená-la em baterias para uso posterior.

2.5.1 Sistemas Fotovoltaicos On-Grid e Off-Grid

1. Sistema On-Grid: Um sistema *On-Grid* é conectado à rede elétrica convencional e é projetado para fornecer eletricidade a partir da energia solar enquanto compartilha energia com a rede. Durante o dia, a energia gerada pelo sistema fotovoltaico é usada para reduzir o consumo da rede, e o excedente pode ser injetado na rede elétrica, gerando créditos para uso futuro. Esse tipo de sistema não armazena energia em baterias, sendo ideal para locais com acesso contínuo à rede elétrica conforme cita: Alves (2019).

2. Sistema Off-Grid: Os sistemas *Off-Grid* são autônomos e independentes da rede elétrica. Neles, a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos é armazenada em um banco

de baterias, o que permite o fornecimento de eletricidade mesmo em períodos de baixa irradiação solar. Esse tipo de sistema é particularmente útil em áreas remotas ou sem acesso à rede elétrica, onde a autossuficiência energética é necessária.

Assim como no sistema On-Grid, o sistema Off-Grid utiliza inversores eletrônicos, então logo após a captação de energia, você consegue consumi-la.

É importante lembrar que o banco de baterias estacionárias contam com um controlador de carga para proteger o equipamento, evitando queima-lo ou produzir curto-circuito.

2.5.2 Módulos Fotovoltaicos (Parâmetros Elétricos e Curva I-V)

Os módulos fotovoltaicos, também conhecidos como painéis solares, são responsáveis pela conversão da luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Cada módulo é composto por células fotovoltaicas, que geram uma pequena quantidade de corrente elétrica quando expostas à luz solar. As principais características dos módulos fotovoltaicos incluem:

- Tensão e Corrente de Saída: A tensão e corrente geradas por um módulo dependem das características do material fotovoltaico, da intensidade da luz e da temperatura ambiente.

- Curva I-V (Corrente-Tensão): A curva I-V representa a relação entre corrente e tensão de um módulo fotovoltaico em diferentes condições de iluminação. Essa curva é fundamental para identificar o ponto de máxima potência (MPP - Maximum Power Point), que é o ponto onde o módulo opera com eficiência máxima.

2.5.3 Inversor

O inversor é um componente essencial dos sistemas fotovoltaicos, especialmente nos sistemas on-grid, pois converte a corrente contínua (CC) gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA), compatível com a rede elétrica. Os inversores modernos também possuem tecnologia MPPT (Maximum Power Point Tracking), que ajusta continuamente o ponto de operação dos módulos para maximizar a geração de energia.

1. Inversores On-Grid: Estes inversores são projetados para sincronizar com a rede elétrica e injetar o excedente de energia nela. Eles geralmente possuem mecanismos de segurança para desconectar o sistema em caso de falhas na rede.

2. Inversores Off-Grid: Estes inversores operam de forma independente e podem ser conectados ao banco de baterias. Eles gerenciam a carga e a descarga das baterias, permitindo o fornecimento contínuo de energia em locais sem acesso à rede elétrica.

2.5.4 Conexões e Proteções do Sistema

As conexões e proteções em sistemas fotovoltaicos são fundamentais para garantir a segurança e a eficiência do sistema, como por exemplo:

1. Conexões em Série e Paralelo: Os módulos fotovoltaicos podem ser conectados em série para aumentar a tensão ou em paralelo para aumentar a corrente total. A configuração adequada depende dos requisitos de tensão e corrente do inversor e do sistema de armazenamento.

2. Dispositivos de Proteção: Fusíveis, disjuntores e sistemas de aterramento são utilizados para proteger o sistema contra sobrecargas, curtos-circuitos e sobretensões, minimizando os riscos de acidentes e danos ao equipamento.

2.5.5 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico envolve a análise da quantidade de energia necessária para atender à demanda de consumo e das características climáticas do local. Para sistemas de carregamento de veículos elétricos, o dimensionamento deve considerar a capacidade de geração dos módulos, o banco de baterias (em sistemas off-grid), e o inversor, para garantir que o sistema atenda às necessidades de carga do veículo.

1. Cálculo da Potência do Sistema: A potência do sistema fotovoltaico é determinada pela quantidade de energia necessária e pelo tempo de operação desejado. Para sistemas off-grid, é essencial que o sistema tenha capacidade de gerar e armazenar energia suficiente para períodos de baixa insolação.

2. Capacidade do Banco de Baterias: Nos sistemas off-grid, o banco de baterias precisa ser dimensionado para suportar o consumo durante períodos sem geração solar, levando em consideração a profundidade de descarga recomendada para prolongar a vida útil das baterias.

3. Fatores Ambientais: A localização geográfica, a inclinação dos módulos e a quantidade de irradiação solar são fatores críticos para o dimensionamento do sistema. Sistemas em locais com baixa irradiação requerem uma área maior de módulos para gerar a mesma quantidade de energia.

2.5.6 Aspectos Financeiros (Fluxo de Caixa, Tempo de Retorno)

A viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico pode ser analisada por meio de indicadores financeiros que avaliam o retorno sobre o investimento. Esses indicadores ajudam a determinar se o sistema é financeiramente sustentável no longo prazo.

1. Fluxo de Caixa: O fluxo de caixa calcula os custos e economias associados ao sistema fotovoltaico, considerando a redução da conta de energia e eventuais receitas de

créditos energéticos (em sistemas on-grid).

2. Tempo de Retorno (Payback): O tempo de retorno é o período necessário para que a economia gerada pelo sistema compense o custo de instalação. Em sistemas fotovoltaicos, o tempo de retorno varia conforme o tamanho do sistema, a localização e as políticas de incentivo.

3 Metodologia

Este capítulo apresenta a metodologia para a implementação de uma Estação de Carregamento de Veículos Elétricos, alimentada por uma planta fotovoltaica off-grid, que será instalada no Centro Administrativo Municipal (CAM) de João Pessoa, Paraíba. Esse sistema será dedicado ao abastecimento dos veículos elétricos da Secretaria de Meio Ambiente (Semam), que faz parte da frota verde da Prefeitura Municipal de João Pessoa.

O planejamento e a metodologia de implantação foram elaborados com base na demanda de sete veículos elétricos já em uso pela prefeitura. Esse projeto piloto representa um passo importante para viabilizar a futura expansão da frota de veículos elétricos da instituição, contando com uma fonte de energia limpa e renovável.

3.1 Veículos Elétricos: Consumo e Autonomia

Em janeiro de 2024, a Prefeitura de João Pessoa adquiriu sete novos carros elétricos para integrar sua frota municipal, como parte de um conjunto de ações voltadas ao desenvolvimento sustentável e à preservação ambiental. Esses veículos, que são energeticamente eficientes e livres de emissões de poluentes, são utilizados e carregados nas instalações administrativas da Secretaria de Meio Ambiente.

Com planos para expandir a frota elétrica nos próximos anos, a prefeitura considerou essencial realizar um estudo detalhado sobre o consumo de energia e as especificações dos veículos adquiridos, visando o planejamento adequado da infraestrutura de carregamento. O modelo escolhido, o BYD Dolphin na versão GS conforme a Figura 3, possui um motor elétrico com potência de 95 cavalos e torque instantâneo de 18,3 kgfm, além de transmissão automática de uma marcha. Equipado com uma bateria de 44,9 kWh, o veículo tem autonomia declarada de 291 km.

Figura 3 – Frota Municipal



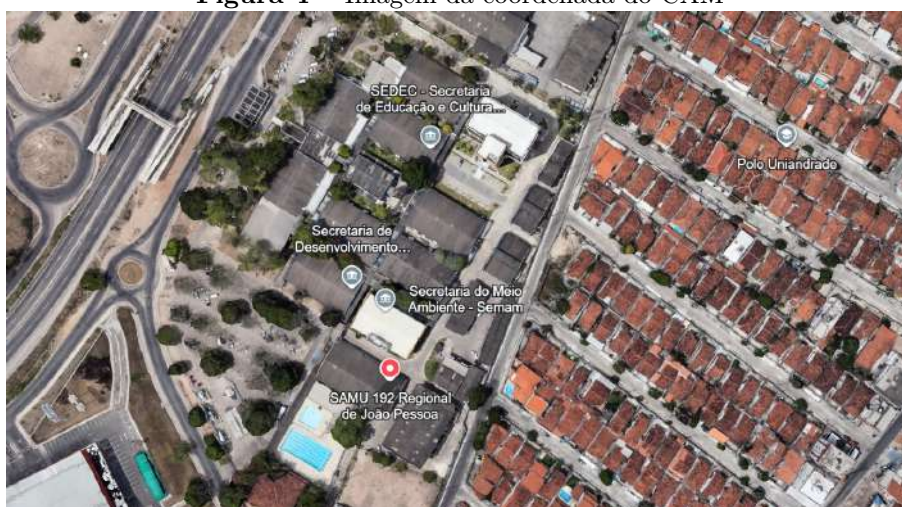
Fonte: Autoria Própria, 2024

Esses dados foram fundamentais para dimensionar o sistema de carregamento conforme o espaço disponível para a instalação e a carga necessária para atender a demanda dos novos veículos.

3.2 Localização da Estação de Carregamento

O Centro Administrativo Municipal (CAM) está localizado em Água Fria, com coordenadas geográficas de 7° 10 6,44 S de latitude e 34° 51 50,69 W de longitude. no endereço: R. Diógenes Chianca, 1777 - Água Fria, João Pessoa - PB, 58053-900. A Figura 4 apresenta a localização exata do CAM.

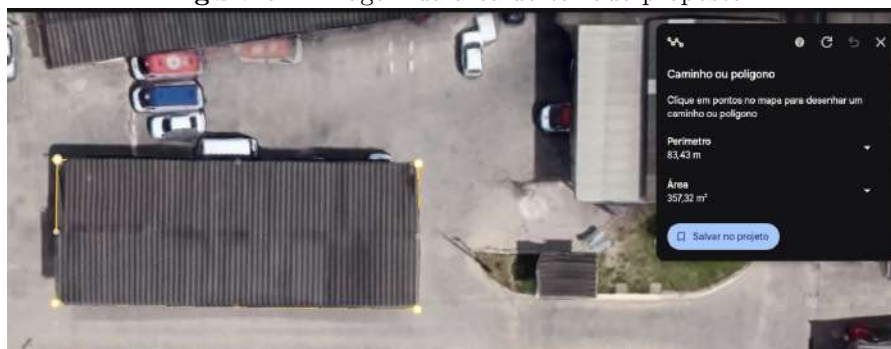
Figura 4 – Imagem da coordenada do CAM



Fonte: Google Earth, 2024

Atualmente, a área de estação de carregamento proposto possui uma área coberta 357,32 m². O projeto fotovoltaico é realizado levando consideração toda essa área útil do telhado, tanto a área que será utilizado quanto a área em vazio para a instalação de futuros módulos fotovoltaicos para o aumento da carga de instalação conforme a aquisição de novos carros. Na Figura 5 é possível visualizar toda área do telhado.

Figura 5 – Imagem da área do telhado proposto



Fonte: Google Earth, 2024

Atualmente, a estação de carregamento da prefeitura é uma instalação de nível 2, ou seja, utiliza carregadores de corrente alternada (CA) que são conectados diretamente

à rede elétrica convencional. Esse tipo de carregamento é o mais básico disponível e funciona em baixa potência, o que significa que o tempo para carregar um veículo elétrico é relativamente longo.

No entanto, essa configuração atende às necessidades iniciais da frota, permitindo que os carros elétricos sejam recarregados durante o horário em que estão estacionados na sede da Secretaria de Meio Ambiente como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Imagem do VE em carregamento



Fonte: Autoria Própria, 2024

Assim, a demanda de energia para alimentar os carros elétricos é calculada pela equação:

$$\text{Demanda de Carros} = \text{carros por dia} \times \text{capacidade da bateria} \quad (3.1)$$

A Tabela 1 mostra que para um veículo elétrico com uma bateria com capacidade de 44,9 kWh, o tempo de carregamento total varia de oito horas a cinco horas dependendo da potência do carregador de CA.

Tabela 1 – Tempo de carregamento da bateria do Veículo Elétrico BYD Dolphin com Carregador Nível 2 (CA)

Modelo do Carro	Potência do Carregador	Tempo de Recarga Completa
BYD Dolphin	7,4 kW	6 h a 8 h
	22 kW	5 h a 6 h

Vale ressaltar, que o tempo de carregamento é menor quando se utiliza carregadores rápidos de corrente contínua nível 3 (CSS). Com 100 kW é possível carregar a bateria do VE de 30% a 80% em 30 minutos.

3.3 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

3.3.1 Funcionamento da Estação de Carregamento

A estação de carregamento (EC) operará de forma autônoma visando ser totalmente limpa e independente da rede local. A instalação da EC no CAM possuirá a seguinte interface:

Sistema Fotovoltaico (FV): A energia solar é captada pelos módulos fotovoltaicos, que geram eletricidade em corrente contínua (CC). Esse é o ponto de partida para alimentar a estação de carregamento.

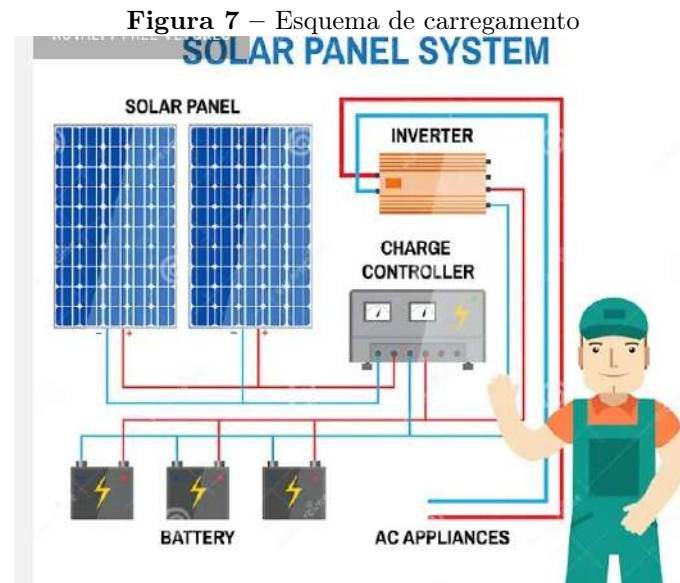
Controlador: O controlador regula a energia vinda dos painéis solares para proteger o sistema e otimizar a carga das baterias. Isso é importante em sistemas off-grid para garantir que o banco de baterias e os demais componentes não sejam sobrecarregados.

Banco de Baterias: As baterias armazenam a energia excedente gerada pelo sistema FV, permitindo que os veículos sejam carregados mesmo quando não há sol, como à noite ou em dias nublados. Isso é fundamental para garantir a operação contínua e autônoma da estação.

Inversor: O inversor converte a corrente contínua (CC) das baterias e do sistema FV em corrente alternada (CA), que é a forma de energia utilizada pelos carregadores de veículos elétricos. Esse componente é essencial, pois a maioria dos carregadores de VE funciona com corrente alternada.

Carregador de VE: Finalmente, o carregador utiliza a corrente alternada fornecida pelo inversor para recarregar os veículos elétricos.

Na Figura 7, é apresentada a estrutura da EC, que é composta pelos seguintes elementos: sistema FV, controlador de carga, banco de baterias, inversor e carregador da EC.



Fonte: Adaptado via canva, 2024

O projeto inclui a instalação de um sistema fotovoltaico no telhado do local, que converte a luz solar em energia elétrica. As baterias acumulam essa energia, que é então controlada por um controlador de carga. Posteriormente, um inversor converte a energia armazenada em corrente alternada (CA), permitindo que seja utilizada nos pontos de carregamento, garantindo assim uma fonte de energia renovável e sustentável.

3.3.2 Potência Instalada e Energia Gerada

A potência instalada do sistema será a quantidade de módulos multiplicados pela sua respectiva potência, conforme a equação a seguir.

$$P_{inst} = N_{módulos} \times P_{módulo} \quad (3.2)$$

Nesse estudo, a energia gerada é determinada pelo Fator de Capacidade das usinas instaladas no estado da Paraíba. O Fator de Capacidade (FC) relaciona a proporção entre a Energia Gerada e a Capacidade Instalada de um sistema de geração de energia.

Boretti (2020) define que o fator de capacidade é a razão entre a potência média gerada ao longo de um ano e a potência nominal. Se E_a é a energia gerada em um ano, P_{inst} é a potência nominal das instalações de energia solar, o fator de capacidade médio anual é FC:

A fórmula para o fator de capacidade (FC) é dada por:

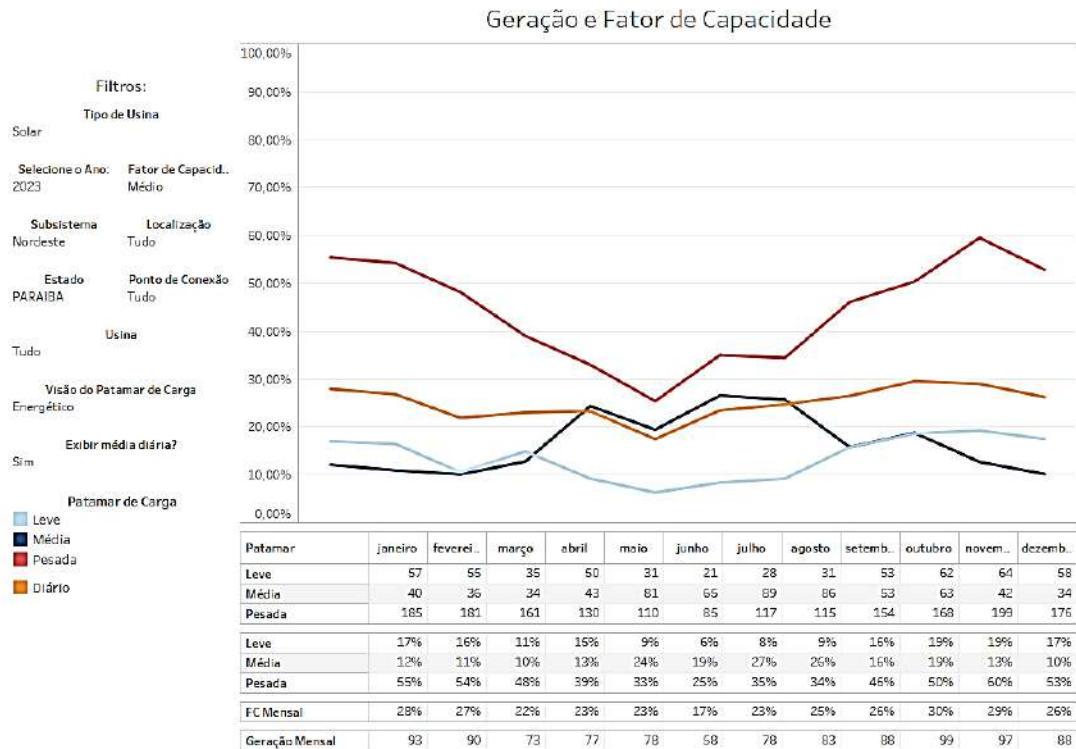
$$FC = \frac{E_a}{P_{inst} \times N_a} \quad (3.3)$$

onde:

- FC : Fator de Capacidade
- E_a : Energia anual gerada (em MWh)
- P_{inst} : Potência instalada do sistema (em MW)
- N_a : Número de horas anuais (8760 horas, em média)

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024) publica mensalmente um boletim sobre a geração de energia solar fotovoltaica centralizada. Entre as informações apresentadas, destaca-se o Fator de Capacidade médio por estado. Assim, a Figura 8 mostra os dados da tabela do boletim do ONS para o Fator de Capacidade médio no estado da Paraíba no ano de 2023.

Figura 8 – Fator de Capacidade média no estado da Paraíba no ano de 2023



Fonte: ONS (2024)

A geração diária de energia elétrica (kWh) da planta fotovoltaica é calculada considerando três fatores-chave: área de cobertura, potência dos módulos e fator de capacidade, que reflete o desempenho real do sistema PV na Paraíba.

$$E_d = P_{inst} \times 24horas \times 0,249 \tag{3.4}$$

A média anual do FC para o Estado da Paraíba foi de 24,91% para o Ano de 2023. Baseado neste valor, é possível estabelecer a E_a pela planta FV conforme a Equação XX.

$$E_a = P_{inst} \times 8760horas \times 0,249 \tag{3.5}$$

3.3.3 Módulos Fotovoltaicos

O módulo solar fotovoltaico deve ser dimensionado para que seja capaz de injetar energia suficiente nas baterias para manter a demanda em todas as épocas do ano. O módulo selecionado aqui, é monocristalino com eficiência acima de 21,3%.

3.3.4 Carregadores

A EC utilizada na prefeitura de João Pessoa conta com carregadores da marca Duosida do Modelo SES-32 (DeLuxe) com 7 kW de Potência de saída máxima. A Figura 9 mostra o carregador e Tabela 2 apresenta suas características técnicas.

Figura 9 – Carregador Veicular Duosida SES-32



Fonte: Autoria Própria, 2024

Tabela 2 – Parâmetros Técnicos dos carregadores utilizados na EC da Prefeitura de João Pessoa

Parâmetros	Valores
Tensão nominal	230VCA
Corrente máxima de saída	32A
Frequência de operação	50Hz / 60Hz
Potência máxima de saída	7,2kW
Número de Tomadas	1
Peso do produto	6kg
Dimensões do produto	237mm × 343mm × 155mm

Na proposta do sistema desenvolvido foi considerado o mesmo tipo de carregador, com o tempo médio de carregamento da bateria do Dolphin em 7 horas, devido a potência do carregador.

3.3.5 Controladores

O banco de baterias é mantido carregado graças aos módulos fotovoltaicos, que estão conectados às baterias por meio de um controlador de carga solar. Para determinar quantos controladores são necessários, foi considerado a potência total instalada da planta e dividida pela capacidade de cada do controlador. Isso é calculado multiplicando a tensão de operação do módulo pela corrente máxima que o controlador pode lidar, conforme a equação (3.6)

$$Nu_{controladores} = \frac{Pot_{inst}}{Vmp_{modulo} \times IA_{controlador}} \quad (3.6)$$

Onde: $NU_{controladores}$ é o número de controladores a ser calculado, POT_{inst} é o número de potência instalada, $VMP_{módulo}$ é o número de tensão de máxima potência e $IA_{controlador}$ é a corrente máxima do controlador.

3.3.6 Baterias

O armazenamento de energia no sistema fotovoltaico off-grid é garantido por um banco de baterias projetado para atender à alta demanda dos equipamentos conectados (EC). A capacidade total do banco de baterias é calculada com base na Equação (3.7), que leva em conta:

- A potência média consumida pelos EC
- O tempo de autonomia desejado do sistema
- A eficiência do sistema

Isso garante que o sistema possa fornecer energia confiável e consistente, mesmo em períodos de baixa irradiação solar.

$$Capacidade do Banco = \frac{Demanda diaria \times Numero de dia}{Tensaoda Bateria \times K_{bat} \times K_D} \quad (3.7)$$

Onde: K_{bat} é a constante associado ao estado de carga e à capacidade de armazenamento da bateria, e K_D é a constante de descarga da bateria. A quantidade de baterias a serem utilizadas para formar o banco é:

$$Numero de Baterias = \frac{Capacidade do Banco}{Capacidade a 10h} \quad (3.8)$$

3.3.7 Inversores

Para garantir que o sistema funcione corretamente, o inversor precisa ser dimensionado para atender à carga elétrica máxima necessária, considerando todos os carregadores que possam estar ligados ao mesmo tempo. Além disso, com o banco de baterias, o número de inversores necessário é calculado com base na quantidade de baterias e nas entradas MPPT (Rastreamento de Ponto Máximo de Potência) do inversor, conforme a equação a seguir.

$$\text{NumerodeInversor} = \frac{\text{NumerodeBaterias}}{\text{EntradasdeMPPTdoInversor}} \quad (3.9)$$

4 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados do estudo realizado sobre um sistema fotovoltaico off-grid para estações de carregamento autônomas de veículos elétricos no espaço físico da prefeitura de João Pessoa. São abordados:

- Uso eficiente do sistema
- Componentes do sistema fotovoltaico

Esses resultados fornecem uma visão completa sobre a viabilidade e eficácia do sistema para atender às necessidades de carregamento de veículos elétricos de forma autônoma e sustentável. A ideia central é simples: utilizar a energia solar, uma fonte inesgotável e sustentável, para recarregar os veículos elétricos. Como resultado, a dependência dos combustíveis fósseis é reduzida, o que contribui para a diminuição das emissões de gases poluentes.

4.1 Demanda da Estação de Carregamento

O sistema fotovoltaico foi projetado para atender às necessidades de recarga da frota de 7 veículos elétricos da Prefeitura, garantindo:

- Recargas diárias de 35%
- Autonomia de 100 km por dia
- Funcionamento durante 10 horas/dia, coincidindo com o horário de funcionamento do Centro Administrativo

Com base nessas especificações, calculamos a demanda energética necessária para a Estação de Carregamento.

$$Demanda_{carros} = 7_{carros} \times 15,43kWh = 108,01kWh \quad (4.1)$$

Para calcular o consumo diário corrigido, dividimos o valor de consumo diário total por 0,8. Isso considera uma margem de segurança de 20% para compensar perdas inevitáveis no sistema solar, como:

- Perdas térmicas
- Resistência no cabeamento
- Outros fatores

Com essa correção, a demanda diária da estação de carregamento para atender até 7 carros com autonomia de 100 km/dia é de: 135,01 kWh.

4.2 Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos

Os módulos escolhidos para a planta fotovoltaica são do modelo Canadian 555W Monocristalino Half-Cell (compatível 550W) - CS6W 555MS, que possui células monocristalina e uma potência de 550 W. As características técnicas deste módulo podem ser encontradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características do Módulo Fotovoltaico selecionado

Parâmetros	Valores
Potência Nominal (P.max)	550W
Tensão na Máxima potência (Vmp)	41,7V
Corrente na Máxima Potência (Imp)	13,2A
Tensão de circuito aberto (Voc)	49,6V
Corrente de curto-circuito (Isc)	14A
Eficiência do módulo (%)	21,3%
Temperatura de Operação	-40°C ÷ 85°C
Corrente máxima do fusível	25A
Tipo de célula	Monocristalino
Peso	27,6kg
Dimensões do módulo	2278mm × 1134mm × 30mm

O número de Módulos é definido conforme a demanda diária, dessa forma:

$$NumerodeModulos = \frac{135,01kWh}{\frac{550W}{1000} \times 24h \times 0,249} = 43Modulos \quad (4.2)$$

Com base no número de Módulos, a potência instalada é:

$$Pot_{inst} = 43 \times 550W = 23,44kW \quad (4.3)$$

E a energia diária e anual gerada pelo sistema fotovoltaico é:

$$E_D = 23,44kW \times 24hr \times 0,249 = 140,07kWh \quad (4.4)$$

$$E_A = 23,44kW \times 8760 \times 0,249 = 51,13MWh \quad (4.5)$$

A Tabela 4 apresenta os dados da planta fotovoltaica, especificados com base na média da área construída.

A planta fotovoltaica gerará energia elétrica em excesso em relação à demanda diária dos sete carregadores em operação durante 10 horas contínuas. Esse excedente será armazenado em baterias, garantindo:

Tabela 4 – Dados da planta fotovoltaica a ser construída

Parâmetro	Valor
Área dos Módulos (m ²)	110,09
Número dos módulos	43
Potência a ser instalada (kW)	23,44
Energia diária gerada (kWh)	140,07
Energia anual gerada	51,13

- Autonomia do sistema
- Carga contínua para as estações de recarga dos veículos elétricos

Especificações Elétricas do Posto de Recarga:

- Alta potência
- Não conectados à rede doméstica de 220 V/60 Hz
- Requisitos específicos para carregamento rápido e eficiente

Com essa configuração, o sistema garante:

- Eficiência energética
- Confiabilidade
- Autonomia para os veículos elétricos

4.3 Dimensionamento dos Controladores

O controlador de carga é um componente crítico no sistema fotovoltaico, responsável por regular a carga da bateria e garantir a eficiência energética. Um bom dimensionamento do controlador de carga é fundamental para:

1. Evitar sobrecarga ou subcarga da bateria
2. Maximizar a eficiência da conversão de energia solar
3. Proteger a bateria contra descargas profundas ou sobre-cargas
4. Garantir a estabilidade do sistema

Por que utilizar o Controlador de Carga EPEVER Tracer MPPT 100A?

O EPEVER Tracer MPPT 100A é um controlador de carga avançado que oferece:

1. Tecnologia MPPT (Maximum Power Point Tracking): otimiza a extração de energia solar, garantindo até 30% mais eficiência
2. Faixa de tensão de entrada ampla (8-68V): permite flexibilidade na escolha da

bateria e do painel solar

3. Corrente de carga de 100A: atende às necessidades do projeto, garantindo carga rápida e eficiente

4. Proteção contra sobrecarga, curto-circuito e sobre-tensão: garantindo a segurança do sistema

5. Monitoramento remoto: permite acompanhamento do desempenho do sistema

A tabela 5 mostra as especificações técnicas do controlador

Tabela 5 – Características do controlador EPEVER TRACER

Parâmetro	Valor
Eficiência de carga MPPT	99%
Corrente de carga nominal	100A
Faixa de tensão de entrada da bateria	8 a 68 V
Máx. Potência de entrada	1250W/12V, 3750W/36V, 5000/48V
Peso	7,4kg

Logo, para calcular o número de controladores, temos na equação (4.6):

$$Nu_{controladores} = \frac{Pot_{inst}}{V_{mp_{modulo}} \times I_{A_{controlador}}} \quad (4.6)$$

$$Nu_{controladores} = \frac{23,44kW}{41,7V \times 100A} = 6controladores \quad (4.7)$$

Então, o EPEVER Tracer MPPT 100A é ideal para esse sistema devido a sua compatibilidade com as especificações do sistema, que são:

- Potência instalada: 23,44 kW
- Energia diária gerada: 140,07 kWh
- Energia anual gerada: 51,13 MWh
- Número de carros elétricos: 7
- Autonomia diária: 100 km/carro
- Demanda diária estimada: 135,01 kWh
- Bateria: tensão de entrada de 8-68V
- Painel solar: tensão de entrada até 150V

Logo, o controlador de carga funcionará no sistema devido:

1. Faixa de tensão de entrada da bateria: O controlador suporta tensão de entrada da bateria de 8-68V, o que é compatível com as especificações do sistema.

2. Corrente de carga: A corrente de carga de 100A é suficiente para atender à demanda diária estimada de 135,01 kWh.

3. Tecnologia MPPT: A tecnologia MPPT otimiza a extração de energia solar, garantindo até 30% mais eficiência, o que é fundamental para atender à demanda energética do sistema.

4. Proteção: O controlador oferece proteção contra sobrecarga, curto-circuito e sobre-tensão, garantindo a segurança do sistema.

5. Compatibilidade com o painel solar: O controlador suporta tensão de entrada do painel solar até 150V, o que é compatível com as especificações do sistema.

4.4 Dimensionamento do Banco de Baterias

O dimensionamento correto do banco de baterias é fundamental para garantir a eficiência, confiabilidade e autonomia do sistema fotovoltaico off-grid. Um bom dimensionamento:

1. Evita descargas profundas e sobrecargas
2. Garante a autonomia do sistema durante períodos de baixa irradiação solar
3. Maximiza a vida útil das baterias
4. Reduz custos de manutenção e substituição

Logo, para o projeto foi dimensionado baterias estacionárias Moura 12MN4100 12V 225Ah, com características conforme a tabela 6

Tabela 6 – Características da bateria Moura 12MN4100 12V 225Ah

Parâmetro	Valor
Tensão	12V
Capacidade	C20:225Ah
Tensão de flutuação	13,2 a 13,8V @ 25C
Polo	Direito
Peso	56kg

Considerou-se que as baterias serão ligadas em série de 3, logo, com a soma das 3 tensões 12V, temos uma tensão total de 36V. Kbat é um valor médio de 65%, valor usual para baterias de chumbo-ácido e KD é a 60% — valor usual para não danificar a bateria

$$Capacidade\ do\ Banco = \frac{140,07kWh \times 1dia}{36V \times 0,65 \times 0,6} = 9976,60Ah \quad (4.8)$$

$$Trios\ de\ Baterias = \frac{9976,60Ah}{3 \times 200Ah} = 2Trios\ de\ Baterias \quad (4.9)$$

O dimensionamento do banco de baterias está apto para ser usado no sistema fotovoltaico, pois atende às necessidades de energia do projeto e é compatível com os componentes selecionados. O sistema está pronto para ser implementado e fornecer energia confiável e eficiente para os 7 carros elétricos.

4.5 Dimensionamento do Inversor

A planta fotovoltaica gera energia em corrente contínua (CC), enquanto as estações de recarga operam em corrente alternada (CA). Para conectar a planta à segunda interface, é necessário converter a energia de CC para CA. O inversor Solar Trifásico Growatt MID 36KTL3-X pode ser utilizado para essa aplicação. Este inversor fornece a potência necessária para o funcionamento da estação de recarga e a corrente de operação, tendo um fator importante que é a tensão de saída de 220V/380V, sendo compatível com o carregador veicular. A Tabela 7 apresenta as características técnicas do inversor.

Tabela 7 – Características do Inversor Solar 36kw 220/380V

Parâmetro	Valor
Potência Nominal (trifásico 380V)	36.000W
Tensão Máxima de Entrada	1100V
Corrente Máxima de Entrada por MPPT	26A
Tensão Nominal Saída CA	220/380V
Corrente Máxima	60A
Frequência	50Hz/60Hz

A quantidade de inversores a ser utilizada foi determinada dividindo-se o número total de baterias pela capacidade máxima de entradas de cada inversor.

$$Numero_{Inversor} = \frac{2Trios\ de\ Baterias}{2Entradas\ no\ inversor} = 1Inversor \quad (4.10)$$

4.6 Estimativa de Custo de Implementação

Com base na quantidade de equipamentos da Estação de Carregamento (EC) são estimados os custos de implementação, levando em conta apenas os componentes eletrônicos já dimensionados. Os valores estimados estão apresentados na Tabela 8.

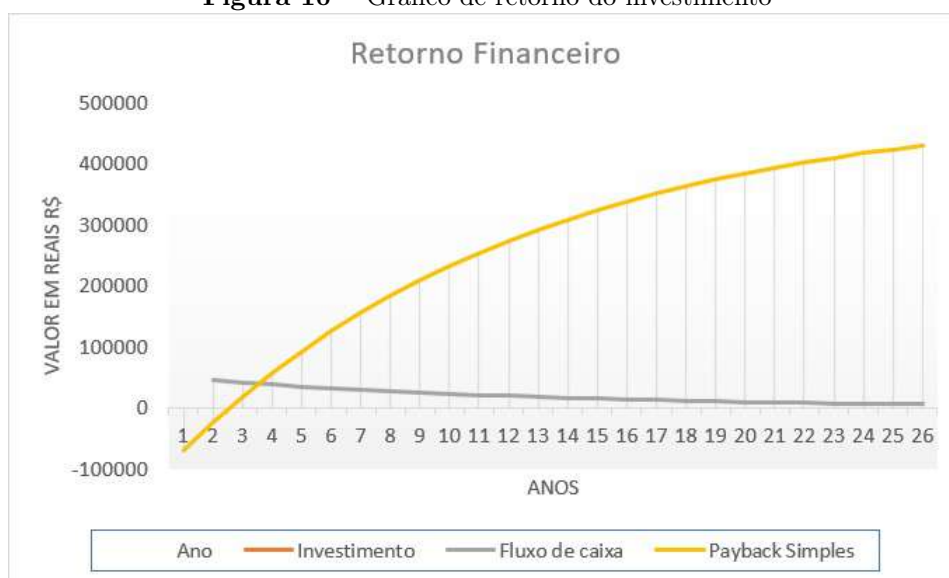
Tabela 8 – Tabela de Itens e Valores

Detalhes de Itens e Valores			
Item	Valor Individual	Quantidade	Valor
Módulos	R\$ 650,00	43	R\$ 27.950,00
Controladores	R\$ 1.471,00	6	R\$ 8.826,00
Baterias	R\$ 1.396,50	6	R\$ 8.376,00
Inversores	R\$ 9.999,00	1	R\$ 9.999,00

O valor total do sistema fotovoltaico com os componentes principais acrescido de mais 25% para contabilizar os cabos, quadros, barramento, caixas de junção, disjuntores, Dispositivos de Proteção, e kit de fixação solar será de R\$ 68.940,00. Importante lembrar que os valores dos carregadores não entraram na análise de preços do projeto, pois os mesmos já são adquiridos no momento da compra do carro.

4.7 Análise Financeira

O custo da energia contratada junto à distribuidora, com base na tarifa B3 - para as categorias Comercial, Industrial e Outros - atualmente é de R\$ 0,89456 por kWh para clientes de baixa tensão, considerando a bandeira verde. Para projetar o valor da tarifa ao longo dos 25 anos de vida útil dos módulos, foi considerada uma taxa de reajuste anual de 8%. Com isso, conforme indicado no gráfico da Figura 10, vemos que o payback simples se torna positivo em 1 anos e 5 meses de operação, o que significa que, a partir deste ponto, o projeto já se pagou com a economia gerada por seu uso.

Figura 10 – Gráfico de retorno do investimento

Fonte: Gráfico via Excel, 2024

Os dados mostram que ao longo dos 25 anos, o investimento na planta de energia solar pode resultar em um fluxo de caixa positivo de aproximadamente de R\$430.413,16.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um projeto inovador de alimentação de veículos elétricos com sistema fotovoltaico off-grid, demonstrando a viabilidade técnica e econômica dessa solução. A importância deste projeto reside na contribuição para a redução da poluição ambiental, economia de recursos financeiros e mitigação do impacto climático.

Os resultados obtidos demonstram que o sistema fotovoltaico off-grid é uma opção viável e rentável para a alimentação de veículos elétricos, com uma economia significativa em relação aos métodos tradicionais de abastecimento.

A importância de projetos como este reside na necessidade de melhorias contínuas e inovações em um setor em constante evolução. O tema da mobilidade elétrica e geração de energia renovável é relativamente novo e oferece um vasto campo de estudo e desenvolvimento.

Portanto, este trabalho contribui para:

- Redução da dependência de fontes de energia não renováveis;
- Mitigação do impacto ambiental;
- Economia de recursos financeiros;
- Desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

5.1 Sugestões de trabalhos Futuros

Este trabalho aponta para uma ampla gama de oportunidades de pesquisa e desenvolvimento na área de sistemas de carregamento fotovoltaico off-grid para veículos elétricos, com potencial de expansão tanto para a frota da prefeitura quanto para estações de carregamento públicas distribuídas pela cidade. Em termos de futuros projetos, a expansão de estações de carregamento para atender um número maior de veículos da frota municipal é uma possibilidade promissora, oferecendo à administração pública uma infraestrutura cada vez mais autônoma e sustentável.

Outro campo relevante para futuros estudos é a criação de uma rede de estações de carregamento públicas em locais estratégicos da cidade, como parques, estacionamentos e áreas de grande circulação. Essas estações poderiam operar de forma similar ao sistema off-grid projetado para a frota municipal, abastecendo veículos elétricos particulares e incentivando o uso de energia limpa pela população. Além disso, o desenvolvimento e a instalação dessas estações públicas aumentariam a acessibilidade ao carregamento, o que pode ser um incentivo significativo para a adoção de veículos elétricos pela população em

geral.

Projetos dessa natureza são essenciais para impulsionar o uso de energias renováveis e podem estimular o interesse de governos e investidores em soluções que beneficiem o ambiente urbano e contribuam para a sustentabilidade. Com a infraestrutura de carregamento adequada e sustentável, é possível promover uma transição gradual para uma mobilidade urbana mais limpa e eficiente, contribuindo para a expansão da frota de veículos elétricos e, conseqüentemente, para a redução das emissões de carbono na cidade.

REFERÊNCIAS

AL-ARAB, S.; BANSAL, R.; ABO-KHALILL, A. Assessing the Impact of Electric Vehicle Charging on the Load Profile of the United Arab Emirates Power Grid System. p. 494–499, 02 2024.

ALVES, M. de O. L. Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas. p. 1, 2019.

AMANCIO, S. *Tipo de Carregadores*. 2024. Disponível em: <[BORETTI, C. Trends in performance factors of large photovoltaic solar plants. p. 1, 2020.](https://www.power2go.com.br/post/tipos-de-recarga-e-suas-aplica%C3%A7%C3%B5es-lenta-r%C3%A1pida-e-ultrarr%C3%A1pida#:~:text=No%20universo%20da%20recarga%20de,e%20n%C3%ADvel%203%20(ultrarr%C3%A1pida).>></p>
</div>
<div data-bbox=)

BRAGA, I. N. C. *Tensão de Pico Eficaz e RMS*. 2016. Disponível em: <[>](https://www.newtonbraga.com.br/index.php/ideias-dicas-e-informacoes-uteis/177-ideias-praticas/12290-tensao-de-pico-eficaz-e-rms-ip1315.html)>.

GUSSOW, M. *Eletricidade Básica 2ª Edição*. [S.l.]: Bookman, 2005.

MATULKA, R. *Historia dos Carros Elétricos*. 2024. Disponível em: <[>](https://www.energy.gov/articles/history-electric-car)>.

MOURA. *Baterias*. 2023. Disponível em: <[>](https://www.moura.com.br/blog/bateria-de-carros-eletricos)>.

NAKASHIMA, K. *VALOR MÉDIO E EFICAZ*. 2020. Disponível em: <[>](https://elt09.unifei.edu.br/roteiroslab/rms.pdf)>.

ONS. *Fator de Capacidade*. 2024. Disponível em: <[>](https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/fator-capacidade.aspx)>.

REUTERS. *AIE*. 2024. Disponível em: <<https://www.reuters.com/business/autos-transportation/electric-car-sales-rise-affordability-focus-iea-says-2024-04-23/>>>.

A Anexos

A.1 Datasheet Carregador Veicular

Figura 11 – Datasheet do carregador veicular Duosida SES-32



Dimensões dos cabos para instalação

- **Linha de alimentação de entrada independente:** $\geq 6 \text{ mm}^2$
- **Linha de entrada de energia:** Cabos $3 \times 6 \text{ mm}^2$ com Isolação EPR ou XLPE de 1Kv.
- DPS Classe 2, Ue 275V, Up < 1,5 KV
- Disjuntor Bipolar Curva C 40A
- IDR Bipolar tipo A, Corrente residual de 30 mA, Corrente nominal de 40A.

Fonte: Fabricante Duosida, 2024

Figura 12 – Datasheete parâmetros técnicos do carregador Veicular Duosida SES-32

Parâmetros técnicos

Item	Modelo
	SES-32 (DeLuxe)
Tensão nominal	230 VCA
Corrente máxima de saída	32A
Frequência de operação	50 Hz / 60 Hz
Potencia máxima de saída	7,2 kW
Modo de controle de carga	Cartão IC / carga quando inserir
Interação homem-máquina	Tela LCD
Cartão IC	ISO14443A
Consumo de energia em standby	6 W
Modo de comunicação	GPRS (opcional)
EMI (interferência eletromagnética)	CISPR22 / EN 55022CLASSE B
EMS	EN 61000-4-5 \pm 2KV/ \pm 4KV (perf. Norma B)
Padrão de proteção	EN 61851-1
Nível de proteção	IP54 (acoplado ao veículo)
Temperatura/umidade	-30° C - 50° C / 5% - 95% (sem condensação)
Altitude	< 2000 m
Peso do produto	6 kg
Dimensões do produto	237 mm x 343 mm x 115 mm

Fonte: Fabricante Duosida, 2024

A.2 Datasheet Bateria

Figura 13 – Datasheet2 da bateria estacionária Moura 12MN220



MOURA NOBREAK | Tensão 12V

Código Bateria	Capacidade Nominal (Ah)				Peso (Kg)	Dimensões da Bateria (mm)				Resistência interna (mΩ)	Corrente Recarga Máx. (A)	Local Terminal	Tipo Terminal	Garantia
	C20	C10	C5	C1		C	L	A	Altura Total					
12MN30	30	27	24	18,4	10,6	197	130	158	184	8,7	6,0	C	T4	2 ANOS
12MN36	36	33	27	20,8	11,4	212	175	175	175	7,1	7,2	C	T5	2 ANOS
12MN45	45	41	37	27,8	11,8	212	175	175	175	6,9	9,0	C	T5	2 ANOS
12MN55	55	50	44,2	33,7	14,1	242	175	175	175	6,2	11,0	C	T5	2 ANOS
12MN63	63	57	52,6	40,2	16,1	282	175	175	175	5	12,6	C	T5	2 ANOS
12MN80	80	72	60,3	45,6	21,6	306	172	203	227	4,9	16,0	D	T6	2 ANOS
12MN105	105	95	87,2	61,4	25,4	330	172	220	244	4,9	21,0	D	T6	2 ANOS
12MN150	150	135	115,3	79,1	39	509	211	219	246	3,1	30,0	B	T6	2 ANOS
12MN175	175	160	136,5	104,2	50,6	517	272	217	246	2,5	35,0	B	T6	2 ANOS
12MN220	220	200	179,4	131	56,0	517	272	217	246	2,5	44,0	B	T6	2 ANOS

Fonte: Fabricante Moura, 2024

Figura 14 – Datasheet e parâmetros técnicos da bateria estacionária Moura 12MN220

Especificações Técnicas:
Polo: Direito
Tensão: 12V
Capacidade:
 C10: 200Ah
 C20: 225Ah
 C100: 242Ah
Tensão de Flutuação: 13,2 a 13,8V @ 25 °C
Tensão de Equalização: 14,4 a 15,5V @ 25 °C
Peso: 56
Dimensões (Comp x Larg x Alt): 517 x 272 x 246
Garantia: 2 Anos (3 Meses para Motores Elétricos)

Fonte: Fabricante Moura, 2024

A.3 Datasheet Módulo Solar

Figura 15 – Parâmetros técnicos do módulo Canadian 555w monocristalino CS6W**Especificações**

Potência Nominal (P.max): 550W;

Tensão na Máxima Potência (Vmp): 41,7V;

Corrente na Máxima Potência (Imp): 13,2A;

Tensão de circuito aberto (Voc): 49,6V;

Corrente de curto-circuito (Isc): 14A;

Eficiência do módulo (%): 21,3%;

Temperatura de operação: -40°C ~ +85°C

Corrente máxima do fusível: 25A;

Tensão máxima do sistema: 1500V (IEC/UL) ou 1000V (IEC/UL);

Desempenho antichamas do módulo: TIPO 1 (UL 1703) ou TIPO 2 (UL 61730 1000V) ou CLASSE C (IEC 61730);

Tolerância de saída de potência: 0 ~+ 10W;

Tipo de célula: Monocristalino;

Número de células: 144 [2 x (12 x 6)];

Vidro, espessura e tipo: Vidro temperado de 3,2mm com revestimento antirreflexo;

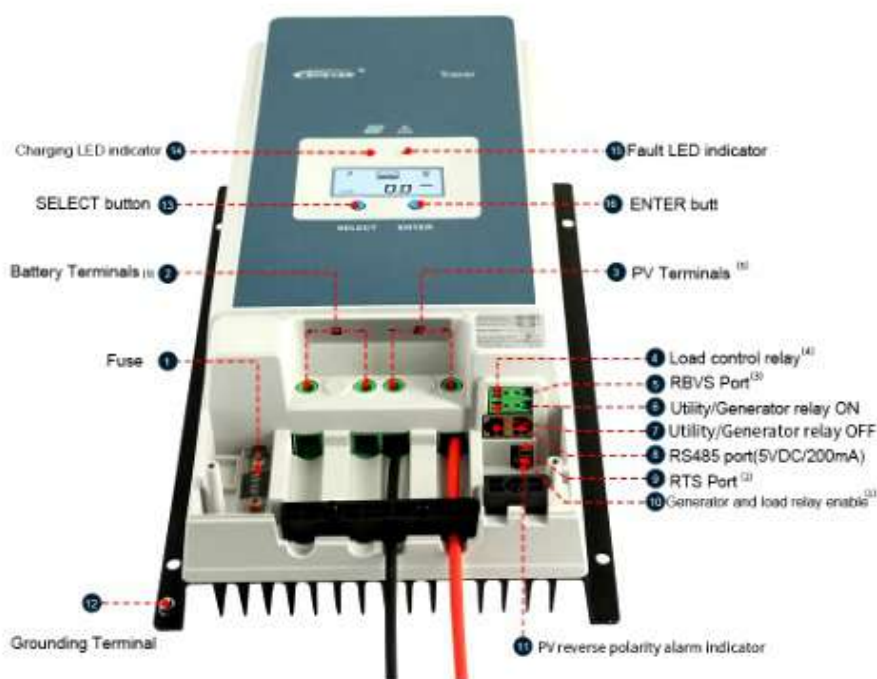
Moldura: Liga de alumínio anodizado;

Caixa de junção: IP68, 3 diodos de bypass;

Cabo: 4mm² de espessura e comprimento de 250mm a 350mm;

Fonte: Fabricante Canadian, 2024

A.4 Datasheet Controlador de Carga

Figura 16 – Conectores e painel controlador de carga EPEVER Tracker

Fonte: Fabricante EPEVER, 2024

Figura 17 – Parâmetros técnicos do controlador de carga EPEVER Tracer

Controlador de carga solar MPPT 100A EPEVER Tracer 10420AN

Com base no design negativo comum e no algoritmo avançado de controle MPPT

Eficiência de carga MPPT > 99%

Dados técnicos: Tensão nominal do sistema: 12/24/36/48VDC trabalho automático

Corrente de carga nominal: 100A

Faixa de tensão de entrada da bateria: 8 a 68 V

Máx. Tensão de circuito aberto PV: 200 V (a temperatura mínima do ambiente operacional) 180 V (a 25 °C temperatura ambiente)

Faixa de tensão MPP: V (BAT) +2 V ~ 144 V

Máx. Potência de entrada PV: Bateria 1250W/12V, bateria 2500W/24V, bateria 3750W/36V, sistema de bateria 5000W/48V

Tamanho máximo do fio: #2 AWG (35mm²)

Tamanho recomendado do fio: #2 AWG (35mm²)

Peso: 7,4 kg


Fonte: Fabricante EPEVER, 2024

A.5 Datasheet Inversor Solar

Figura 18 – Datasheet Inversor Solar Growatt 36kW

Datasheet	MID 30KTL3-X2	MID 33KTL3-X2	MID 36KTL3-X2	MID 40KTL3-X2	MID 50KTL3-X2
Input data (DC)					
Max. recommended PV power (for module STC)	45000W	49500W	54000W	60000W	75000W
Max. DC voltage	1100V				
Start voltage	200V				
Normal voltage	600V				
MPPT voltage range	200-1000V				
No. of MPP trackers	2	3	3	4	4
No. of PV strings per MPP tracker	2/3	2	2	2	2
Max. input current per MPP tracker	32A/48A	32A	32A	32A	32A
Max. short-circuit current per MPP tracker	40A/60A	40A	40A	40A	40A
Output data (AC)					
AC nominal power	30000W	33000W	36000W	40000W	50000W
Max. AC apparent power	33300VA	36600VA	40000VA	44400VA	55500VA
Nominal AC voltage (range*)	220V/380V, 230V/400V (340-440V)				
AC grid frequency (range*)	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)				
Max. output current	50.5A	55.5A	60.6A	67.3A	84.1A
Adjustable power factor	0.8leading...0.8lagging				
THDI	<3%				
AC grid connection type	3W+N+PE				
Efficiency					
Max. efficiency	98.8%				
European efficiency	96.5%				
MPPT efficiency	99.9%				

Fonte: Fabricante Growatt, 2024

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, Joao Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Restrito

Trabalho de conclusão de curso

Assunto:	Trabalho de conclusão de curso
Assinado por:	Wallace Lucena
Tipo do Documento:	Relatório
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo da Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Wallace Santos de Lucena, DISCENTE (20211610042) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 12/11/2024 15:04:39.

Este documento foi armazenado no SUAP em 12/11/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1308800

Código de Autenticação: c0e5542d85

