

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANNA LIEKO OKADA

**AVALIAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE ABASTECIMENTO PARA VEÍCULOS
ELÉTRICOS ALIMENTADA POR MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

MEDIANEIRA

2025

GIOVANNA LIEKO OKADA

**AVALIAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE ABASTECIMENTO PARA VEÍCULOS
ELÉTRICOS ALIMENTADA POR MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

**Evaluation of an electric vehicle charging station powered by photovoltaic
microgeneration**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Cristiane Lionço de Oliveira.

MEDIANEIRA

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GIOVANNA LIEKO OKADA

**AVALIAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE ABASTECIMENTO PARA VEÍCULOS
ELÉTRICOS ALIMENTADA POR MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 12/fevereiro/2025

Cristiane Lionço de Oliveira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Yuri Ferruzzi
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Filipe Marangoni
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MEDIANEIRA

2025

Dedico este projeto principalmente à minha família, meus pais e irmão, que estiveram comigo em todas as minhas dificuldades e realizações, acreditando e confiando este tempo a mim, mesmo em todas as dificuldades passadas ao longo desta etapa acadêmica.

Dedico este projeto também aos meus amigos, que sempre me apoiaram e estiveram presentes em muitos momentos de minha formação. E também à minha orientadora Dr. Cristiane Lionço de Oliveira, que me auxiliou com muita paciência desde a escolha do projeto, sempre disposta a me guiar independentemente de horário.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi resultado de grande esforço, por isso gostaria de agradecer à minha orientadora, a Professora Dra. Cristiane Lionço de Oliveira por ter me guiado e percorrido essa trajetória junto a mim.

Aos professores que contribuíram compartilhando conhecimentos e experiências que foram fundamentais para a construção e finalização deste projeto.

RESUMO

Os veículos elétricos vêm ganhando espaço no setor automobilístico, pois eles apresentam um baixo grau de poluição ao longo de sua vida útil, portanto se tornam uma alternativa sustentável para os veículos a combustão, diminuindo a emissão de gases que sustentam o efeito estufa. Este trabalho tem como objetivo dimensionar uma Estação de Abastecimento com capacidade de carregar completamente até quatro veículos elétricos diariamente, usando como fonte de energia uma usina de microgeração fotovoltaica on-grid. Desta forma, a Estação de Abastecimento possui uma potência de 19,86 kWp para o abastecimento completo de quatro veículos elétricos de 40 kW durante um mês, para suprir esta demanda foram selecionados 38 módulos com a geração de uma potência total de 20,90 kWp mensal. Para a escolha de um inversor adequado para a demanda total, foram calculadas a tensão mínima de máxima potência de um módulo e a tensão máxima do circuito aberto da série de módulos, usando como base as temperaturas médias máxima e mínima da cidade de Medianeira, situada no Oeste do Paraná. E também foram calculados os números de módulos mínimos e máximos que o inversor pode suportar por MPPT. Foi determinada a área total de ocupação do projeto de 114 m². Também foi realizado o cálculo de viabilidade econômica da EA, o qual para se iniciar o projeto era necessário um investimento de R\$62.676,99, considerando que o investidor possuiria uma área para o desenvolvimento do projeto, assim diminuindo consideravelmente o investimento no projeto e realizaria a lavagem dos módulos por conta. Para melhor análise da economia, foram selecionados dois cenários diferentes, no primeiro foi determinado a recarga de quatro veículos por dia em 20 dias úteis, obtendo o VPL de R\$308.667,20 e a média do TIR foi de 93,982% ao final de 10 anos, que seria a mínima vida útil para um inversor solar, com o Payback de 1 ano. O segundo cenário foi determinado a recarga de um veículo por dia em 20 dias úteis, o VPL foi de R\$30.159,06 e a média do TIR foi de 0,87% ao final de 10 anos, com Payback de 6 anos.

Palavras-chave: radiação solar; células solares; geração de energia fotovoltaica; automóveis elétricos.

ABSTRACT

Electric vehicles have been gaining ground in the automotive sector, as they have a low level of pollution throughout their useful life, thus becoming a sustainable alternative to combustion vehicles, reducing the emission of gases that sustain the greenhouse effect. This work aims to dimension a Supply Station with the capacity to fully charge up to four electric vehicles daily, using an on-grid photovoltaic microgeneration plant as an energy source. Thus, the Supply Station has a power of 19.86 kWp to fully supply four 40 kW electric vehicles for one month. To meet this demand, 38 modules were selected with the generation of a total power of 20.90 kWp per month. To choose an inverter suitable for the total demand, the minimum voltage of maximum power of a module and the maximum open circuit voltage of the series of modules were calculated, using as a basis the average maximum and minimum temperatures of the city of Medianeira, located in western Paraná. The minimum and maximum number of modules that the inverter can support per MPPT were also calculated. The total area occupied by the project was determined to be 114 m². The economic feasibility calculation of the EA was also performed, which required an investment of R\$62,676.99 to start the project, considering that the investor would have an area for the development of the project, thus considerably reducing the investment in the project and would wash the modules on their own. For a better analysis of the economy, two different scenarios were selected. In the first, the recharging of four vehicles per day in 20 business days was determined, obtaining a NPV of R\$308,667.20 and the average IRR was 93.982% at the end of 10 years, which would be the minimum useful life for a solar inverter, with a Payback of 1 year. The second scenario was determined to recharge one vehicle per day in 20 business days, the NPV was R\$30,159.06 and the average IRR was 0.87% at the end of 10 years, with a Payback of 6 years.

Keywords: solar radiation; solar cells; photovoltaic power generation; electric cars.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Plugue Tipo 1	20
Figura 2 - Plugue Tipo 2	21
Figura 3 - Plugue GB/T 20234	22
Figura 4 - Plugue CHAdeMO	22
Figura 5 - Veículo Tesla	23
Figura 6 - Plugue Tesla	24
Figura 7 - Banco de Bateria de Veículo Elétrico	24
Figura 8 - Sistema Fotovoltaico on-grid.....	27
Figura 9 - Fluxograma da Metodologia	30
Figura 10 - Posto de Abastecimento de VE utilizando Painel Fotovoltaico	32
Figura 11 - Estrutura da EA	33
Figura 12 - Ilustração de demarcação para veículos elétricos	37
Figura 13 - Sistema de Carregamento	38
Figura 14 - Área Construída do Projeto	49
Gráfico 1 - Principais Valores para EE para Baterias	25
Gráfico 2 - Tempo relacionado a Potência de Carregamento	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de Comparação dos Tipos de Bateria	25
Tabela 2 - Dados obtidos no site Global Solar Atlas	31
Tabela 3 - Relação dos cabos com a Potência Limite	33
Tabela 4 - Valores de Equipamentos	49
Tabela 5 - FC, VPL e TIR para quatro veículos	52
Tabela 6 - FC, VPL e TIR para um veículo	54
Tabela 7 - Dados do Inversor	62
Tabela 8 - Dados do Módulo Fotovoltaico	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BMS	Battery Management System
EE	Energia Específica
VE	Veículos Elétricos
ESF	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
NBR	Norma Brasileira
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
CP	Plugue para Comunicação
PP	Plugues para Proteção
WLAN	Rede local sem fio
CCS	Sistema de Carregamento Combinado
Copel	Companhia Paranaense de Energia
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
NTC	Normas Técnicas da Copel
ONS	Operador Nacional de Sistema
RN	Regra Normativa
CPF	Cadastro de Pessoas Físicas
EA	Estação de Abastecimento
km	Quilômetros
kW	Quilowatt
h	Hora
GWh	Giga watt hora
A	Ampére
V	Volts
Wh	Watts hora
Wh/kg	Watts hora por quilograma
SF	Sistema Fotovoltaico
FC	Fluxo de Caixa
VPL	Valor Presente Líquido

TIR

Taxa Interna de Retorno

LISTA DE SÍMBOLOS

Lead Acid	Chumbo ácido
Ni-Cd	Níquel-cádmio
Ni-MH	Níquel metal hidreto
Li-ion	Lítio-ión
Lead Acid	Chumbo ácido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO GERAL	15
2.1	Objetivos Específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	Estudo da Arte	16
3.2	Veículo Elétrico	19
3.2.1	Receptores de Carga (Plugues e Conectores)	19
<u>3.2.1.1</u>	<u>Tipo 1 (SAE J1772)</u>	<u>20</u>
<u>3.2.1.2</u>	<u>Tipo 2 (IEC 62196)</u>	<u>21</u>
<u>3.2.1.3</u>	<u>Plugue GB/T 20234</u>	<u>21</u>
<u>3.2.1.4</u>	<u>Plugue CHAdeMO</u>	<u>22</u>
<u>3.2.1.5</u>	<u>Plugue Tesla</u>	<u>23</u>
3.2.2	Baterias	24
3.3	Microgeração e Minigeração	26
3.3.1	Energia Solar Fotovoltaica	27
4	MATERIAIS	30
4.1	Tipo de Pesquisa e Material em Estudo	30
4.2	Clima de Medianeira Paraná	31
4.3	Dimensionamento da EA	32
4.4	Estrutura da EA	33
4.5	Demanda da EA	34
4.6	Viabilidade Econômica	35
4.6.1	Valor Presente Líquido (VPL)	35
4.6.2	Taxa Interna de Retorno (TIR) e Fluxo de Caixa (FC)	36
4.6.3	Payback	36
5	METODOLOGIA	37
5.1	Introdução da Metodologia	37
5.2	Cálculo da Demanda	38
5.3	Validação do Inversor Fotovoltaico	40
5.4	Dimensionamento da Estrutura	42
5.5	Cálculo de Viabilidade Econômica	42
6	RESULTADOS	44

6.1	Desenvolvimento do Cálculo da Demanda	44
6.2	Escolha do Inversor e Desenvolvimento da Validação	46
6.3	Dimensionamento da EA	48
6.4	Desenvolvimento do Cálculo de Viabilidade Econômica	49
6.4.1	Cenário 1	51
6.4.2	Cenário 2	53
7	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	58
	ANEXO A - Datasheet do inversor (MOD 15KTL3-X)	61
	ANEXO B - Datasheet do Módulo (WPV 500 HMM0)	63

1 INTRODUÇÃO

Os veículos mais conhecidos e utilizados atualmente, no Brasil, são os que utilizam da combustão interna para gerar energia (com a mistura do combustível, ar e faíscas são geradas explosões que fornecem energia para mover os pistões e este movimento faz com que ocorra a rotação das manivelas, que realizam o movimento circular nas rodas) (NeoCharge, 2023). A geração dos gases causadores do efeito estufa vem aumentando consideravelmente e uma de suas influências é o veículo à combustão.

A inovação dos veículos à combustão para elétricos, fez com que a produção de gases dos veículos à combustão fosse reduzida, tornando a locomoção mais sustentável. O veículo elétrico possui bateria, que é responsável pela alimentação do motor, utilizando um inversor de corrente (a corrente que provém da bateria é contínua) para alternada, que é utilizada para acionar o motor, e assim, tracionar as rodas (NeoCharge, 2023). Portanto, estes veículos são movidos apenas com a eletricidade e não produzem gases causadores do efeito estufa.

Infelizmente, a geração de energia elétrica pode possuir grandes impactos no efeito estufa. Os gases produzidos durante a geração de energia podem ser cúmplices deste malefício, tornando assim o veículo elétrico ainda não totalmente sustentável durante sua vida útil, pois ao efetuar o carregamento da bateria poderá utilizar de uma fonte geradora que nem sempre será de uma fonte de energia verde, considerada uma forma de geração de energia que utiliza como fonte matéria-prima natural, proveniente da natureza e renovável, que se renova ao passar do tempo, sem causar grandes agressões a natureza local (NeoCharge, 2023).

No Brasil, em 2022, a geração de energia por meio de fontes renováveis obteve um valor de 78,1% contra 21,9% de fontes não-renováveis, grande parte destas fontes renováveis provém das usinas hidrelétricas (ANEEL, 2023). As usinas hidrelétricas possuem um impacto ambiental com a construção das barragens, sendo agressivo para a fauna e a flora local (Portal Solar, 2014).

Em maio de 2023, foi calculado que 4,6% da energia total produzida no Brasil é proveniente da energia fotovoltaica e está previsto um aumento para 8% até 2027 (ONS, 2023).

Centrando no estado do Paraná, no ano de 2021, foram produzidos um total de aproximadamente 69 590 GWh de energia elétrica considerando todas as fontes

de energias geradoras, sendo elas renováveis ou não-renováveis. Deste valor, tem-se uma produção de 597 GWh decorrente de fonte geradora fotovoltaica (EPE, 2022), representando 0,848% da energia total gerada no estado do Paraná.

Uma fonte de energia renovável é uma fonte que se renova ao longo dos dias e tem como principal matéria-prima a natureza, como por exemplo: vento, sol e água. Então ela pode ser definida como uma fonte inesgotável. Este tipo de energia pode ser produzida de forma que seja uma geração limpa ou alternativa, assim ela poderá, ou não, causar impactos à natureza durante sua geração. A Energia Solar Fotovoltaica (ESF) se enquadra na utilização deste tipo de fonte renovável e também considerada verde, o qual é baseada na utilização da irradiação solar como fonte de energia sustentável para a produção de energia elétrica da EA e não há agressão ao ambiente (Portal Solar, 2020).

No Brasil, há um grande índice de irradiação solar em toda a sua extensão, portanto a utilização da ESF é conveniente para tornar o país mais sustentável em relação à energia elétrica (Global Solar Atlas, 2024).

Nos últimos anos, os veículos elétricos (VE) se popularizaram e se tornaram foco de pesquisas por todo o mundo. As baterias dos veículos elétricos funcionam como principal armazenador de energia que é usada na tração das rodas (NeoChage, 2023).

Durante a vida útil das baterias de íons de lítio, utilizadas pelos veículos, há a produção de gases e poluentes, mas quando comparado a um veículo com motor a combustão, esta produção é baixa. Mesmo que haja impactos ambientais em seu carregamento, com a utilização de uma fonte geradora de energia não sustentável, não será de tanta agressividade quanto um veículo a combustão (NeoCharge, 2021).

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste Trabalho de Conclusão de Curso é dimensionar uma Estação de Abastecimento para o carregamento de veículos elétricos, utilizando como fonte de energia uma microgeração de ESF.

2.1 Objetivos Específicos

- Definir a potência adequada para uma Estação de Abastecimento com um carregador à disposição.
- Dimensionar um sistema de microgeração de energia fotovoltaica para suprir a Estação de Abastecimento. Variáveis que serão determinadas para a microgeração: número de veículos que serão abastecidos, demanda do sistema exigida para o projeto, HSP (Hora Solar Pleno) da região, número de módulos fotovoltaicos e demanda gerada pelos módulos fotovoltaicos.
- Dimensionar a Estação de Abastecimento. Variáveis que serão determinadas para cada Estação: inversor solar, plugues e a área de sua estrutura.
- Analisar os resultados de viabilidade econômica do projeto. Variáveis de atendimento: gasto total com os equipamentos do sistema fotovoltaico e da EA, Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Payback.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção foram abordadas as metodologias de outros trabalhos utilizados como referência, apresentando seus resultados e diferenciações deste projeto, que foram citados na seção 3.1 “Estudo da Arte”. Na seção 3.2 “Veículos Elétricos”, foram explicados conceitos sobre: veículos elétricos, os plugues utilizados e a bateria mais comum entre os veículos elétricos. Na seção 3.3 “Microgeração e Minigeração” foi abordada a geração de ESF on grid, juntamente com as normas para a minigeração e microgeração no estado do Paraná.

3.1 Estudo da Arte

No estudo da arte foram apresentados alguns resumos de trabalhos com temas relacionados a geração de ESF e EA.

No trabalho de Levy Marfim (2019) foi apresentado o dimensionamento de instalação de estações de carregamento para veículos elétricos em Fortaleza, obtendo como fonte de produção de energia, a ESF off grid. O autor realizou o levantamento de dez possíveis postos de combustíveis de sua região para a tentativa de implementação de seu projeto de EA para veículos elétricos utilizando como fonte a geração fotovoltaica.

Em sua metodologia de dimensionamento, por meio da razão da área total pela área construída de cada posto encontra-se o índice de aproveitamento de espaço. Utilizando este índice, determinou-se a média da área construída dos dez postos. Com a média da área, calculou-se o número de módulos que poderiam ser utilizados na área dos postos, com o cálculo da razão da área efetiva pela área de um módulo. Foi também realizado o cálculo de potência instalada pelo produto do número dos módulos encontrados e potência de cada um dos dez postos selecionados. Desta forma, foi realizado o cálculo do fator capacitivo do sistema ao encontrar a razão da energia gerada para um período de tempo em relação à quantidade máxima de potência instalada. Ao final, ele determinou o número de veículos que poderiam ser abastecidos encontrando a razão do período de geração e o tempo de abastecimento de cada veículo; e a demanda que destes veículos seria o produto da potência exigida por um veículo pelo número diário de veículos.

Em sua conclusão, ele determinou que apenas 40% dos postos estudados seriam viáveis para a implementação de seu projeto, pois apenas quatro dos dez postos estudados possuíam a área necessária para a implementação de seu projeto.

A metodologia utilizada por Levy se difere deste projeto, no cálculo da demanda do sistema, que foi utilizado a área e o número de módulos para encontrar uma potência de geração. Após encontrar o número de módulos, foi calculado o número de veículos que poderiam ser carregados pela demanda encontrada.

No trabalho do autor Lucas (2019), foram definidos três tipos de estações de carregamento com diferentes potências instaladas: EC1 com potência de 50 kWp, EC2 com 62,5 kWp e EC3 com 75 kWp. Assim definidas as potências, foram calculadas as energias geradas por dia para cada uma das estações realizando o produto da potência instalada, o intervalo de geração e o fator capacitivo. O fator capacitivo era a razão entre a energia gerada pelo produto do período de tempo de captação e a quantidade máxima de geração do sistema. Lucas adotou como base para seu trabalho o valor de 40 kWh para a capacidade de carregamento da bateria de um veículo.

Para o dimensionamento fotovoltaico, foram utilizadas as potências de cada Estação de Abastecimento, assim denominando a quantidade de módulos solares usando a razão da potência instalada pela potência do módulo selecionado pelo autor. Com os resultados encontrados, foi realizado o cálculo da energia gerada por dia.

Para o cálculo do controlador foi calculada a razão da potência instalada pelo produto da tensão da planta e corrente do controlador. Segundo as normativas da ANEEL apenas a Estação de Abastecimento 3 não estaria dentro dos quesitos de demanda de uma microgeração.

Lucas identifica que seria viável transformar as rodovias no Ceará em eletrovias, pois há diversos destinos turísticos no estado e com isso o número de postos são maiores, assim para uma carga de 20% na bateria de um veículo, seria possível uma viagem de aproximadamente uma hora e meia, onde já seria encontrado uma nova Estação de Abastecimento antes da bateria se acabar.

A metodologia utilizada por Lucas se difere deste projeto, pois houve primeiro uma escolha da potência instalada das EC e posteriormente o cálculo da quantidade de energia gerada por dia para cada EC e calculou o número de módulos para suprir a demanda. Como seu projeto era um sistema off-grid, ele realizou o cálculo do controlador.

No trabalho dos autores Rodrigo e Henrique (2019), foi definido uma EA autônoma que se instalaria na Rodovia Presidente Dutra para implementação do projeto. Para o dimensionamento, foram definidas três regiões pelas quais a rodovia atravessa, desta forma, a pesquisa em sites especializados para medir a irradiação anual das três regiões foi seu primeiro passo. As medidas de irradiação foram utilizadas para os cálculos do valor mínimo mensal de irradiação e a inclinação da região. Durante o desenvolvimento do projeto, a energia consumida que seria consumida pela EA foi baseada em uma média de gasto de postos de abastecimento de sua região.

Determinando a potência, que necessita ser gerada pelos painéis, foi calculada a razão do valor de energia diário, definido pelo autor, pelo menor índice de irradiação. E o real valor de potência gerada pelos painéis foi a razão da potência gerada pela eficiência do painel. Para identificar o número de módulos a serem utilizados no projeto, foi dividido o real valor de potência pela potência captada por um único módulo. Foi denominada a área ocupada ao multiplicar a área de ocupação de um módulo pela quantidade total de módulos.

Para o cálculo das baterias foi calculado o valor de corrente pela razão de captação de potência dos módulos pelo produto entre a quantidade de módulos e a tensão do módulo. E a capacidade das baterias foi definida ao ter o produto da corrente entregue pelos módulos e o tempo de irradiação diário nos locais pré definidos anteriormente. Ele selecionou baterias de descarga profunda e calculou a quantidade de de baterias realizando a razão da capacidade de corrente encontrada pela capacidade de uma bateria real que utilizaria 70% de sua capacidade.

Para a análise econômica do projeto, ele utilizou como base o modelo de veículo: SUV - V5, considerando que o posto atenderia apenas este modelo. A potência de recarga foi determinada pelo produto da corrente e a tensão fornecidas pela estação. Assim, ele calcula também o valor do gasto com o produto do valor do litro de gasolina pela quantidade de gasolina usada para percorrer a mesma distância que o veículo elétrico percorreria.

Assim ele pode concluir que economicamente, os custos de abastecimento de um veículo a combustão são superiores ao de um veículo elétrico. Concluindo que a economia será ainda maior se utilizado como fonte de carregamento para o veículo elétrico a energia fotovoltaica.

Diferente dos projetos de Levy, Lucas, Rodrigo e Henrique, este projeto de pesquisa define o indicador de aproveitamento solar e ângulo de inclinação dos módulos solares, o cálculo da potência requerida do sistema, para assim encontrar um número de veículos que possam abastecer na EA. Foram utilizados cálculos para validação do inversor que atendessem os requisitos de temperatura da localização do projeto, e por fim foi feito o dimensionamento da área total do projeto. E uma outra diferença é que os projetos resumidos foram todos sistemas off grid, e neste projeto foi elaborado um sistema on-grid.

3.2 Veículos Elétricos

Os principais componentes elétricos de um veículo elétrico incluem: o motor elétrico, responsável por converter energia elétrica em energia mecânica, garantindo o funcionamento de todos os sistemas do veículo; as baterias recarregáveis, que armazenam a energia necessária para alimentar a tração das rodas e permitir a locomoção; o receptáculo de carregamento, que facilita a conexão com fontes externas de energia para recarga; o controlador eletrônico, que gerencia e regula a distribuição de energia durante o carregamento e o funcionamento do veículo; e, por fim, os sistemas de transmissão, que transferem a potência gerada pelo motor para as rodas, assegurando o movimento eficiente do veículo. (Zapay, 2023).

3.2.1 Receptores de Carga (Plugues e Conectores)

No Brasil ainda não foi definido um tipo padrão geral para o plugue dos VE, portanto seria possível encontrar em estações de abastecimento de VE com os seguintes tipos de conectores: Tipo 1 (SAE J1772), Tipo 2 (IEC62196), GB/T, CHAdeMO, CCS e Tesla.

A variedade de padrões de plugues para carregamento de VE pode representar um desafio, uma vez que a conexão da EA precisa ser compatível com a entrada de carga do veículo. Na ausência dessa compatibilidade, torna-se necessário o uso de um adaptador, que permite a conexão entre o cabo da EA e o receptor de carga do VE, garantindo assim a viabilidade do processo de carregamento (NeoCharge, 2023).

Os modelos atuais de VE's foram projetados para serem compatíveis com carregamento básico em tomadas residenciais de 110V ou 220V, suportando correntes superiores a 16A, que é o padrão comum em instalações domésticas. Isso permite que possam ser conectados diretamente a tomadas de três pinos, oferecendo uma solução prática e acessível para recarga em ambientes residenciais (Tupinamba Energia, 2022).

A seguir foram apresentados os plugues tipo 1 (SAE J1772), tipo 2 (IEC 62196, Plugue GB/T 20234, Plugue CHAdeMO e Plugue Tesla, que são os mais comuns no Brasil.

3.2.1.1 Tipo 1 (SAE J1772)

Este conector originalmente foi desenvolvido para carregamento em rede monofásica com corrente alternada (CA), isto permite uma potência de até 7,4kW (230V – 32A). É muito presente nas regiões asiáticas e norte- americanas, ele apresenta uma carga lenta de 3,7kW e rápida de 7,4kW. Possui pinos de: fase, neutro e terra para o carregamento e mais dois plugues para comunicação (CP) e proteção (PP) (NeoCharge, 2023).

Com o intuito de otimizar o tempo de recarga, foram adicionados dois pinos a esse plugue, assim o sistema de carregamento combinado CCS, possibilitando a recarga em corrente contínua (CC), unificando os padrões de carga CA e CC. Com essa adaptação do plugue do Tipo 1, passa a se chamar SAE J1772 DC CCS1 e suporta cargas de até 350kW, (NeoCharge, 2023), os dois casos podem ser analisados na Figura 1.



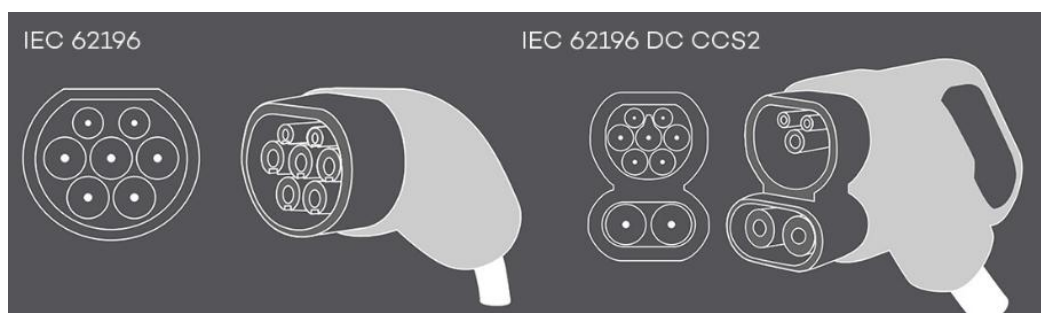
Fonte: NeoCharge (2023)

3.2.1.2 Tipo 2 (IEC 62196)

O projeto elétrico para sistemas redes trifásicas de corrente alternada, suporta recarga até 22kW (400V – 32A). Seus pinos são parecidos com o plugue Tipo 1, mas há uma adição de 2 pinos correspondentes à fase extra para um carregamento trifásico. Graças à fase extras, é possível um carregamento mais otimizado se comparado ao plugue do Tipo 1 e sua carga lenta é de até 3.7kW (NeoCharge, 2023).

As estações de abastecimento de veículos elétricos que possuem esse tipo de conector, foram conectadas em rede monofásica, portanto a potência do carregamento foi reduzida para uma carga mais lenta. E também, como no modelo de plugue Tipo 1, foi possível encontrar os dois pinos de CC, aumentando a potência suportando cargas de até 350kW. Essa adição de pinos torna o Conector Tipo 2 um CCS Tipo2 (CCS2), como mostrado na Figura 2, possibilitando uma recarga em CC (NeoCharge, 2023).

Figura 2 – Plugue Tipo 2



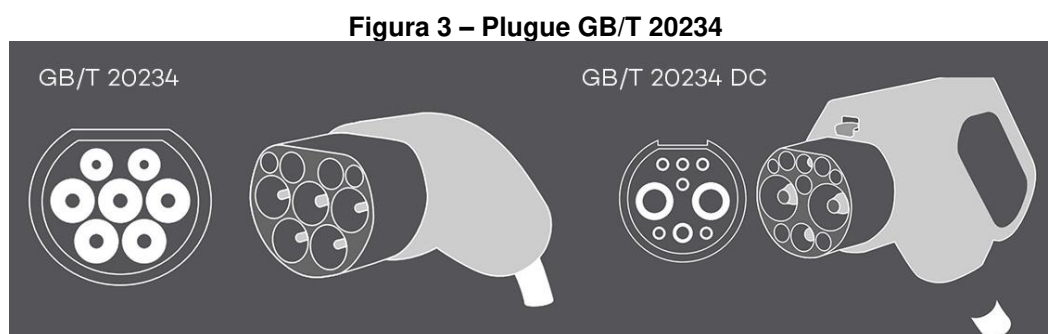
Fonte: NeoCharge (2023)

3.2.1.3 Plugue GB/T 20234

Este plugue foi projetado para atender em redes trifásicas e cargas em corrente alternada (CA), com potência de até 22kW (400V – 32A), ele permitiu o carregamento da bateria auxiliar de baixa e alta tensão para tração do VE. Possui formato semelhante ao plugue Tipo 2, mas não sendo compatível fisicamente ao plugue Tipo 2, portanto não foi possível realizar o carregamento de veículos que utilizam o plugue Tipo 2 no plugue GB/T 20234. O plugue GB/t 20234 possui dois padrões de conectores macho, um para realizar o carregamento em CA e outro para

carregamento em CC (GB/T 20234 DC), enquanto o conector fêmea pertence ao veículo. As recargas feitas em CC são cargas rápidas e suportam até 250kW (NeoCharge, 2023).

Em seu design, para as cargas em CC há 5 pinos de alimentação, entre eles há 2 para a alimentação da bateria principal em CC e 2 para a bateria auxiliar, que realiza o carregamento em baixa tensão, e o pino restante é o aterramento. E este mesmo plugue apresenta 4 contatos de sinal, 2 de controle de proximidade e 2 de comunicação (Tupinamba, 2022). Os dois tipos deste plugue foram apresentados na Figura 3.



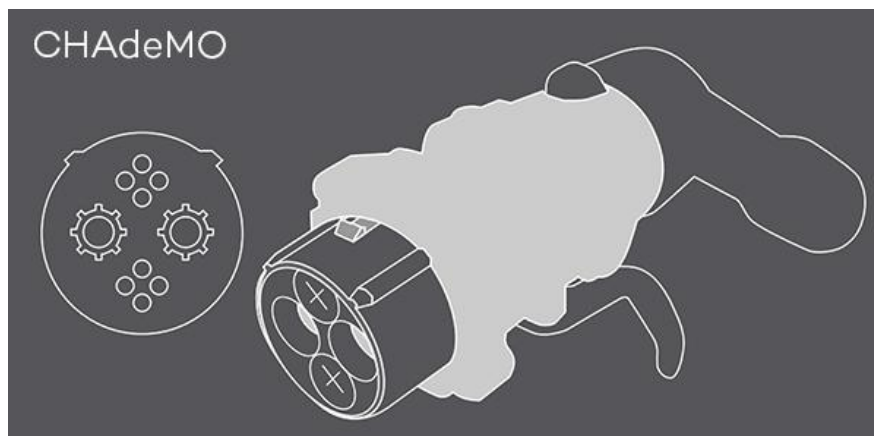
Fonte: NeoCharge (2023)

3.2.1.4 Plugue CHAdeMO

O nome completo do plugue CHAdeMO é “Chama deMove”, sua característica de carregamento rápido em CC e em sua especificação mostra que suporta até 400kW (1000V – 400A) (NeoCharge, 2023).

No padrão de pinos, há 3 pinos para alimentação e 6 contatos de sinal para comunicação. E foi o único conector com protocolo de carregamento padronizado, possibilitando o V2X (permite comunicação via WLAN com outros veículos, infraestrutura, rede elétrica, dispositivos e rede de comunicação) (Tupinamba, 2022), podendo ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 – Plugue CHAdeMO



Fonte: NeoCharge (2023)

3.2.1.5 Plugue Tesla

Este plugue possui padrão próprio, sendo projetado para CC e CA utilizando do mesmo conector. Alguns modelos de veículo Tesla utilizam o plugue Tipo 2 para o carregamento CC ultrarrápido. E ainda oferece a possibilidade de utilizar um adaptador para que o plugue seja usado em estações de abastecimento de CHAdeMO e CCS (NeoCharge, 2023).

O plugue Tesla possui 2 pinos para sinal e 3 para alimentação permitindo recargas de 150 kW. Na figura 5, foi possível observar que o veículo possui capacidade de recarga para o plugue Tesla e o plugue Tipo 2. E a Figura 6, observa-se o plugue Tesla.

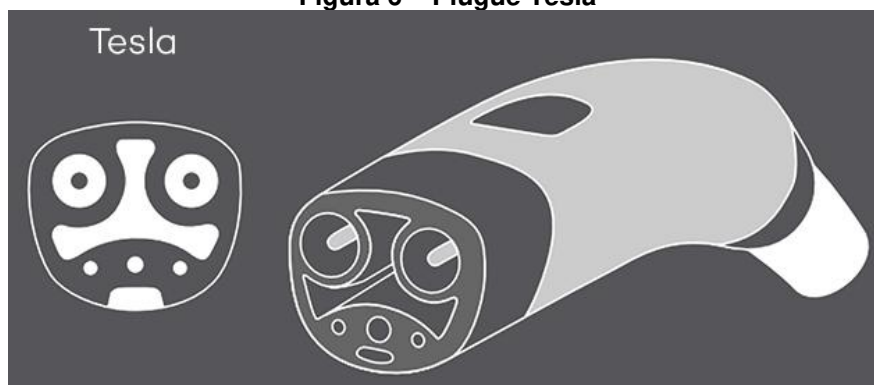
Figura 5 – Veículo Tesla



Fonte: NeoCharge (2023)

E a Figura 6, observa-se o plugue Tesla.

Figura 6 – Plugue Tesla



Fonte: NeoCharge (2023)

3.2.2 Baterias

Uma bateria consiste em um conjunto de células unitárias interligadas, tanto em série quanto em paralelo, que possuem a capacidade de converter energia química em energia elétrica e vice-versa. Esse processo permite o fornecimento de tensão e corrente adequadas para o funcionamento do VE. O arranjo das baterias foi projetado para atender a demandas específicas de carga, sendo energizado por um sistema de carregamento que, em sua estrutura, possui um banco de células. Essa configuração garante eficiência e desempenho no armazenamento e fornecimento de energia (Barbosa, 2019). A Figura 7 mostra um Banco de Bateria de um VE, com seus componentes.

Figura 7 – Banco de Bateria de Veículo Elétrico



Fonte: NeoCharge (2023)

As baterias podem ser classificadas em dois grupos: as primárias (que são utilizadas até o fim de sua carga e depois descartadas) e as secundárias (reutilizáveis)

(Freitas, 2012). Elas possuem o armazenamento de energia específica (EE), também chamado de Densidade Energética, que é a quantidade de energia que uma bateria pode ter em relação ao seu peso, e sua unidade de medida é em Watt-hora por quilograma (Wh/kg). Portanto quanto maior o seu peso maior será a autonomia desta bateria e a energia da bateria possui unidade de medida em Watt-hora(Wh) (STA).

Na Tabela 1, são mostradas as características específicas de cada tipo de bateria utilizada para VE, onde é possível observar a densidade energética que é a capacidade de armazenar energia, a densidade de potência e a eficiência de carga e descarga, que mostram a autonomia que cada tipo de bateria pode fornecer e sua eficiência. O ciclo de vida é a vida útil da bateria, pois mesmo sendo o tipo de bateria do grupo secundário tornando o VE mais sustentável, sua vida útil não é infinita. E também mostra a taxa de descarga própria, tolerância à sobrecarga, manutenção e tempo de carga rápida.

Tabela 1 – Tabela de Comparação dos Tipos de Bateria

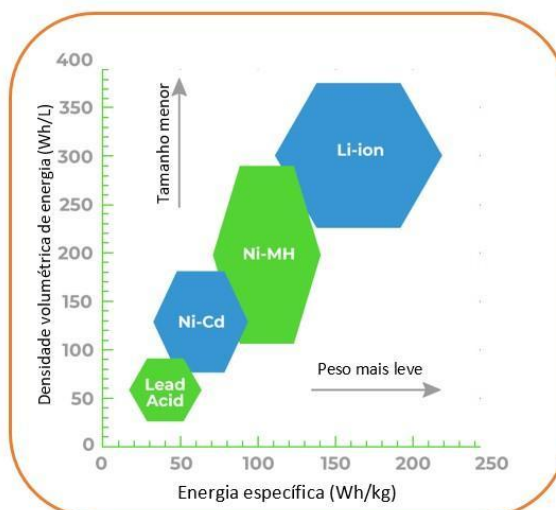
	Íon de Lítio	Níquel Hidreto Metálico NIMH	Chumbo-ácido	Supercapacitor
Densidade energética (Wh / kg)	100 - 300	40 - 120	30 - 40	1 - 10
Densidade de potência (W / kg)	1.000 - 5.000	300 - 1.000	180	1.000 - 10.000
Ciclo de vida	500 - 15.000	500 - 1.000	500 - 800	Ilimitado
Eficiência de carga e descarga	95 - 99%	65 - 80%	70 - 92%	98%
Taxa de descarga própria	1 - 5% / mês	~30% / mês	3 - 20% / mês	-
Tolerância a sobrecarga	Baixa	Baixa	Alta	-
Manutenção	Sem necessidade	60 - 90 dias	3 - 6 meses	Sem necessidade
Tempo de carga rápida	1 hora ou menos	2 - 4 horas	8 - 16 horas	Segundos

Fonte: NeoCharge (2023)

Para se considerar uma bateria adequada para um VE deve-se considerar a densidade energética (garantir autonomia), e a capacidade de descarga (adequada ao VE), ser segura e viável, com ciclo de vida alto e baixa ou sem manutenção, garantindo ser o máximo sustentável e possuir uma longa vida útil (Freitas, 2012).

O Gráfico 1, mostra a comparação dos principais valores de EE para as baterias de chumbo ácido (Lead Acid), níquel-cádmio (Ni-Cd), níquel metal hidreto (Ni-MH) e lítio-íon (Li-ion) (STA), é possível notar a viabilidade do Li-íon por possuir menor tamanho e peso mais leve com uma EE alta.

Gráfico 1 – Principais valores para EE para baterias



Fonte: Sistemas e Tecnologia Aplicada (2024)

Este projeto tem como foco um único tipo de bateria a de Li-íon, como demonstrado pelo Gráfico 1 e Tabela 1, é a mais viável, mostrando sua alta eficiência, compacta e sendo um tipo de bateria leve e pequeno, com uma alta densidade volumétrica de energia e EE, facilitando o desempenho do veículo. Sua capacidade de fornecer energia para o veículo gera energia suficiente para percorrer longas distâncias (NeoCharge, 2023).

Uma das grandes desvantagens é a sua alta capacidade de riscos de incêndio e/ou explosões (o lítio queima ao ser exposto ao ar), por isso as baterias de lítio-íon possuem (junto às suas células) um dispositivo *Battery Management System* (BMS). O BMS é um sistema de otimização e maximização da vida útil da bateria, pois interrompe o circuito de recarga quando a bateria já está carregada e quando está em tensão mínima (Freitas, 2012) e oferece segurança de operação, monitorando as tensões, temperatura, corrente das células e o banco de bateria, que estão sinalizados na Figura 1 (NeoCharge, 2023).

3.3 Microgeração e Minigeração

Em 2014, no Paraná, foi firmada as condições de instalação de mini e microgeração ao sistema elétrico de distribuição da Companhia Paranaense de Energia (Copel) na confirmação das Normas Técnicas da Copel – NTC 905200 “Acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema da Copel com compensação de energia”. Nesta norma foram estabelecidos os padrões normativos que padronizam

os procedimentos de sistemas de mini e microgeração no estado do Paraná, com as exigências técnicas e de segurança recomendadas ao sistema planejado para evitar riscos de acidentes, conforme as prescrições normativas nos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) e nas resoluções normativas definidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (Copel, 2023).

Em um sistema de microgeração distribuída há geração de energia elétrica, com um limite máximo pré-definido pela ANEEL. Desta forma, a potência instalada com uma corrente em CA pode possuir o valor igual a 75 kW ou inferior. Utilizando de uma geração conjunta qualificada ou de fontes renováveis que será conectada à rede de distribuição da concessionária local, por meio de instalações de uma unidade consumidora, conforme prescrito na Regra Normativa (RN) nº 1.031/2022. No caso deste projeto será ligado uma unidade consumidora com geração de fonte renovável, que é o sistema de ESF à concessionária local, COPEL (ANEEL, 2023).

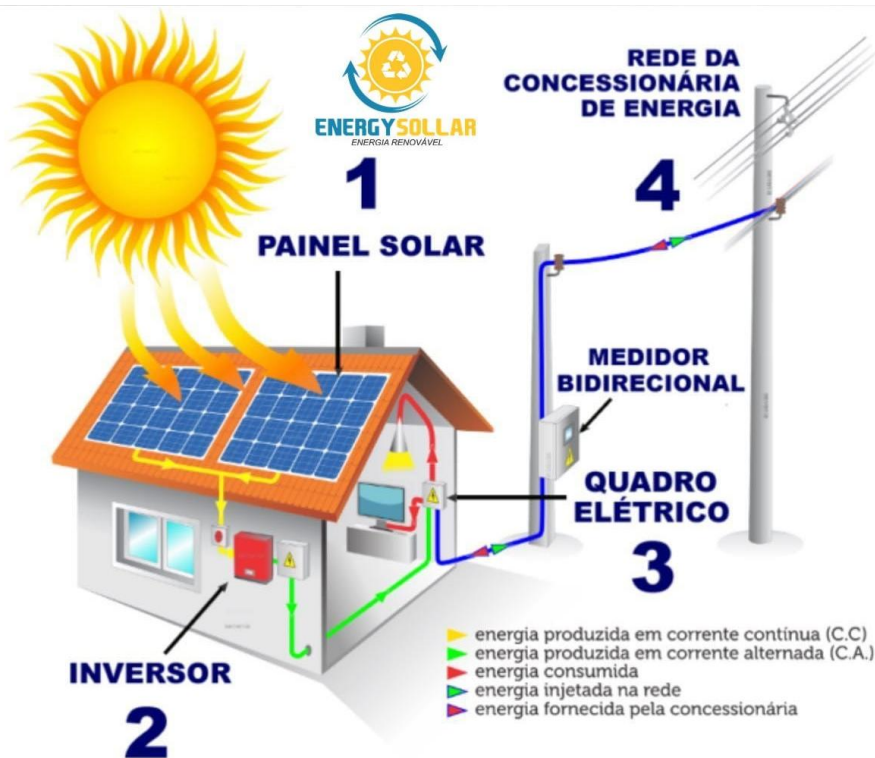
Já em uma minigeração, utilizando das mesmas características e RN de geração de microgeração, com a diferença na potência que passa a ser maior que 75kW e menor que: 5MW para centrais geradoras de fonte despachável ou 3MW para as demais fontes (ANEEL, 2023). Fontes não despacháveis englobam fontes não controladas pelo Operador Nacional de Sistema (ONS) (IEMA, 2016).

3.3.1 Energia Solar Fotovoltaica

Nesta seção, foi apresentada uma abordagem teórica sobre o sistema fotovoltaico (SF), detalhando seus princípios e funcionamento. Para a metodologia, foram apresentadas fórmulas para determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários, considerando parâmetros como irradiação solar e demanda.

Na Figura 8, foi mostrado o diagrama esquemático de um SF on-grid, onde o SF on-grid não envolve a necessidade de um banco de baterias, como em um sistema off grid, e sim o ligamento direto na rede da concessionária de energia local.

Figura 8 – Sistema Fotovoltaico on-grid



Fonte: Borba - Energia Renovável (2022)

A energia produzida no sistema é utilizada pelo imóvel e a “sobra” é injetada na rede da concessionária. Esta “sobra” é cumulativa e será injetada à rede da concessionária local se tornando crédito, que poderá ser utilizado em futuras faturas, as quais podem ocorrer do consumo mensal ser maior do que a produção de energia mensal. Esses créditos poderão ser utilizados ao longo de 60 meses, equivalentes a 5 anos, e os créditos também podem ser transferidos para outro imóvel desde que estejam cadastrados no mesmo CPF (Copel, 2023).

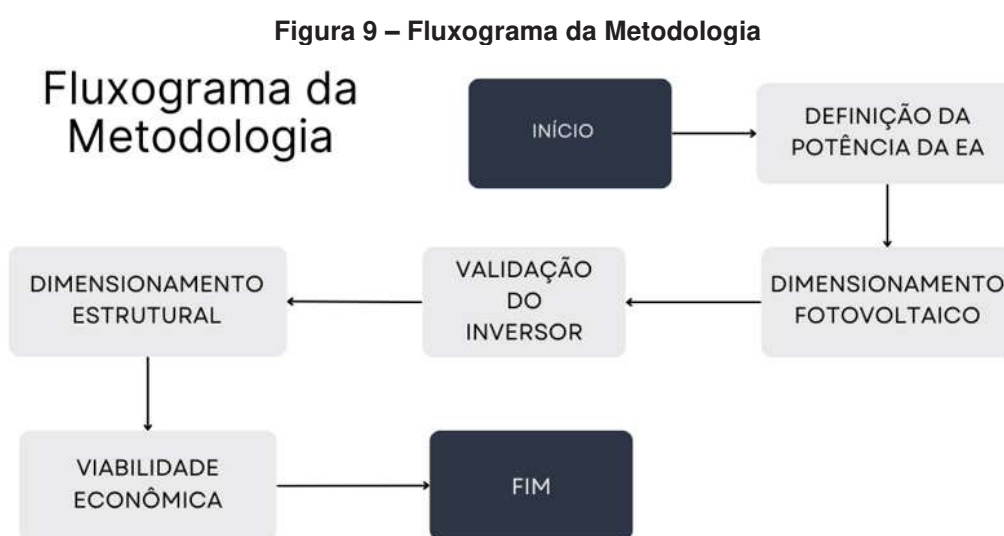
No painel solar é feita a captação da energia solar por meio dos módulos, dentro dos módulos há células de silício que captam os raios solares para convertê-los em energia elétrica. Os módulos solares podem ser ligados em série ou em paralelo (a forma com que será ligado dependerá da necessidade do sistema gerador). O conjunto destes painéis é chamado de gerador fotovoltaico, soma do número de painéis multiplicada pela potência de geração destas resulta na potência gerada (Yan, 2022).

De forma resumida, nas células dos módulos há um elemento químico semicondutor chamado silício, este possui quatro elétrons em sua camada de valência que formam ligações, estas ligações impedem o deslocamento de elétrons e isto

dificulta a condução da carga. Mas ao ser incidido a luz solar, os elétrons ficam “livres” e isso possibilita a condução de corrente elétrica (Dias, 2020).

4 MATERIAIS

A Figura 9 apresenta as etapas que foram realizadas durante o projeto para facilitar a validação de todos os objetivos especificados. As etapas apresentadas não possuem a descrição do passo a passo dos procedimentos, mas relatam as formas de desenvolvimento do Projeto.



Fonte: Autoria Própria (2025)

4.1 Tipo de Pesquisa e Material em Estudo

Este artigo foi elaborado como um projeto de pesquisa com foco em cálculos e dimensionamento, propondo a elaboração de uma EA, para VE, alimentada por uma fonte autossustentável, sustentável e limpa: uma usina de microgeração fotovoltaica. Para o desenvolvimento do estudo, os dados utilizados no dimensionamento da usina foram coletados na região da cidade de Medianeira, região oeste do Paraná, com base nas condições climáticas da região.

Foram realizadas pesquisas sobre o clima da região, buscando informações sobre as variáveis de temperatura, índice de radiação solar por metro quadrado (HSP, hora solar pleno) e ventos, assim como o clima da região (época com alto índice de chuva) para assim possibilitar os cálculos de potência média gerada pela usina de microgeração fotovoltaica. Com o conhecimento sobre a capacidade de geração

fotovoltaica da região, foram realizadas pesquisas para medir a demanda de potência do abastecimento dos veículos elétricos mais populares no Brasil, a média de tempo de carregamento e a potência que cada um exige. Possuindo essas informações, foi possível escolher a Estação de Abastecimento para que ela atendesse o maior número de veículos elétricos ao dia. Assim passa-se para os cálculos, baseados no tempo de recarga médio de cada estação, da quantidade de veículos que podem ser carregados.

Com base no conhecimento da demanda de potência e da quantidade de veículos atendidos, foi calculado o levantamento da quantidade de módulos necessários para suprir a demanda do sistema e a potência total requerida. A partir do dimensionamento do número de módulos para a EA, tornou-se viável calcular o dimensionamento de área para a estação.

Por fim, descobrir se uma usina de microgeração era o suficiente para alimentar a estação, mantendo-se dentro das normas exigidas e citadas na seção 3.2 “Veículos Elétricos”.

4.2 Clima de Medianeira Paraná

O município de Medianeira tem latitude de 25°17'S e está situado a aproximadamente 60 quilômetros de Foz do Iguaçu e 578 quilômetros da capital do Paraná, Curitiba. A cidade se encontra na região Oeste do estado e seu clima é caracterizado como subtropical úmido e sua temperatura anual tem uma média de 13°C. O período mais quente se encontra em dezembro com uma máxima média de 32,5°C e mais frio em julho com temperatura média inferior a 8°C (Climate-data.org, 2019).

A Tabela 2, foi retirada do site Global Solar Atlas, onde é possível encontrar valores de a taxa de irradiação da cidade de Medianeira, que é equivalente à 5,317 kWh/m² por dia, utilizando o ângulo de inclinação de 25°17' voltado para o norte, o ângulo foi definido com base na latitude da região estudada. Lembrando que essa taxa ocorre em uma condição ideal sem sombras e dia nublado.

Tabela 2 – Dados obtidos no site Global Solar Atlas

SITE INFO		
Map data		Per day ▾
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	4.255 kWh/kWp per day ▾
Direct normal irradiation	DNI	4.783 kWh/m ² per day ▾
Global horizontal irradiation	GHI	4.940 kWh/m ² per day ▾
Diffuse horizontal irradiation	DIF	1.858 kWh/m ² per day ▾
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	5.317 kWh/m ² per day ▾
Optimum tilt of PV modules	OPTA	24 / 0 °
Air temperature	TEMP	21.6 °C ▾
Terrain elevation	ELE	N/A

Fonte: Global Solar Atlas (2024)

4.3 Dimensionamento da EA

Nesta seção foi possível visualizar duas grandes áreas dimensionadas para a EA sendo elas: uma do total para o projeto e outra de ocupação da construção para que o projeto possa ser construído. A área de construção é dimensionada para a construção da cobertura metálica da EA para ser realizada a instalação dos módulos solares e da Estação de Abastecimento como mostrada no exemplo da Figura 10.

Figura 10 – Posto de Abastecimento de VE utilizando Painel Fotovoltaico



Fonte: EPBR (2023)

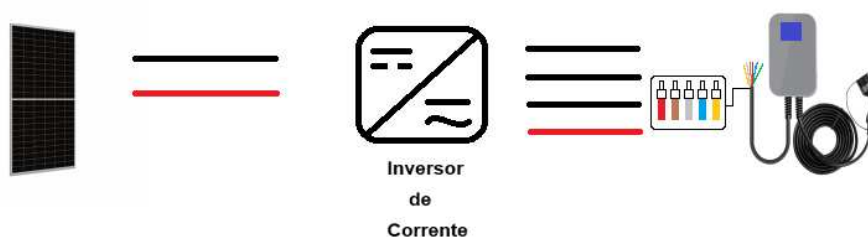
A área total é a área utilizada para construção e seu arredor, para um bom aproveitamento de espaço foi essencial que a área total não fosse muito maior que a área de construção, apenas o espaço para manobras de veículos e estacionamento de espera.

4.4 Estrutura da EA

A EA para veículos elétricos possui duas fases: uma onde há a captação de energia por meio dos módulos com corrente contínua e a outra será o resultado da CC após passar pelo inversor tornando-a alternada e alimentará a EA (Menezes, 2019). Como o sistema é on-grid não havendo necessidade de um banco de capacitor para acúmulo de energia.

Na Figura 11, observa-se a estrutura de uma EA onde há dois traços (Vermelho e preto) representa a ligação monofásica até o inversor, e os quatro traços representam a ligação de CA trifásica, juntamente com o condutor neutro (pino azul) e a proteção (pino amarelo).

Figura 11 – Estrutura da EA



Fonte: Próprio autor (2024)

Na Tabela 3, pode-se observar os tipos de conectores relacionados a quantidade de fases e a potência que será fornecida em cada situação:

Tabela 3 – Relação dos cabos com a Potência Limite

	Número de Fases	Potência de Carga			
		3,7 kW	7,4 kW	11 kW	22 kW
	1	✓	✓		
	1	✓	✓		
	3	✓	✓	✓	✓

Fonte: NeoCharge (2023)

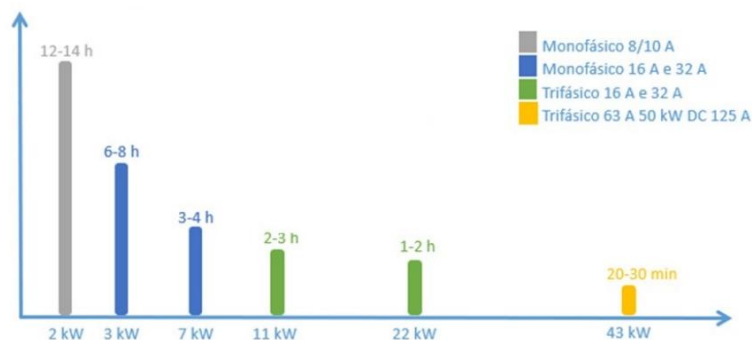
Os módulos foram distribuídos na superfície da cobertura, facilitando o acesso direto ao sol sem interrupção de sombras.

Para encontrar a área de construção, primeiro foi encontrado o número de módulos para atender a demanda requerida pelo sistema, considerando que o posto ficará aberto durante 24 horas diárias, em cinco dias da semana durante o período anual, totalizando 20 dias no mês.

4.5 Demanda da EA

Levando em consideração modelos populares no Brasil de VE's foi necessário uma capacidade média de 40 kWh e possuem uma autonomia de aproximadamente 300 km para uma recarga completa (Menezes, 2019). Considerando a potência instalada de 75 kW citada na seção 3.2 "Veículos Elétricos" mantendo as normas padrões da ANEEL. O tempo de carregamento foi mostrado no Gráfico 2 a seguir.

Gráfico 2 – Tempo relacionado a Potência de Carregamento



Fonte: NeoCharge (2023)

Com estas informações juntamente com os cálculos que foram obtidos nos resultados, foi possível determinar os carregadores e inversores mais apropriados para a estação.

4.6 Viabilidade Econômica

A análise de custos e retorno foram realizados com base em indicadores, calculados para avaliar a viabilidade econômica do projeto: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback. Esses parâmetros permitem determinar o investimento inicial, os ganhos ao longo do tempo e o período necessário para recuperar os recursos aplicados.

4.6.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é uma técnica econômica que é utilizada em análise de investimento para descobrir se o empreendimento a ser realizado possuirá uma perspectiva econômica viável, portanto são utilizados valores presentes hipotético das entradas e o valor de saídas de caixa ao longo de um determinado período. Assim o projeto vai estar enquadrado entre uma das três situações: VPL inferior a zero, onde o investimento não se torna viável; VPL igual a zero, o investimento é indiferente, pois o retorno é semelhante ao investido; e o VPL superior a zero, o qual o investimento se torna viável, pois haverá retorno (Warren, 2021).

O VPL foi utilizado para o cálculo do fluxo futuro de caixa, sendo uma empresa ou projeto. E para realizar o cálculo do VPL é definido a Taxa de Atratividade (TA), esta taxa é considerada como uma taxa de desconto anual, pois é considerado o fato

da taxa do valor do dinheiro presente ser menor que o valor da taxa do valor do dinheiro no futuro (Investopedia, 2024).

A TA utilizada no Brasil é denominada pelo Banco Central do Brasil por Taxa Selic, sendo ela uma taxa de juros utilizada para controle da inflação e para medir o rendimento financeiro de um investimento (InvestNews, 2024).

4.6.2 Taxa Interna de Retorno (TIR) e Fluxo de Caixa (FC)

O TIR é uma taxa de crescimento econômico que se espera de um projeto para estimar os lucros do investimento. O Fluxo de Caixa (FC) é calculado baseando-se no retorno anual do projeto em um período. Este período será o período em que a entrada de caixa cobrirá totalmente a saída de caixa, se tornando o mesmo cálculo do VPL, mas definindo o resultado como zero (Warren, 2021). Portanto, quanto maior for o valor do TIR, melhor será o investimento em relação ao retorno monetário (Investopedia, 2024).

O valor de FC no período 0 é a quantidade gasta para ser realizado o projeto, portanto é um valor negativo, a partir do período 1 são considerados os retornos anuais que o projeto gerou. O TIR também pode ser calculado utilizando o Excel, selecionando a saída e a entrada do FC (Warren, 2021).

4.6.3 Payback

O Payback é o período em que o investimento leva para recuperar seu gasto inicial, portanto, quanto menor o Payback, melhor será o investimento e ele possuirá maior atração de investidores. O Payback é um indicador de suma importância, pois os investidores procuram por projetos com menores riscos e incertezas (Investopedia, 2024).

5 METODOLOGIA

Nesta seção foi realizado o dimensionamento da Estação de Abastecimento de veículos elétricos utilizando como fonte de energia a geração fotovoltaica estudado para cidade de Medianeira no interior do Paraná. Desta forma, a metodologia foi dividida em quatro etapas de cálculos, onde na primeira delas está retratada na seção 5.2 “Cálculo da Demanda”, onde foi demonstrado analiticamente os requerimentos do projeto do sistema fotovoltaico e as demandas de potência.

Na seção 5.3 “Escolha do Inversor”, foram demonstradas as fórmulas utilizadas para a validação de um inversor para um projeto fotovoltaico.

Na seção 5.4 “Dimensionamento da Estrutura”, foi explicado a forma de organizar a área de ocupação dos módulos.

Na seção 5.5 “Cálculo da Viabilidade Econômica”, foram desenvolvidas as fórmulas de cálculos para definir o VPL, TIR e Payback.

5.1 Introdução da Metodologia

As redes de carregamento de veículos elétricos possuem uma demarcação e indicação que há um aparelho de recarga como apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Ilustração de demarcação para veículos elétricos



Fonte: eCars (2023)

A capacidade geradora do local em estudo, como mostrado na seção 4.1.1 “Clima de Medianeira Paraná”, foi registrada na Tabela 2, na seção 4.2 “Clima de Medianeira Paraná, e com estas informações foram encontrados os valores de HSP médio mensal na cidade.

A EA deste projeto foi projetada para ser um sistema fotovoltaico on-grid, desta forma a rede elétrica da EA estará conectada à concessionária local da COPEL. No desenvolvimento deste artigo, foi necessário seguir as normas de padronização para a geração fotovoltaica e instalação de carregadores de veículos elétricos citadas na seção 3.3 “Microgeração e Minigeração”.

A norma ABNT NBR 17019:2022 tem como objetivo estabelecer requisitos de instalação elétrica que forneçam energia elétrica aos veículos elétricos. Ela substituiu trechos da NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão que determina condições para a instalação de baixa tensão de até 1000V em tensão alternada e 15000V em tensão contínua no Brasil (Fase: energia renovável, 2023).

Com esta norma, as estações de recarga destinadas ao público devem sempre possuir fácil acesso e estar sinalizada adequadamente (Fase: energia renovável, 2023).

5.2 Cálculo da Demanda

Nesta seção, foi realizado o estudo para dimensionar a demanda energética necessária, para garantir a autossustentabilidade do sistema. O objetivo principal é eliminar custos relacionados ao carregamento dos veículos na EA, promovendo uma solução economicamente viável.

Foi determinada a média total de veículos que realizarão a recarga no período de um dia, foi utilizado como base o veículo elétrico Nissan Leaf, este veículo possui duas entradas de carregamento: uma de recarga rápida (recarga bidirecional V2X) e outra de recarga normal. A recarga completa é de aproximadamente 40 kWh e possui uma média de 6 horas para carregar utilizando um carregador de 7 kWh de capacidade na entrada de recarga rápida (Nissan, 2023), como mostrado na Figura 13:

Figura 13 – Sistema de Carregamento

Tipo de recarga	Porta de recarga	Conector de recarga	Plugue	Alimentação	Conteúdo
Recarga rápida		 Conector de recarga rápida		 Estação de recarga pública	Utilize estação de recarga pública em conformidade com o padrão CHAdeMO.

Fonte: Nissan (2023)

Este veículo possui bateria de Li-íon e sua recarga rápida é realizada em EA públicas utilizando o padrão de plugue CHAdeMO e realiza o carregamento em redes de 220-240V.

Com base nas especificações técnicas do veículo selecionado, foi possível determinar a demanda energética para a EA. Para chegar neste valor, foi analisada a potência requerida do sistema. O cálculo da potência requerida considerou o número de veículos que seriam abastecidos no período de um dia.

Com base nos dados, verificou-se que um veículo Nissan Leaf possui período de recarga completa de aproximadamente 6 horas. A partir desta informação, foi estimado o número de veículos a serem carregados no período de 24 horas, considerando um cenário contínuo da operação, sem intervalos de trocas de veículos. Este se torna o cenário de maior tempo de atividade da EA.

A partir do número de veículos que podem ser carregados diariamente, foi possível estimar a demanda energética para um dia de operação. Considerando que cada veículo requer 40 kWh para uma recarga completa. O resultado foi determinado na hipótese de que a EA esteja operando continuamente no período de 20 dias úteis e com um único carregador disponível.

Para estabelecer o consumo médio mensal e utilizado o posicionamento dos módulos para o aproveitamento, foi utilizada a Equação (1). A Equação permite determinar a potência fotovoltaica requerida para suprir a demanda da EA e foi apresentada no *Curso de Treinamento WEG (2024)*:

$$P_{FV} = \frac{\text{Consumo} * \text{Orientação}}{\text{Tir} * \text{dias} * \% \text{do aproveitamento sist}} \quad (1)$$

O consumo foi o consumo médio mensal da EA, a orientação seria 1 caso haja 100% do aproveitamento dos módulos, o Tir foi a taxa de irradiação encontrada no site Global Solar Atlas citado na Tabela 2, na seção 4.2 “Clima de Medianeira Paraná”, caso o aproveitamento dos módulos seja reduzido, o valor do Tir aumentará proporcionalmente à porcentagem perdida e a % do aproveitamento do sistema em relação à potência gerada.

Para definir a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para atender a demanda do sistema da EA foi considerada a potência do sistema, calculada na

Equação (2). O dimensionamento buscou garantir que a potência gerada fosse superior à potência requerida, assegurando que não houvesse déficit de energia, pois a falta energia precisaria ser compensada pela concessionária e deixaria de ser um sistema autossustentável. Além disso, evitou-se o excesso de geração de energia, que poderia resultar em sobras significativas, mantendo a eficiência do sistema.

A Equação (2) foi utilizada para calcular a potência total de geração para o projeto. Por meio de um processo de tentativa e erro, foi possível determinar o número de módulos capazes de atender à demanda de potência requerida do sistema. Portanto, a Equação (2) permite ajustar com precisão a capacidade de geração de energia, garantindo que o sistema seja dimensionado de forma a suprir as necessidades energéticas.

$$P_{Sist} = n^{\circ} \text{ de módulos} * Pot. \text{ módulo} \quad (2)$$

A Equação (3) foi utilizada para calcular a porcentagem de excedente de geração em relação a potência requerida do sistema. Permitindo identificar a margem de excedente energético e analisar o resultado.

$$\%_{pot} = \frac{P_{Sist}}{P_{req}} * 100\% \quad (3)$$

Com base nesses cálculos, foi possível determinar o número total de módulos fotovoltaicos necessários para a EA, a capacidade de geração energética requerida pelo sistema e a porcentagem de excedente produzido. Esses resultados permitiram a escolha de um inversor adequado para o sistema fotovoltaico e dimensionar a infraestrutura da EA.

5.3 Validação do Inversor Fotovoltaico

Para selecionar um inversor de corrente adequado ao projeto foi necessário considerar três informações: o tipo de conexão da rede, a tensão de saída nominal do projeto e a potência gerada pelos módulos fotovoltaicos, buscando garantir a compatibilidade do inversor ao sistema.

Lembrando que: o carregamento do inversor dado ao percentual entre a potência fotovoltaica dos módulos e a potência de saída do inversor não deve ser superior a 150% devido às razões técnicas de segurança e eficiência do inversor, podendo gerar sobrecarga ou ativação do sistema de proteção do inversor (WEG, 2024). Portanto, na Equação (4), foi verificada a relação das potências:

$$\frac{P_{sis}}{P_{out,inv}} * 100\% \leq 150\% \quad (4)$$

Para realizar a validação do inversor foi necessário desenvolver os cálculos de validação do inversor para um módulo: de tensão mínima de máxima potência de um módulo e tensão máxima de circuito aberto, para identificar o número mínimo e máximo de módulos por MPPT. De acordo com a *WEG Curso para Clientes (2024)*, a Equação (5) demonstrou a fórmula da tensão mínima de máxima potência de um módulo. Esse cálculo foi realizado para garantir que o módulo opere dentro dos parâmetros ideais impostos pelo inversor.

$$V_{min,m} = N_m * V_{max,p.mod} \{1 - [\beta_{mp} * (25 - T_{max})]\} \quad (5)$$

Na Equação (5), o $V_{min,m}$ determina a tensão mínima de máxima potência de um módulo instalado em Medianeira, N_m era o número de módulos ligados a cada MPPT, que no caso da validação foi utilizado apenas um módulo, $V_{max,p.mod}$ era a tensão de máxima potência do módulo, β_{mp} era o coeficiente de temperatura de máxima potência em porcentagem e a T_{max} , que é a temperatura máxima da cidade.

De acordo com a *WEG Curso para Clientes (2024)*, a fórmula para o cálculo da tensão máxima do circuito aberto foi prescrita na Equação (6):

$$V_{ca,max} = N * V_{ca} (1 - \{\beta_{c.a} * [25 - T_{min}]\}) \quad (6)$$

Na Equação (6), o $V_{ca,max}$ determina a tensão máxima do circuito aberto, V_{ca} era a tensão de circuito aberto do módulo, $\beta_{c.a}$ era o coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto em porcentagem e T_{min} era a temperatura mínima da cidade. Os valores de tensões podem ser encontrados no Anexo A, onde encontra-se o Datasheet do inversor.

Após os cálculos de tensão máxima de circuito aberto e mínima tensão, foi necessário obter a quantidade de módulos que poderiam ser instalados em série em cada entrada MPPT do inversor. Este número de módulos em série não poderia ser inferior à faixa de operação mínima do MPPT do inversor. A fórmula para o cálculo do número mínimo de módulos foi prescrita na Equação (7):

$$N_{mod} = \frac{Faixa_{min}}{V_{mp.min}} \quad (7)$$

E para não ultrapassar a faixa máxima de módulos, foi realizado o cálculo utilizando a Equação (8):

$$N_{mod} = \frac{Faixa_{max}}{V_{oc.max}} \quad (8)$$

Foi importante observar o número de MPPT que o inversor possui e dividir o número de módulos entre eles, não ultrapassando os limites de módulos por MPPT.

5.4 Dimensionamento da Estrutura

Para o dimensionamento da EA foi calculada a área de construção necessária para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Como já explicado anteriormente na seção 5.2 “Desenvolvimento do Cálculo da Demanda”, nos dados técnicos do módulo fotovoltaico foram fornecidas as dimensões de comprimento e largura de um módulo. Os dados podem ser obtidos no datasheet do fabricante no Anexo B. Para melhor posicionar os módulos foi adequado dividi-los pelos MPPT, facilitando a conexão entre os módulos, separando-os em linhas e colunas em quantidades aproximadas.

5.5 Cálculo de Viabilidade Econômica

Para identificar a viabilidade econômica foi necessário entender as tarifas e o valor médio a ser cobrado pela energia gasta pelo carregamento do veículo. A cidade de Medianeira tem como concessionária local a Copel, a qual possui três classificações: B1, B2 e B3. O grupo B1 engloba a área residencial e pequenos

comerciantes que utilizam a rede de baixa tensão, sendo ele monofásica ou bifásica. O grupo B2 engloba áreas rurais e B3 para indústrias (Copel, 2024).

O grupo B1 possui tarifa convencional de energia (TE) com imposto de R\$0,37861 e de uso da rede da concessionária (TUSD) sem imposto de R\$0,33982 por quilowatthora injetada na rede da concessionária, o excedente de energia gerado pelo sistema fotovoltaico seria enviado para a concessionária e seria cobrado uma taxa de R\$0,71843 por quilowatthora, que seria descontado dos créditos a serem acumulados (Copel, 2024). E o valor do carregamento de veículos elétricos varia entre R\$1,50 e R\$2,10 por quilowatthora (Enelx, 2025).

Para avaliar a viabilidade econômica do projeto foram realizados cálculos de indicadores financeiros, como o VPL, TIR e Payback. Essas análises consideram a taxa Selic como a taxa de atratividade atualmente, que no início do ano de 2025 estava em 13,25% ao ano, determinada pelo Comitê de Política Monetária (Copom) (ExtraClasse, 2025).

Para o cálculo do VPL foi utilizada a Equação (9):

$$VPL = \sum \frac{FC}{(1+i)^n} - investimento\ inicial \quad (9)$$

Na Equação (9), o VPL é o Valor Presente Líquido, FC é o Fluxo de Caixa, o i é a taxa de atratividade Selic e o n é número de períodos.

Para determinar o TIR do projeto, foi calculada utilizando a Equação (10):

$$0 = VPL = \sum \frac{FC}{(1+TIR)^t} - investimento\ inicial \quad (10)$$

Na Equação (10), o TIR era a Taxa Interna de Retorno. E para determinar o Payback era utilizada a Equação (11):

$$Payback = \frac{Custo\ do\ investimento}{FC_{MA}} \quad (11)$$

Na Equação (11), o FC_{MA} era o Fluxo de Caixa médio no ano.

6 RESULTADOS

Nesta seção foi apresentado o desenvolvimento das equações apresentadas na seção 5 “Metodologia” gerando assim os resultados para serem analisados. Esta seção foi dividida em quatro etapas, dentre elas a primeira foi para determinar as potências do projeto e número de placas; a segunda etapa para definir um inversor e se as validações de temperatura; a terceira de dimensionamento estrutural e por fim a quarta de cálculo da viabilidade econômica.

6.1 Desenvolvimento do Cálculo da Demanda

Para o cálculo da demanda foi determinado que o veículo a ser abastecido na EA seria o Nissan Leaf, que apresenta uma recarga rápida completa de 40 kWh necessitando de um período médio de seis horas ao ser utilizado um carregador CHAdeMO em uma EA pública.

Portanto, foi possível estimar que no período de um dia quatro veículos poderiam ser abastecidos na EA. Lembrando que não houve considerações para intervalos e períodos de inatividade e que haveria um carregador na estação.

Com os dados dos veículos já obtidos foi determinado que ao longo dia seria necessária uma demanda energética de 160 kWh. Desta forma, multiplicando este valor por 20, que é o número de dias úteis que a EA estará em funcionamento em um mês, obtém-se um consumo mensal de 3 200 kWh.

Para um aproveitamento de 100% da irradiação solar pelos módulos solares, como visto na seção 4.2 “Clima de Medianeira Paraná”, a cidade de Medianeira está localizada a uma latitude de aproximadamente 25°, portanto a inclinação dos módulos possuiria a orientação de inclinação de 25° voltado para o norte. A inclinação dos módulos baseia-se na latitude e posicionamento da cidade em relação a linha do Equador (curso de treinamento WEG, 2024), portanto em uma localização ao sul da linha do equador, onde se localiza a cidade de Medianeira, os módulos foram voltados ao norte. Foi considerado que não haveria ocorrência de sombras adjacentes nos módulos ao decorrer do dia.

Para determinar o valor da potência requerida do sistema foi desenvolvida a Equação (1), sendo substituído os valores de consumo médio mensal de 3 200 kWh,

a orientação de $1 \text{ kWh}/\text{m}^2$, o número de dias equivalente a um mês de 30 dias, o Tir de $5,317 \text{ kWh}/\text{m}^2 * \text{dias}$, dado que pode ser encontrado na Tabela 2, e o aproveitamento do sistema foi considerado 100% para a taxa de desempenho do sistema considerando uma capacidade hipotética do sistema, como mostrado a seguir:

$$P_{FV} = \frac{\text{Consumo} * \text{Orientação}}{\text{Tir} * \text{dias} * 100\% \text{ do aproveitamento sist}} \quad (1)$$

$$P_{req} = \frac{3200[\text{kWh}] * 1[\text{kWh}/\text{m}^2]}{5,317[\text{kWh}/\text{m}^2 * \text{dias}] * 30\text{dias} * 1} = 19,86 [\text{kWp}]$$

Para este sistema, conforme o Anexo B, o qual apresenta o datasheet do módulo selecionado para o projeto, foi escolhido o modelo WPV 500 HMM0 da WEG com potência de 550 Wp. A potência do módulo foi utilizada para o cálculo da potência do sistema, atendendo às necessidades do projeto.

Sabendo-se que a potência do sistema deve ser igual ou um valor superior próximo da potência requerida, foi desenvolvida a Equação (2) pelo procedimento de tentativa e erro para que a potência do sistema do sistema fosse muito superior à 19,86 kWh.

$$P_{sist} = n^{\circ} \text{ de módulos} * \text{Pot. módulo} \quad (2)$$

$$P_{sist} = 38 [\text{módulos}] * 550 [\text{Wp}] = 20900 [\text{Wp}]$$

$$P_{sist} = 20,90 [\text{kWp}]$$

Portanto foi definido que a potência do sistema é de 20,9 kWp.

Para determinar a porcentagem de excedente da geração foi calculada a $\%_{pot}$, que representa a relação da geração total sobre a geração necessária para o sistema, utilizando a Equação (3), como mostrado a seguir:

$$\%_{pot} = \frac{P_{sist}}{P_{req}} * 100\% \quad (3)$$

$$\%_{pot} = \frac{20,90 [\text{kWp}]}{19,86 [\text{kWp}]} * 100\% = 105,24\%$$

Com os dados obtidos nesta seção, foi possível determinar o valor total de 38 módulos e um sistema que gera 20,9 kWp e possui um excedente de 5,24%, significando um excedente gerado de 1,1kWp mensal. E assim foi finalizado todos os cálculos de demanda para os módulos fotovoltaicos e de potência para a EA.

6.2 Escolha do Inversor e Desenvolvimento da Validação

Para este projeto foi utilizada a tensão de saída de 220V e a potência do sistema de 20,9 kWp. Com os dados técnicos arquivados no Anexo A, foi realizada a verificação de potência do sistema e tensão de saída e os cálculos para a validação do inversor. Foi escolhido o modelo MOD 15kTL3-X da Growatt, para determinar se o inversor foi capaz de atuar na EA sem ser danificado pelas máximas e mínimas temperaturas da região, citadas na seção 4.2 “Clima de Medianeira Paraná”.

Sabendo-se que o percentual entre potência total do sistema e a potência de saída do inversor não poderia ser superior a 150%, foi calculado na Equação (4) a relação entre as potências.

$$\frac{P_{sis}}{P_{out.inv}} * 100\% \leq 150\% \quad (4)$$

$$\frac{20,9 kWh}{15 kWh} * 100\% = 139,33\%$$

Os dados técnicos de potência de saída do inversor podem ser encontrados no Anexo A e como a relação entre as potência foi inferior a 150%, o inversor MOD 15kTL3-X da Growatt poderia atuar segundo os padrões de proteção para inversores.

A validação do inversor foi dividida em quatro etapas, a primeira determinou a tensão mínima de máxima potência de um módulo instalado na cidade de Medianeira, calculada na Equação (5).

$$V_{min.m} = N_m * V_{max.p.mod} \{1 - [\beta_{mp} * (25 - T_{max})]\} \quad (5)$$

$$V_{min.m} = 1 * 41,95 [V] \{1 - [-(0,33/100) * (25^{\circ} - 32,5^{\circ})]\}$$

$$V_{min.m} = 40,91 [V]$$

Encontrando um valor de tensão mínima de máxima potência de um módulo de 40,91 V.

A segunda etapa de validação do inversor determinou a tensão máxima de circuito aberto de um módulo, desenvolvida na Equação (6).

$$V_{ca.max} = N * V_{ca} (1 - \{\beta_{c.a} * [25 - T_{min}]\}) \quad (6)$$

$$V_{ca.max} = 1 * 47,2 [V] (1 - \{-\frac{0,26}{100} * [25^{\circ} - 13^{\circ}]\})$$

$$V_{ca.max} = 45,73 [V]$$

Encontrado um valor de tensão máxima de circuito aberto de 45,73 V.

Com estes dados de tensões, foi possível analisar que a tensão máxima dos 19 módulos ligados em série por MPPT seria de 896,8 V, sendo um valor inferior à tensão máxima permitida na entrada do inversor para os módulos fotovoltaicos.

Com a tensão mínima de máxima potência de um módulo, para a terceira etapa, foi desenvolvida a fórmula do número mínimo de módulos, arredondando para cima, seguindo a Equação (7) onde o dado de faixa de operação mínima do MPPT foi determinado pelos dados técnicos do inversor.

$$N_{mod} = \frac{Faixa_{min}}{V_{mp.min}} \quad (7)$$

$$N_{mod} = \frac{140}{40,91V} = 3,42$$

Sabendo-se do valor da tensão máxima de circuito aberto, na quarta etapa, foi possível determinar o número máximo de módulos, arredondando para baixo, seguindo a Equação (8), onde o dado de faixa de operação máxima do MPPT foi determinado pelos dados técnicos do inversor.

$$N_{mod} = \frac{Faixa_{max}}{V_{oc.max}} \quad (8)$$

$$N_{mod} = \frac{1000}{45,73} = 21,87$$

Portanto, com os dados obtidos, foi possível determinar que os 19 módulos por MPPT estariam entre 4 e 21.

Com os cálculos realizados na quatro etapas de verificação, chega-se à conclusão de que o inversor escolhido foi apropriado para este sistema, pois foi determinado que o sistema operará com 38 módulos, dividindo-os nas duas MPPT foram 19 módulos por entrada, obedecendo os limites de módulos por MPPT e tensão da série de módulos.

6.3 Dimensionamento da EA

O módulo escolhido para o sistema foi o WPV 500 HMM0 da WEG, seu datasheet foi anexado no Anexo B. Este módulo possui comprimento de 2278 mm e largura de 1134 mm. Para melhor posicionar os módulos foi adequado separá-las pelos dois MPPT do inversor, permitindo maior facilidade para a conexão entre eles. Portanto foram alinhados em duas linhas com 9 módulos na parte mais externa e duas linhas com 10 na parte interna.

Desta forma foi calculada a área ocupada pelos módulos, seguindo a Equação (12) para a largura das linhas 1 e 4 que possuem 9 módulos:

$$C_{L1-4} = 1134 [mm] * 9 = 10206 [mm] = 10,206 [m] \quad (12)$$

Para a largura das linhas 2 e 3, que possuem 10 módulos, foi utilizada a Equação (13):

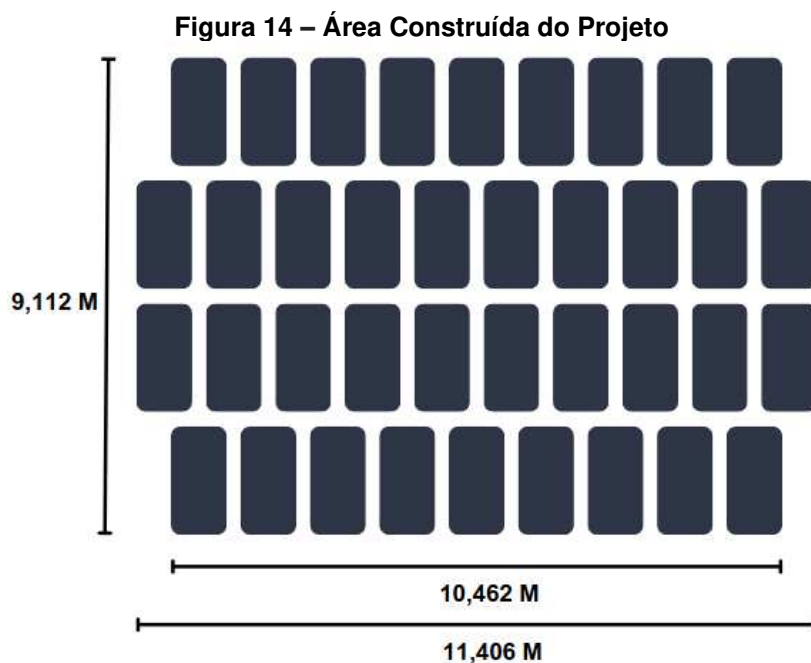
$$C_{L2-3} = 1134 [mm] * 10 = 11340 [mm] = 11,34 [m] \quad (13)$$

E para o determinar o valor vertical da área de posicionamento dos módulos foi utilizada a Equação (14):

$$C_C = 2278 [mm] * 4 = 9112 [mm] = 9,112 [m] \quad (14)$$

Assim foi obtido o valor dos comprimentos, tanto vertical quanto horizontal, ao colocar uma folga entre as linhas de 15 cm a distância no comprimento de coluna (C_C) passa a ser de 9,562 m; E entre os módulos foi adicionado um distanciamento de 15

cm, portanto o comprimento das linhas 1 e 4 (C_{L1-4}) passa a ser 11,406 m e das linhas 2 e 3 (C_{L2-3}) de 10,462 m. A Figura 14 retrata a ocupação dos módulos.



Fonte: Autoria própria (2025)

Com isso foi obtido que a área de construção de 103,93 m². Para estacionar um veículo elétrico é necessário um espaço de 2,5 m de largura e 5,5 m de comprimento, e para a manobra é necessário um espaço de 7 m, seguindo a NBR 16071: “Estacionamentos”. Portanto, a área para a manobra de veículos na EA deverá ser de 114 m², considerando que poderá haver dois veículos na área, um em carregamento e outro esperando, e os veículos foram posicionados ao centro da área dos módulos para o aproveitamento da sombra.

6.4 Desenvolvimento do Cálculo de Viabilidade Econômica

Para o desenvolvimento dos cálculos econômicos foi necessário pesquisar sobre os valores dos equipamentos a serem utilizados para a montagem da EA. Na Tabela 3, foram mostrados os equipamentos para a montagem do sistema fotovoltaico e da EA.

Tabela 4 – Valores de Equipamentos

Equipamentos	Valor
--------------	-------

MOD 15KTL3-X	R\$ 11.390,40
WPV 500 HMM0 (30 un)	R\$ 20.403,16
WPV 500 HMM0 (8 un)	R\$ 5.529,28
Carregador Wallbox E7kW	RS 5.354,15
Carport	R\$20.000,00
Total	R\$ 62676,99

Fonte: Aatoria Própria (2025)

O custo total dos materiais foi de R\$62.676,99, a maior proporção dos gastos são dos módulos fotovoltaicos.

Para este projeto não foi incluído nos gastos o aluguel de uma área para a construção, pois foi considerado que investidor do projeto já possuía uma área para a realização do projeto, como em um posto de abastecimento de veículos a combustão por exemplo. Caso o investidor precise alugar ou comprar uma área para desenvolver o projeto, os custos seriam adicionados ao valor total investido.

Neste caso apresentado, o investidor já possuiria um sistema elétrico ligado à concessionária com disjuntores de proteção e portanto não seria necessário gastos com dispositivos de proteção e cabos para ligamento do projeto à rede da concessionária.

Seguindo os padrões da concessionária Copel, uma EA de potência igual a 20,9 kWh se enquadra na categoria B1, onde são incluídos residenciais e pequeno comércio, sendo eles monofásicos ou bifásicos. Lembrando que o grupo B1 possui tarifa convencional de energia (TE) com imposto de R\$0,37861 e de uso da rede da concessionária (TUSD) de R\$0,33982 por quilowattthora (Copel, 2024).

Portanto, para o caso da energia que foi produzida e não utilizada no momento de sua geração, ela seria injetada na rede da concessionária e poderia ocorrer duas situações. A primeira seria o desconto da somatória das tarifas TE e TUSD, que seria de R\$0,71843 por kWh, na carga injetada na rede, este desconto seria automaticamente adicionado aos créditos acumulados. O segundo caso, que seria o caso de maior baixa nos ganhos monetários, seria a injeção da carga na rede e não ser utilizado os créditos obtidos com a concessionária nos 5 anos de validade dos créditos, perdendo totalmente a geração.

Na viabilidade econômica do projeto haveria uma variação baseando-se no número de veículos que seriam carregados na EA do projeto, que influencia diretamente no FC. Esta seção foi dividida em dois cenários diferentes, o primeiro cenário seria com quatro veículos carregando diariamente durante os 20 dias úteis, considerando o cenário ideal. O segundo cenário seria o pior caso, o qual haveria um veículo utilizando a EA por dia, portanto não utilizando os créditos obtidos com a concessionária no período de 5 anos.

Para determinar o FC do projeto, foi considerado como entrada monetária o valor da energia que será cobrado para o abastecimento dos veículos, sendo ele o valor de R\$1,80 por kWh.

6.4.1 Cenário 1

Para o primeiro cenário, foi determinada a operação da EA em um período de 20 dias úteis, com um movimento ideal de quatro veículos por dia. Desta forma, obtém-se a média de 160 kWh utilizada diariamente, utilizando uma potência de 3200 kWh mensal, como foi mostrado na seção 6.1 “Desenvolvimento do Cálculo da Demanda”. Desta forma, o valor coletado com o abastecimento dos veículos foi de R\$5.760,00 ao mês. Portanto haveria uma adição à entrada do caixa de R\$69.120,00 anual, baseando-se nos abastecimentos. O valor de entrada de caixa ao ano foi encontrado para o cálculo do VPL e TIR.

Portanto, possuindo o investimento inicial de R\$62.676,99, foi determinado o que este foi o total de saída de caixa em um ano e para a entrada de caixa seria arrecadado R\$69.120,00. Conhecendo estes dados, foi possível calcular o FC anual com a Equação (15):

$$FC = Total\ de\ Entrada - Total\ de\ Saída \quad (15)$$

O fluxo de caixa varia em relação às despesas, investimento e retorno do projeto. Utilizando a Equação (9) para encontrar o VPL e Equação (10) para encontrar o TIR, a Tabela 5 foi organizada com base na vida útil mínima de 10 anos do inversor de corrente.

Tabela 5 – FC, VPL e TIR para quatro veículos

Período [ano]	Fluxo de Caixa	VPL	TIR
0	- R\$62.676,99	-R\$62.676,99	-
1	R\$ 6.443,01	- R\$ 1.643,88	10,279%
2	R\$ 75.563,01	R\$ 52.248,50	73,750%
3	R\$ 144.683,01	R\$ 99.835,58	95,526%
4	R\$ 213.803,01	R\$ 141.855,08	103,899%
5	R\$ 282.923,01	R\$ 178.958,39	107,406%
6	R\$ 352.043,01	R\$ 211.720,70	108,954%
7	R\$ 421.163,01	R\$ 240.649,89	109,660%
8	R\$ 490.283,01	R\$ 266.194,43	109,988%
9	R\$ 559.403,01	R\$ 288.750,31	110,141%
10	R\$ 628.523,01	R\$ 308.667,20	110,214%

Fonte: Autoria Própria (2025)

Na Tabela 5, no primeiro ano foi demarcado em vermelho o VPL do projeto negativo devido às tarifas e investimento inicial e seu TIR é inferior à taxa Selic, não se provando um projeto de bom retorno. Felizmente, durante os anos seguintes os VPL e TIR apresentaram valores altos, mostrando resultados positivos para ser aplicado o investimento, possuindo uma média de TIR de 93,982%.

Para certificar o resultado demonstrado na Tabela 5, foi calculado o Payback do projeto para o cenário 1, como mostrado no desenvolvimento da Equação (11) encontrando o Payback.

$$Payback = \frac{62676,99}{57138,55} \Rightarrow Payback = 1,09 \text{ anos}$$

Portanto o Payback do investimento para o cenário 1 foi de 1 ano e 1 mês.

6.4.2 Cenário 2

Para o cenário 2 foi considerado o carregamento de um veículo por dia durante os 20 dias úteis do mês. Para a recarga de um carro houve uma utilização de 40 kWh e em um ano houve o gasto de 9.600 kWh. Portanto houve uma alteração dos dados de R\$69.120,00 para R\$17.280,00 ao ano.

Reformulando a Tabela 5 com os novos dados obtidos, sendo o mesmo investimento, foi montada a Tabela 6.

Tabela 6 – FC, VPL e TIR para um veículo

Período [ano]	Fluxo de Caixa	VPL	TIR
0	- R\$62.676,99	-R\$ 62.676,99	-
1	- R\$ 45.396,99	-R\$ 47.418,71	-72,430%
2	- R\$ 28.116,99	-R\$ 33.945,62	-31,928%
3	- R\$ 10.836,99	-R\$ 22.048,85	-8,922%
4	R\$ 6.443,01	-R\$ 11.543,97	4,032%
5	R\$ 23.723,01	-R\$ 2.268,14	11,750%
6	R\$ 41.003,01	R\$ 5.922,43	16,597%
7	R\$ 48.283,01	R\$ 13.154,73	19,773%
8	R\$ 75.563,01	R\$ 19.540,86	21,924%
9	R\$ 92.843,01	R\$ 25.179,83	23,421%
10	R\$ 110.123,01	R\$ 30.159,06	24,484%

Fonte: Autoria Própria (2025)

Diferente do cenário 1, a Tabela 6 mostrou diversas marcações em vermelho, foi possível observar que no ano 4 após a abertura do projeto, teve início do retorno com o FC e no ano 6 o VPL se torna positivo. A diferença do cenário 2 para o cenário 1 foi marcada devido a baixa utilização da EA, podendo-se observar que somente no ano 6 o TIR se tornou superior à taxa Selic. E a média do TIR no cenário 2 diminuiu para 0,87%.

Com estes resultados já foi possível determinar que o projeto é menos viável ao ser comparado ao cenário 1, mas o projeto se torna viável no ano 6 que foi possível notar um valor positivo para o VPL .

Desenvolvendo o Payback para o cenário 2, utilizando a Equação (13):

$$Payback = \frac{62676,99}{10011,18} \Rightarrow Payback = 6,261$$

Portanto, o Payback do investimento para o cenário 2 foi de 6 anos e 3 meses, mostrando um Payback mais longo que metade do tempo da mínima vida útil de um inversor.

7 CONCLUSÃO

A função deste projeto foi o aproveitamento da energia solar, denominada renovável, limpa e seu alto índice ocupa toda a extensão do Brasil, tornando a EA sustentável e evitando a produção de gases que amplificam o efeito estufa. O Brasil é um país com diversos climas, a região do Paraná possui um clima subtropical, apresentando verões de temperaturas elevadas, portanto o índice de irradiação solar é alto. Desta forma, foi determinado que a ESF se tornaria uma opção de grande valor de fonte geradora para este projeto.

O objetivo do projeto foi a implementação de uma EA para veículos elétricos, utilizando como fonte de geração um sistema de microgeração fotovoltaico autossustentável. Desta forma, com a utilização de módulos fotovoltaicos, seria possível a captação da irradiação solar como sua fonte de energia de matéria-prima para o carregamento de VE na cidade de Medianeira, Paraná.

Podendo-se concluir com os resultados obtidos que um sistema de geração de energia solar fotovoltaico para uma EA composta por um carregador teria uma produção de 20,9 kWh e se enquadrado em um sistema de minigeração, pois de acordo com as resoluções normativas definidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica e as Normas Técnicas da Copel a minigeração consiste em uma potência instalada de até 75 kW.

No dimensionamento do sistema elétrico fotovoltaico para suprir a EA obteve a demanda do sistema de 19,86 kWp. Utilizando os módulos fotovoltaicos, WPV 500 HMM0 da WEG, posicionados com um ângulo de 25° voltado para o norte, foi determinado que a geração total do sistema seria de 20,90 kWp apresentando um excedente de geração de 5,24% que seriam transformados em créditos pela concessionária, os quais poderiam ser utilizados em até cinco anos.

Para o dimensionamento do inversor foi escolhido o inversor MOD 15kTL3-X da Growatt, e para sua validação de uso foram calculadas a tensão mínima de máxima potência de um módulo de 40,91 V e a tensão máxima de circuito aberto de 45,73 V, estes valores permitiram o cálculo do número mínimo e máximo de módulos por entrada MPPT do inversor, sendo eles 4 e 21 respectivamente.

O número de módulos para essa geração foi de 38 módulos, dividindo-os em duas MPPT do inversor selecionado para o projeto estaria dentro dos padrões de proteção do inversor para as temperaturas na região de Medianeira. A tensão máxima

dos 19 módulos em uma MPPT foi de 896,8 V, sendo inferior à tensão máxima de entrada do inversor para a série de módulos.

A área de construção da EA foi de 103,93 m² e a área total, e para facilitar a manobra dos veículos a área total do projeto seria de 114 m². Portanto não seria necessário uma área extensa para desenvolver o projeto e caso ele seja realizado em um posto para carros de combustão, a sombra proveniente da estrutura dos módulos, onde não for demarcado o estacionamento para abastecimento dos veículos elétricos, poderia ser utilizada por outros veículos.

O gasto total com os equipamentos fotovoltaicos e a EA foi de R\$62.676,99, este valor poderia ser alterado caso o investidor não possuísse uma área para o desenvolvimento do projeto e não houvesse um sistema já ligado a rede da concessionária, conseqüentemente haveria alterações para o FC, VPL, TIR e Payback.

Com a análise do cenário 1, foi determinado o carregamento de quatro veículos por dia durante os 20 dias úteis, o Payback foi aproximadamente 1 ano, com o valor de VPL alto e o TIR médio de 93,982%, muito acima da taxa Selic.

Com a análise do cenário 2 ocorreu o oposto do cenário 1, com a procura para o carregamento seria apenas um veículo, o Payback foi de aproximadamente 6 anos e o VPL nos primeiros anos foi baixo, com o TIR ultrapassando a taxa Selic apenas no 6 ano, tornando o projeto menos viável.

Portanto, para que este projeto se torne um bom investimento, deve-se analisar o fluxo de veículos elétricos da região de instalação do projeto e se o investidor possuiria um local adequado para realização do projeto.

Sugestões para temas futuros:

- O cálculo e dimensionamento do projeto de uma EA, com a análise de custos do projeto com cabos, estrutura, módulos e inversor;
- Cálculo de dimensionamento utilizando a máxima potência de uma microgeração de 75 kW, determinando o número máximo de EA, utilizando módulos de potência diferentes deste projeto.
- Realizar um dimensionamento da EA para ônibus elétricos.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Tallys Lins de Almeida. **Carregador de Baterias Estacionárias de Íons de Lítio para Veículos Elétricos**. 2019. 260 f. Dissertação (Mestrado) curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

FREITAS, Joaquim Carlos Novais. **Projeto e Análise ao Funcionamento de Carros Elétricos**, 2012. Dissertação (Mestrado) curso de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de Administração Financeira**, 2002. Editora Harbra, São Paulo.

Góes, Rodrigo Bozzato; Pazzini, Henrique Alves. **Carro Elétrico: Sistema de Abastecimento por Energia Solar**, 2019. 19 f. Dissertação (TCC) Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2019.

GONÇALVES, Yan Rodrigues. **Efeitos da Micro Geração Fotovoltaica na Rede Elétrica**, 2022. Dissertação (TCC) curso de graduação Engenharia de Energia da Universidade de Brasília.

MENEZES, Levy Marfim Fernandes. **Estações de Carregamento de Baterias para Carros Elétricos com uso de Plantas Fotovoltaicas**, 2019. 62 f. Dissertação (TCC) curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará.

PEREIRA, Lucas de Castro. **Estação de Carregamento para Carros Elétricos Alimentadas por Usinas de Microgeração Fotovoltaica**. 2019. 69 f. Dissertação (TCC) Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Mini e Micro Geração Distribuída. Ano de acesso: 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida> Acesso em: 22/10/2023.

Borba - Energia Renovável. Energia solar residencial/comercial - Sistema conectado à rede. Ano de acesso: 2022. Disponível em: <https://www.borbaeletricidade.com.br/servicos/energia-renovavel/> Acesso em 2024.

Copel. Tarifas de energia elétrica. Ano de acesso 2024. Disponível em: https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/#grupoB?utm_source=taxas-tarifas&utm_medium=grupoB&utm_campaign=menu-lateral Acesso em: 05/02/2025.

eCars. Ano de acesso: 2023. Disponível em: [OMB зарядни станции \(ecars.bg\)](http://omb.zaryadni.stancii(ecars.bg)) Acesso em: 22/10/2023.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Ano de acesso 2023. **ABCDEnergia**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-eletrica> Acesso em: 14/04/2023.

Enelx. Carregamento de carros elétricos: guia completo sobre o processo. Ano de acesso: 2025. Disponível em: <https://www.enelx.com/br/pt/conteudos/guia-carregamento-carro->

Tupinambá. Tomada para carro elétrico. Ano de acesso 2022. Disponível em: [Tomada para Carro Elétrico: Conectores disponíveis no Brasil \(tupinambaenergia.com.br\)](http://tupinambaenergia.com.br) Acesso em 25/10/2023.

WEG: centro de treinamento para clientes. Ano de acesso 2024. Disponível em: [WEG Clientes](#) Acesso em 10/11/2024.

anexo A - **Datasheet do inversor (MOD 15KTL3-X)**

Tabela 7 – Dados do inversor

Input data (DC)	Tensão (V)	Potência (W)	Dimensão (mm)	Quantidade (un)
Max. recommended PV power	-	22500	-	-
Max. DC voltage	1100	-	-	-
Start voltage	160	-	-	-
Tensão nominal	580	-	-	-
Tensão por MPPT	140 - 1000	-	-	-
Número de MPPT	-	-	-	2
AC nominal power	-	15000	-	-

Fonte: Adaptado de Growatt New Energy (2025)

anexo B - **Datasheet do Módulo (WPV 500 HMM0)**

Tabela 8 - Dados do Módulo Fotovoltaico

Dados Elétricos/Mecânicos	Potência (W)	Tensão (V)	Dimensionamento (mm)
Potência máxima	550W	-	-
Tensão de circuito aberto	-	47,2	-
Tensão de máxima potência	-	41,95	-
Tensão máxima do sistema	-	1500	-
Dimensões (A/ L/ E)	-	-	2278/1134/30

Fonte: Adaptado de WEG Group (2025)