



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

**ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA O USO DE VEÍCULOS
ELÉTRICOS, COM DIMENSIONAMENTO DE POSTO DE RECARGA
PARA ÔNIBUS ELÉTRICOS**

João Fernandes Mansano Lima

(Página intencionalmente deixada em branco)

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

**ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA O USO DE VEÍCULOS
ELÉTRICOS, COM DIMENSIONAMENTO DE POSTO DE
RECARGA PARA ÔNIBUS ELÉTRICOS**

JOÃO FERNANDES MANSANO LIMA

Trabalho de Conclusão de Curso do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Silva Moreira.

CAMPO GRANDE - MS
FEVEREIRO DE 2023

(Página intencionalmente deixada em branco)



FOLHA DE APROVAÇÃO

JOÃO FERNANDES MANSANO LIMA

ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA O USO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS, COM DIMENSIONAMENTO DE POSTO DE RECARGA PARA ÔNIBUS ELÉTRICOS

Redação final do Trabalho de Conclusão de Curso, aprovada pela Banca Examinadora em 09 de fevereiro de 2023, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.

Banca examinadora:

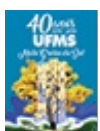
Dr. Frederico Silva Moreira - (Orientador)

Dr. Sandro Petry Laureano Leme.

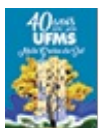
Dr. Cristiano Quevedo Andrea .

Dra. Andrea Teresa Riccio Barbosa.

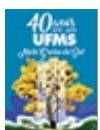
Dr. Jair de Jesus Fiorentino.



Documento assinado eletronicamente por **Frederico Silva Moreira, Professor do Magisterio Superior**, em 09/03/2023, às 14:15, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sandro Petry Laureano Leme, Professor do Magisterio Superior**, em 12/03/2023, às 11:21, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Quevedo Andrea, Professor do Magisterio Superior**, em 12/03/2023, às 15:35, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3904035** e o código CRC **1F02F836**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.000956/2023-43

SEI nº 3904035

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Deus, meus pais, minha filha Mariana e a minha esposa Jacqueline.

(Página intencionalmente deixada em branco)

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo presente da vida.

À minha família pelo amor, dedicação, apoio e fé em mim depositados.

À minha esposa Jacqueline pelo amor, paciência e confiança.

À minha amada filha Mariana, que mudou tudo o que eu sabia sobre amor.

Aos colegas de mestrado, especialmente ao Giuliano Riva, pela parceria, confiança, apoio e momentos compartilhados.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade pelas aulas ministradas

Ao professor dr. Frederico Silva Moreira pela orientação, conselhos, incentivo e imensa paciência comigo neste trabalho.

Ao amigo Celso Sami Chaia Junior, que sempre foi prestativo nas trocas de plantões quando eu precisava frequentar as aulas ou realizar provas.

Aos meus irmãos, os quais jamais abandonarei.

A todos que de alguma forma me ajudaram durante minha longa e difícil jornada para concluir este trabalho.

(Página intencionalmente deixada em branco)

RESUMO

Os veículos elétricos estão novamente em evidência, e o aumento da penetração deste tipo de veículo na frota nacional necessita de estudos que avaliem o impacto que estes veículos podem causar. Além do uso individual, o veículo elétrico pode ser utilizado para transporte de pessoas e cargas. O uso deste tipo de veículo requer que exista uma infraestrutura adequada e localizada de maneira estratégica. A inclusão da energia solar nos postos de recarga funciona como uma boa estratégia para unir as tecnologias em busca de benefícios maiores, além do financeiro. Este trabalho é composto por dois estudos: o primeiro discute a formação de preço e variação dos tipos de combustíveis, sendo feita uma análise comparativa do custo de abastecimento/recarga para alguns modelos de veículos leves a combustão e elétricos. Como resultado, observou-se que o custo de recarga dos veículos elétricos é bem menor do que um veículo com motor a combustão abastecendo com etanol ou gasolina; e o segundo estudo busca evidenciar o impacto positivo que uma frota de ônibus elétricos pode ter sobre a rede de transporte público. Através da substituição de parte da frota de ônibus convencionais da cidade de Campo Grande/MS, fica demonstrado os benefícios e o impacto financeiro causado pela adoção dos ônibus elétricos.

Palavras-chave: Veículo elétrico, transporte público, energia solar

(Página intencionalmente deixada em branco)

ABSTRACT

Electric vehicles are once again in evidence, and the increased penetration of this type of vehicle in the national fleet requires studies to assess the impact that these vehicles can cause. In addition to individual use, the electric vehicle can be used to transport people and loads. The use of this type of vehicle requires an adequate and strategically located infrastructure. The inclusion of solar energy in charging stations works as a good strategy to unite technologies in search of greater benefits, in addition to the financial one. This work consists of two studies: the first discusses the formation of prices and the variation of fuel types, with a comparative analysis of the fueling/recharging cost for some models of light combustion and electric vehicles. As a result, it was observed that the cost of recharging electric vehicles is much lower than a vehicle with a combustion engine fueling with ethanol or gasoline; and the second study seeks to highlight the positive impact that a fleet of electric buses can have on the public transport network. By replacing part of the fleet of conventional buses in the city of Campo Grande/MS, the benefits and financial impact caused by the adoption of electric buses are demonstrated.

Keywords: electric vehicle, public transportation, solar energy

(Página intencionalmente deixada em branco)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Veículo elétrico fabricado no Brasil pela Gurgel Motores.....	25
Figura 2 - Representação geral do Sistema Elétrico de Potência.....	26
Figura 3 - Evolução da Energia Fotovoltaica no Brasil.....	27
Figura 4 - Estação de recarga Supercharger da TESLA.....	28
Figura 5 - Frota de veículos por tipo de motor – PNE/EPE 2050.....	29
Figura 6 - Tipos de motorização dos veículos.....	34
Figura 7 - Tipos de baterias para veículo elétrico.....	36
Figura 8 - Tipos de conectores para veículos elétricos.....	40
Figura 9 - Mapa do Atlas Brasileiro de Energia Solar.....	43
Figura 10 - Equipamentos de um Sistema Fotovoltaico.....	44
Figura 11 - Tecnologias de Painéis Fotovoltaicos.....	45
Figura 12 - Sistemas On-Grid e Off-Grid.....	46
Figura 13 - Tela do software PVSYST.....	48
Figura 14 - Visão Geral das Subestações de Campo Grande.....	51
Figura 15 - Visão geral da antiga rodoviária.....	54
Figura 16 - Visão geral da rodoviária após a reforma.....	55
Figura 17 - Variação do preço do barril de petróleo tipo Brent.....	57
Figura 18 - Cotação do dólar em reais – 2021.....	57
Figura 19 - Cadeia produtiva do petróleo.....	58
Figura 20 - Custos que compõem o preço da gasolina e diesel.....	59
Figura 21 - Produção de Etanol no Brasil.....	60
Figura 22 - Custos que compõem a tarifa de energia.....	61
Figura 23 - Escolha da placa solar e inversor no PVSYST.....	68
Figura 24 - Definição do arranjo das placas e inversores no PVSYST.....	68
Figura 25 - Visualização das placas instaladas na cobertura da nova rodoviária.....	69

(Página intencionalmente deixada em branco)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vendas/emplacamentos de veículos eletrificados (VE) no Brasil.....	24
Tabela 2 - Frota de transporte coletivo por ônibus – Campo Grande.....	52
Tabela 3 - Informações sobre transporte coletivo por ônibus - Campo Grande.....	53
Tabela 4 - Modelos de veículos mais vendidos no Brasil em 2021.....	63
Tabela 5 - Preço médio do combustível por região.....	64
Tabela 6 - Custo de um tanque completo de Etanol.....	64
Tabela 7 - Custo de um tanque completo de Gasolina.....	64
Tabela 8 - Preço médio das tarifas de energia por região.....	65
Tabela 9 - Modelos de Veículos Elétricos mais baratos.....	65
Tabela 10 - Custo de uma recarga completa da bateria.....	65
Tabela 11 Custo de combustível (R\$/1000 km)	66

(Página intencionalmente deixada em branco)

LISTA DE ABREVIATURAS

AIE - Agência Internacional de Energia
ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ABVE - Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BEN - Balanço Energético Nacional
BEV - *Battery Electric Vehicle* / Veículo Elétrico a Bateria
BNEF - *Bloomberg New Energy Finance*
BYD - *Build Your Dreams*
CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz
DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
EUA - Estados Unidos da América
HEV - *Hybrid Electric Vehicle* / Veículo Elétrico Híbrido
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo
OPEN DSS - Open Distribution System Simulator
PHEV - *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* / Veículo Elétrico Híbrido tipo Plug-in
PNE – Plano Nacional de Energia
PROALCOOL - Programa Brasileiro de Alcool
SEP - Sistema Elétrico de Potência
SIN - Sistema Interligado Nacional
VE – Veículo Elétrico
VC – Veículo a Combustão

(Página intencionalmente deixada em branco)

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	7
AGRADECIMENTO	9
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE ABREVIATURAS.....	19
SUMÁRIO.....	21
1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 OBJETIVOS.....	30
1.1.1 Objetivo geral.....	30
1.1.2 Objetivos específicos.....	30
1.2 JUSTIFICATIVA.....	30
1.3 ESTADO DA ARTE.....	31
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	33
2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	33
2.1.1 Tipos de veículos elétricos	33
2.1.2 Tipos de Baterias	35
2.1.3 Estações de Recarga	37
2.1.3.1 Funcionamento.....	37
2.1.3.2 Tipos de Conectores.....	38
2.1.4 Infraestrutura no Brasil.....	41
2.1.5 Experiencias Internacionais	41
2.2 ENERGIA SOLAR.....	42
2.2.1 Projetando um Sistema Fotovoltaico.....	46
2.2.2 Software PVsyst	47
3 METODOLOGIA	49
3.1 VEÍCULOS A COMBUSTÃO X VEÍCULOS ELÉTRICOS	49
3.2 POSTOS DE RECARGA PARA ÔNIBUS ELÉTRICOS	50
3.2.1 Local de instalação dos postos de recarga.....	54
4 RESULTADOS	56
4.1 COMBUSTÍVEIS, ENERGIA ELÉTRICA E IMPOSTOS.....	56
4.1.1 Combustíveis.....	56
4.1.2 Energia elétrica.....	60
4.1.3 Impostos	61

4.2	VEÍCULOS A COMBUSTÃO X VEÍCULOS ELÉTRICOS	62
4.2.1	Gasolina / Etanol x Energia Elétrica.....	62
4.3	POSTOS DE RECARGA PARA ÔNIBUS ELÉTRICOS	66
4.3.1	Cálculo da Demanda.....	66
4.3.2	Cálculo do Consumo.....	66
4.3.3	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	67
4.3.4	Simulação do PVSYST.....	67
4.3.5	Financeiro	69
4.3.5.1	Cenário 1 – Aquisição do ônibus elétrico, considerando apenas custos com abastecimento	70
4.3.5.2	Cenário 2 – Diferença entre o ônibus elétrico e o convencional, considerando apenas custos com abastecimento	71
4.3.5.3	Cenário 3 – Aquisição do ônibus elétrico, considerando os custos com abastecimento e geração solar.....	71
4.3.5.4	Cenário 4 – Diferença entre o ônibus elétrico e o convencional, considerando os custos com abastecimento e geração solar.....	72
5	CONCLUSÃO	73
6	BIBLIOGRAFIA	75
	ANEXO A – DADOS TECNICOS ONIBUS BYD D9W	81
	ANEXO B – DADOS TECNICOS POWER ELETRONICS FS0200 HE/HEC	82
	ANEXO C – DADOS TECNICOS SUNPRO POWER M10-HIEFF	83
	ANEXO D – INFORMAÇÕES DO RELATORIO DO PVSYST.....	84

1 INTRODUÇÃO

Após mais de um século depois da invenção dos veículos elétricos (VE) e de serem superados pelos veículos de motor a combustão (VC) ao longo do século XX, os VEs voltam a ganhar destaque no cenário mundial. Motivados por fatores como o avanço da tecnologia das baterias, o desenvolvimento sustentável, a poluição do meio ambiente e a dependência do petróleo e seus subprodutos, países como Estados Unidos da América (EUA), Japão, China, Noruega, Inglaterra e Alemanha têm apostado no VE como caminho para um futuro mais sustentável, influenciando inclusive, as grandes fabricantes de automóveis a investir cada vez mais em modelos com motores elétricos.

Em 1903, havia cerca de quatro mil automóveis registrados na cidade de Nova York (EUA), sendo que, cerca de 53% eram veículos com motor a vapor, outros 27% eram veículos com motor a gasolina e os 20% restantes eram veículos com motores elétricos. Em 1912, a frota de VE naquela cidade atingiu 30 mil unidades, enquanto a quantidade de veículos a gasolina já era trinta vezes maior. A partir de então, a trajetória de vendas do VE seguiu em forte queda (BARAN, 2011). O primeiro veículo híbrido de que se tem notícia data de 1916. Porém, apresentava um custo superior ao dos veículos elétricos e a combustão, resultando na venda de pouquíssimas unidades (BRAVO *et al.*, 2014). O objetivo dos primeiros veículos híbridos era o de compensar a baixa eficiência das baterias utilizadas nos veículos puramente elétricos e a falta de estrutura de distribuição de energia elétrica no início do século XX. Em 1920, países como os EUA, França e Canadá, já tinham diversos modelos de híbridos à disposição no mercado (BARAN, 2011).

Na década de 1970 aumentou a preocupação dos países desenvolvidos com a demanda de petróleo e segurança energética, especialmente após a crise do petróleo em 1973, quando vários países árabes, membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) criaram embargos para os países importadores de petróleo. O aumento no preço do barril do petróleo e a preocupação com a capacidade das reservas de petróleo em atender a demanda mundial disparou o alerta das nações cuja economia dependia fortemente do petróleo e seus derivados. Em resposta, países como EUA e Japão passaram a adotar políticas de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias que reduzissem a dependência do petróleo. Sendo o setor de transportes o maior consumidor de petróleo (gasolina e óleo diesel), este, tornou-se o principal alvo de ações que visavam o balanceamento da matriz energética dentro das economias dos países. Ou seja, quanto menor a dependência do petróleo, maior a segurança energética.

Como resultado destas políticas, junto a um forte e crescente apelo ambiental para redução da emissão de gases, como o gás carbônico (CO²), uso de energias renováveis e melhoria da qualidade de vida nos grandes centros urbanos, o VE passou a atrair a atenção dos consumidores, tanto que em 2020, as vendas de VE chegaram a 3 milhões unidades em todo o mundo. Isto representou um aumento de 41% em relação a 2019, segundo dados do relatório *Global EV Outlook 2021* da Agência Internacional de Energia (IEA, 2021). A tendência é que esse mercado cresça exponencialmente até 2040. No Brasil, a tecnologia do VE ainda é muito pouco explorada, embora a aquisição destes tipos de veículos venha crescendo ano a ano, desde 2015, de acordo com dados da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Vendas/emplacamentos de veículos eletrificados (VE) no Brasil

ANO	TOTAL
2021	34990
2020	19745
2019	11858
2018	3970
2017	3296
2016	1091
2015	846
2014	855
2013	491
2012	117

Fonte: ABVE (2022)

A justificativa para este crescimento, dá-se pela adoção de políticas como a do Proálcool - Programa Brasileiro de Álcool, que resultou no desenvolvimento do Etanol, combustível ambientalmente eficiente para uso no transporte, ocasionando a ausência de políticas direcionadas no desenvolvimento de tecnologias relacionadas aos VE, gerando uma maior dificuldade na adoção desta tecnologia no país (BARAN, 2011). No território nacional, os combustíveis mais utilizados nos veículos leves convencionais são a gasolina e o etanol, já que boa parte da frota nacional conta com a tecnologia flex. Ao final de 2021, a frota dos veículos leves que utilizam gasolina, etanol, diesel ou uma combinação destes, registraram um domínio de 94,3%, enquanto os veículos leves eletrificados representaram somente 0,09% da frota, de acordo com dados Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). Isso reflete como a falta de infraestrutura, principalmente a ausência de pontos de recarga nos grandes centros, e preço,

visto que os VE disponíveis para compra no Brasil são importados, não contribuem para a inserção e expansão deste tipo de veículo.

O Brasil já produziu veículos elétricos e híbridos, através de uma iniciativa da Gurgel Motores em 1974. O veículo produzido era um carro pequeno de uso urbano, fácil de dirigir e manobrar, devido às suas dimensões reduzidas, e possuía baterias de chumbo-ácido que podiam ser recarregadas em qualquer tomada residencial de eletricidade e levava até dois passageiros. Com problemas de durabilidade, baixa capacidade de armazenamento das baterias e elevado peso, o carro não prevaleceu no mercado. Em outra tentativa, em 1980, a Gurgel lançou mais um veículo elétrico (Figura 1), contudo a autonomia ainda era baixa, e o peso das baterias elevado, o que contribuiu mais uma vez para que o projeto não continuasse adiante. Desde então, foram poucas iniciativas para desenvolvimento de veículos híbridos e/ou elétricos no Brasil, predominando os projetos universitários de pesquisa (BRAVO *et al.*, 2014).

Figura 1 - Veículo elétrico fabricado no Brasil pela Gurgel Motores



Fonte: Pereira (2021)

A substituição dos veículos convencionais a combustão por VE faz parte de um movimento denominado: Mobilidade elétrica. A expectativa desse movimento é que até 2040 diversos países, principalmente da Europa, adotem o VE como principal meio de transporte, e proibam a fabricação, comercialização e circulação dos veículos convencionais a combustão.

Essa proposta, embora audaciosa, conta com o incentivo, apoio e investimento dos fabricantes de veículos, em conjunto com os governos nacionais, disponibilizando cada vez mais modelos e opções de VE, como carros, caminhões, ônibus, motos, bicicletas, entre outros. Assim, uma maior quantidade de pessoas e empresas aumentarão o interesse pela inovação e a circulação desses veículos pelas ruas e avenidas das cidades.

Além disso, a mobilidade elétrica contribui para o desenvolvimento sustentável por meio do combate às mudanças climáticas, diminuindo a emissão de gases do efeito estufa, incentivando o uso de energia renováveis e melhorando a qualidade de vida. Desta forma, diversas oportunidades para o desenvolvimento e exploração econômica poderão surgir com a mobilidade elétrica. Um exemplo é a infraestrutura dos eletropostos, utilizados para carregar os VE. Estes podem ser alimentados tanto pela rede de distribuição de energia, quanto por soluções como instalações de placas fotovoltaicas para geração solar.

Nesse sentido, a energia elétrica é essencial para a sociedade e indispensável ao desenvolvimento socioeconômico do país. Ela está presente em vários setores da economia: transporte, indústria, agropecuária, serviços. No Brasil, a principal fonte de geração de energia elétrica provém de usinas hidrelétricas, seguido das usinas termelétricas (gás natural, carvão mineral ou combustíveis fósseis), usinas de biomassa, eólica, nuclear e solar, além da importação de energia de outros países. A estrutura do Sistema Elétrico de Potência (SEP) compreende os sistemas de geração, transmissão e distribuição, e está representado na Figura 2, em geral, cobrindo uma grande área geográfica. No Brasil o SEP atua de forma interligada, formando o Sistema Interligado Nacional (SIN), que abrange a maior parte do território nacional: as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da Norte. Na região Norte existe os chamados sistemas isolados. Estes sistemas ainda não estão conectados ao SIN, e são supridos em sua grande maioria por geradores a óleo diesel (BASSO, 2011). As redes de distribuição são projetadas para alimentar uma demanda prevista durante um determinado horizonte de planejamento, e a adição de uma demanda extra de energia diminui o horizonte de utilização, e em casos extremos, pode criar casos de inviabilidade operacional.

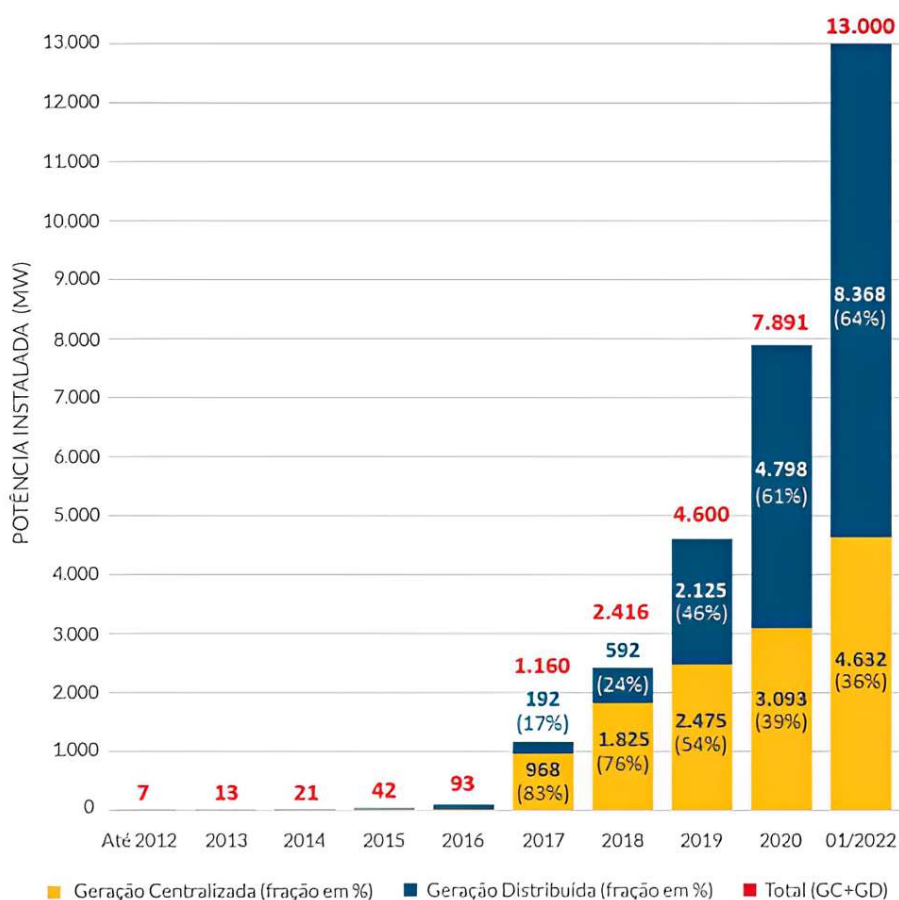
Figura 2 - Representação geral do Sistema Elétrico de Potência



Fonte: ABRADÉE (2021)

O VE foi pensado principalmente para as grandes cidades. Apesar da limitação para grandes deslocamentos, que ocorre com os veículos puramente elétricos, a autonomia deles atende plenamente a necessidade de quem mora em uma cidade. Além disso, estes veículos são vistos como uma solução para reduzir os problemas de poluição gerados pelos veículos comuns (BASSO, 2011). O consumo de energia elétrica de um VE afeta pouco as redes de distribuição, porém, quando se projeta o crescimento do VE e o impacto que diversas conexões simultâneas podem causar na rede elétrica, surge a preocupação quanto a infraestrutura física e capacidade de se acomodar a demanda dos VE. Os equipamentos utilizados na rede elétrica possuem limites de operação, e caso estes limites sejam violados, diminui-se a vida útil desses equipamentos, elevando os custos à concessionária (ARIOLI, 2016). Além disso, o horário de carregamento pode ampliar a quantidade de problemas. Uma forma de reduzir este impacto dos VE sobre a rede elétrica, e que vem sendo adotada em muitos lugares, é a utilização da energia solar, principalmente nos locais dos postos de recargas. A Figura 3 mostra a evolução da energia solar no Brasil

Figura 3 – Evolução da Energia Fotovoltaica no Brasil



Fonte: ABSOLAR (2022)

A energia solar é uma fonte limpa e renovável, de fácil captação de energia, pois necessita somente do sol, não emite ruídos em sua geração e a área para implantação de um sistema fotovoltaico é pequena quando comparada a outras fontes de mesma capacidade. O Brasil possui um enorme potencial para geração de energia solar, que vem sendo aproveitado mais e mais a cada ano. Além de reduzir os gastos com energia elétrica, a energia solar pode ser aproveitada também na forma de energia térmica, aquecendo reservatórios de água. Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), em 2021, o Brasil ultrapassou a marca de 13 GW de potência instalada em sistemas fotovoltaicos, beneficiando mais de 933 mil unidades consumidoras do país, entre residências, comércios, indústrias e setor público. A Figura 4 mostra o exemplo de um posto de recarga com a utilização de energia solar, da empresa Tesla.

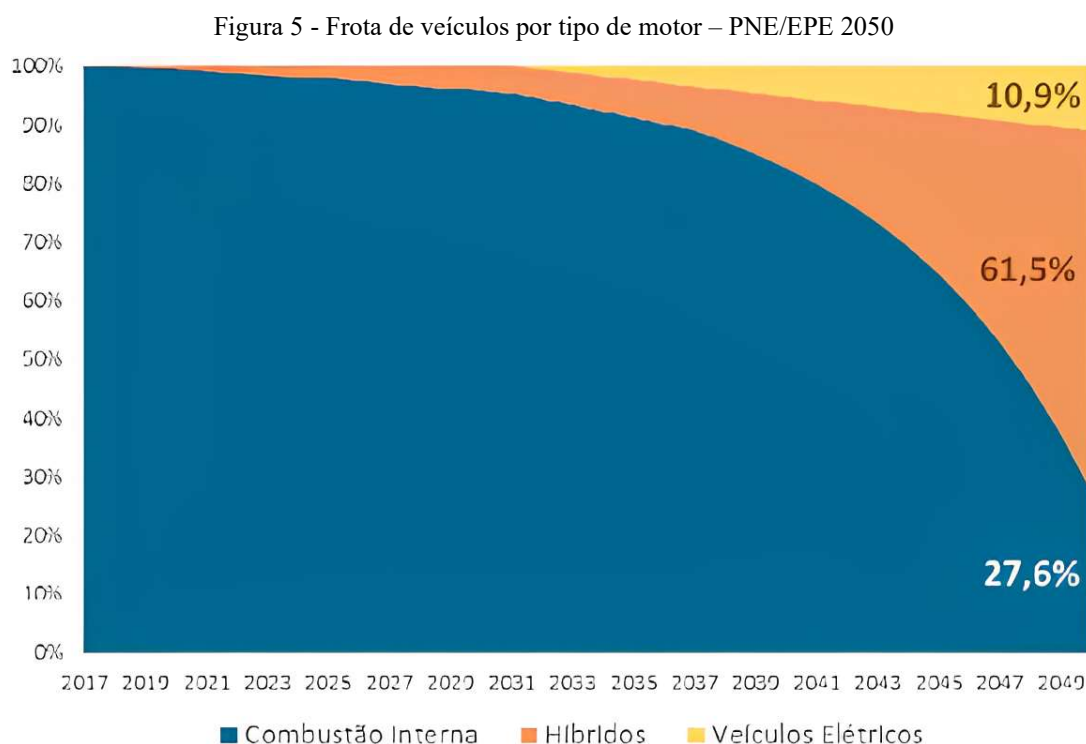
Figura 4 - Estação de recarga *Supercharger* da TESLA



Fonte: TESLA (2021)

Atualmente o setor de transportes corresponde a cerca de um terço do consumo final de energia no Brasil (BEN). Além de sua relevância no consumo energético e dos diversos impactos ambientais associados, o setor de transportes tem ampla relevância e abrangência econômica e social. O uso de uma tecnologia que modifica o atual sistema de propulsão dos veículos, como o VE, representa uma transformação industrial e econômica importante no setor de transportes, alterando nichos de mercado, estratégias corporativas e mudanças legislativas e

comportamentais. Dentro desta perspectiva, o Plano Nacional de Energia (PNE), desenvolvido pelo governo em parceria a Empresa de Pesquisa Energética – EPE traz um conjunto de estudos que dão suporte as estratégias de longo prazo do governo para diversos setores, entre eles transporte e energia. Compreender os efeitos da ampliação do número de VE no Brasil requer uma análise das vantagens, dos desafios e das barreiras ante as peculiaridades e contexto atual no país, dada a grande diferença entre as motivações da introdução do VE no mercado mundial e no Brasil (PNE, 2020). A Figura 5 traz as projeções do PNE para a evolução da participação dos veículos que compõem a frota brasileira para do período atual até 2050, divididos por tipo de motor.



Fonte: PNE (2020)

Para o Brasil, as questões associadas ao preço final do veículo, à infraestrutura de recarga e à regulação do uso da energia elétrica serão relevantes. Em um primeiro momento, entende-se que a eletrificação da frota brasileira ocorrerá por meio de veículos híbridos, onde os veículos leves devem contar com o desenvolvimento desta tecnologia associada à motorização *flex* de combustível. Como ainda há pouca infraestrutura específica para abastecimento dos VE, a implantação e padronização de postos para este fim, com limite de tempo de recarga, regras de acesso, procedimentos regulatórios e políticas para o comércio no mercado de distribuição, devem ocorrer de maneira proporcional a oferta de VE.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Demonstrar a viabilidade da adoção do veículo elétrico em detrimento do veículo a combustão, tanto no transporte pessoal (veículos leves) como no transporte público coletivo (ônibus elétricos).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar as vantagens do uso do veículo elétrico;
- Analisar o impacto financeiro da adoção de ônibus elétricos no transporte público;
- Destacar a necessidade da infraestrutura adequada de postos de recarga como motivador para a consolidação do veículo elétrico;
- Associar o uso da energia solar ao veículo elétrico, como cooperação ideal no uso destas tecnologias.

1.2 JUSTIFICATIVA

O uso de veículos elétricos e híbridos não é uma novidade do século XXI. Os VEs são tão antigos quanto os veículos a combustão. A novidade do momento é que a tecnologia possibilitou uma grande melhoria da autonomia e desempenho do VE, a ponto de competir com os veículos convencionais. Contando cada vez mais com a atenção e esforços da indústria automobilística e do poder público, os modelos de VE estão cada vez mais eficientes, mostrando-se uma alternativa viável para redução dos efeitos que a queima de combustíveis fósseis em grande escala causam, como o aquecimento global e a poluição atmosférica (ARAÚJO e EICHENBERGER, 2015).

Enquanto vários países Europeus constroem políticas públicas de incentivo ao uso do VE, como por exemplo, tornar a produção de veículos elétricos prioritária já a partir de 2025, o Brasil ainda recebe os primeiros modelos híbridos ou puramente elétricos para venda, porém, a preços altos e poucos atrativos, se comparados a outros veículos a combustão da mesma categoria. Além disso, poucas cidades possuem postos de recarga para VE, a manutenção ainda é cara e há poucas oficinas capacitadas, sendo que as peças são importadas. O caminho para

seguir o exemplo europeu pode demorar a acontecer nos países em desenvolvimento, como o Brasil, que apesar das dificuldades de inserção do VE, tem aumentado o número de VE na frota nacional.

Uma forma de ampliar a quantidade de VE é a utilização desta tecnologia no transporte público. A eletrificação pode ser um meio para modernização das frotas de transporte público, além de gerar novos modelos de negócios, oferecimento de novos serviços e novas oportunidades de trabalho. A eletrificação abre oportunidades para o serviço de recarga, que pode estar disponível em diversos espaços, inclusive nas residências e nos espaços de trabalho e lazer. Enquanto os postos de combustíveis convencionais demandam uma série de condições para sua operação, os postos de recarga elétrica permitem maiores possibilidades de abastecimento.

A modernização do transporte público não se limita somente a troca dos veículos, mas também a maneira como se oferece este serviço. Torna-se necessário oferecer à população um serviço de transporte público mais confortável, mais amigável ambientalmente e mais conectado às novas tecnologias da informação e da comunicação. Dentro desta proposta, a adoção da mobilidade elétrica pode contribuir para redução dos gases poluentes e para a descarbonização do meio ambiente.

O Brasil apresenta um repertório de geração de energia elétrica limpa maior, em relação ao restante do mundo, devido à grande participação das hidrelétricas na geração, e mais recentemente, da expansão das usinas eólicas e das plantas de energia solar. Alinhar a modernização do transporte público com a utilização da energia renovável é um grande desafio.

O sucesso na solução desse desafio permitiria fortalecer as bases locais de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia, e fornecer aos demais países uma solução ambientalmente relevante para as emissões oriundas do transporte, que é uma grande preocupação mundial da atualidade (VAZ, 2011).

1.3 ESTADO DA ARTE

O estudo dos VEs e seus impactos técnicos, financeiros e sociais têm sido alvo de diversos autores e pesquisadores, que projetam o crescimento deste tipo de veículo para as próximas décadas, à medida que se tornam acessíveis as pessoas.

Em seu trabalho, FRANCESCOTTO (2019) destaca que atualmente, a popularização dos veículos elétricos é algo que está sendo cada vez mais incentivado e apoiado por entidades governamentais em diversos países. Entre eles destacam-se a China, como líder mundial em

novos registros, seguida pelos EUA e países Europeus. No caso do Brasil, tanto a presença quanto os incentivos para o consumidor de veículos elétricos ainda são muito pequenos quando comparados com outros países. Há ainda o problema da falta de estrutura para a recarga dos VEs, visto que, sem a presença de estações de recargas espalhados pelo território brasileiro, a utilização desses veículos se torna pouco viável. Há uma forte ligação entre o número de estações de recarga e o número de veículos elétricos.

O autor MULLE (2018) ressalta que uma nova tendência para o setor automotivo são os veículos elétricos. Estes, diferentemente dos veículos movidos a combustão interna, apresentam-se como uma tecnologia eficiente e sustentável de locomoção. Entretanto, a integração em larga escala desses veículos ao sistema elétrico pode gerar distúrbios e estresse sobre a rede, implicando em problemas locais de sobrecarga de componentes como transformadores, variações de tensão e corrente, e perdas no sistema. O autor destaca ainda que a partir da análise do fluxo de potência é possível planejar aperfeiçoamentos e ampliações de um sistema de potência, visto que a introdução de novas cargas deve garantir a operação satisfatória juntamente as demais cargas do sistema, usinas geradoras de energia e linhas de transmissão e distribuição.

Para BARACHO (2016), a inserção significativa dos veículos elétricos na malha de transportes urbanos resultará numa mudança não só das questões ambientais e sociais, mas também na estrutura de um setor complexo, como é o setor elétrico brasileiro. No que tange as questões ambientais, o Brasil tem no setor de transporte o maior responsável pelas emissões de poluentes atmosféricos que provocam a chuva ácida, o efeito estufa e danos à fauna, à flora e ao próprio homem.

Para SÁ (2017), uma das tecnologias que poderia ajudar o veículo elétrico a ultrapassar o obstáculo da autonomia das baterias seria o carregamento constante proveniente de uma fonte de energia renovável, visto que estas poderiam assumir um papel de destaque nas políticas nacionais, no que diz respeito ao setor energético, e não ter associado qualquer custo adicional relacionado com o carregamento do veículo. A energia solar fotovoltaica ainda se encontra numa fase de grande desenvolvimento, mas tendo em conta as tecnologias já existentes no mercado, esta pode ser uma mais-valia para aumentar a autonomia dos veículos elétricos e diminuir o consumo de eletricidade.

Este trabalho tem o intuito de validar os trabalhos acima citados, mostrando as vantagens do uso do veículo elétrico quando comparado ao veículo de motor a combustão e o

ganho que se pode obter quando combinado com a geração fotovoltaica. Os estudos realizados neste trabalho compreenderão tanto veículos leves como ônibus elétricos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS

2.1.1 Tipos de Veículos Elétricos

Diferente dos veículos a combustão, os VEs podem ter mais de um motor, e não necessitam de tanque de combustível nem de sistema para exaustão de gases e, na grande maioria dos casos, a transmissão é bem mais simples do que nos veículos convencionais.

Além dos motores elétricos e dos armazenadores de energia, um VE também possui um inversor de frequência, um carregador, além de itens de segurança para a tensão de operação, que pode ser superior a 600 Volts. Atualmente, há poucos modelos puramente elétricos ou híbridos no mercado brasileiro, porém, a disponibilidade e variedade dos modelos têm aumentado a cada ano.

BEV (*Battery Electric Vehicle*)

O veículo que é puramente elétrico, também chamado pela sigla em inglês BEV (*battery electric vehicle*), não usa nenhum outro combustível, além da energia elétrica disponível nas baterias. O principal motivo que impede que os veículos puramente elétricos não substituam de vez os veículos à combustão é a densidade de energia das baterias e a infraestrutura necessária para carregá-las. Ainda existem muito mais postos de gasolina do que estações de recarga (ELÉTRICA, 2020).

HEV (*Hybrid Electric Vehicle*)

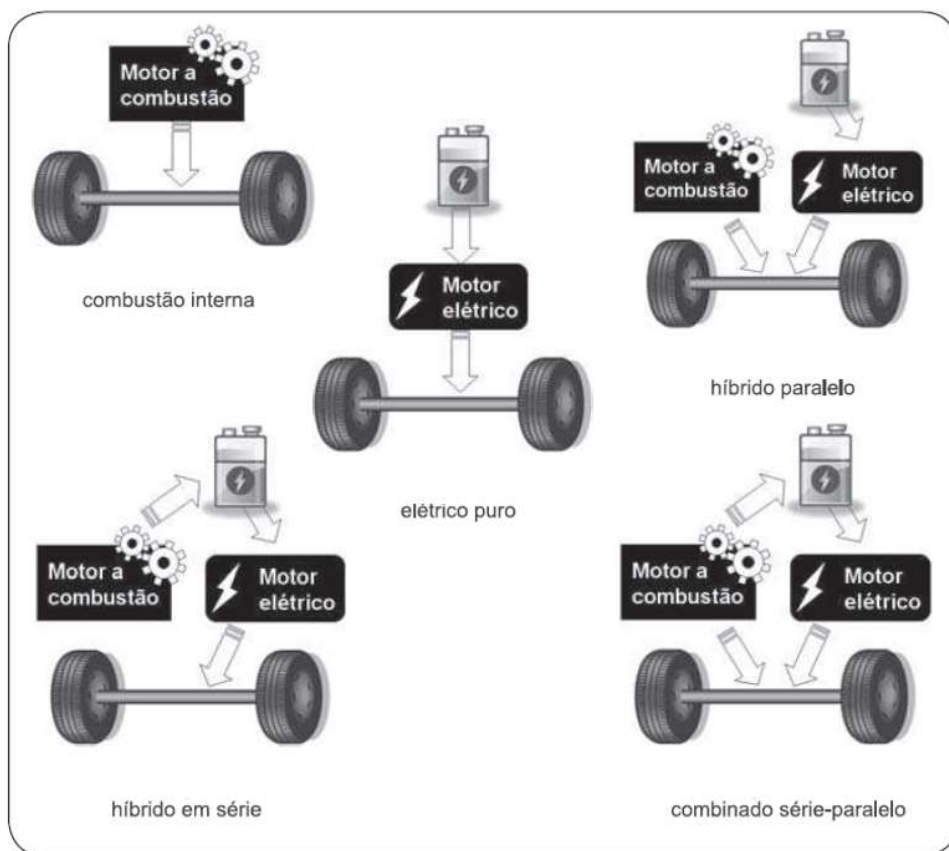
Os veículos híbridos recebem a sigla HEV (*hybrid electric vehicle*), por terem, além do motor elétrico e baterias, um motor à gasolina e tanque de combustível. Em muitos modelos de veículos híbridos, o motor à combustão além de mover o veículo, também é capaz de gerar energia para carregar as baterias. O uso do motor elétrico torna o veículo mais eficiente por combinar o torque e a força dos motores, que podem ser usados ao mesmo tempo, mas esta

combinação depende do objetivo de cada fabricante. Os HEVs têm autonomia maior que os BEV e gastam menos combustível que os veículos com motor à combustão, resultando num custo menor por quilometro rodado. Por outro lado, a mecânica dos veículos híbridos é mais complexa, pois combina a mecânica de um veículo elétrico com a de um veículo à combustão, sendo dois tipos de motores para dar manutenção mais as baterias (ELÉTRICA, 2020).

PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*)

O veículo do tipo PHEV (*plug-in hybrid electric vehicle*) é parecido com um HEV, mas a principal diferença está na possibilidade de recarga das baterias através do uso da rede elétrica, e não por um sistema regenerativo, caraterístico dos veículos HEV. O veículo PHEV permite uma variação de utilizar o tanque de combustível para trajetos mais longos, e usar a eletricidade das baterias nos trajetos do dia a dia, economizando muito mais no combustível que os outros tipos de veículos (ELÉTRICA, 2020). Observar-se na Figura 6, os tipos de motorização existentes nos veículos fabricados atualmente.

Figura 6 - Tipos de motorização dos veículos



Fonte: Araujo e Eichenberger (2015)

De maneira geral, há uma grande diversidade de configurações existentes, mas o objetivo principal é sempre o mesmo: substituir ou aumentar a eficiência do motor a combustão e, conseqüentemente, melhorar a eficiência total do veículo. Devido à utilização do motor a combustão, a autonomia de um veículo híbrido acaba sendo maior do que a de um veículo puramente elétrico, mesmo nos casos em que se utilizam baterias de menor capacidade e peso. As principais desvantagens dos veículos híbridos são a redução de espaço e carga útil, quando comparados com sistemas convencionais, além da complexidade e dos custos envolvidos, já que ambos os sistemas, convencional e elétrico, estão presentes em um mesmo carro (BRAVO *et al.*, 2014).

2.1.2 Tipos de Baterias

A história do VE está diretamente ligada ao desenvolvimento da tecnologia de armazenamento de energia, ou seja, às baterias. A invenção da bateria de chumbo-ácido, em 1859, viabilizou o surgimento dos primeiros veículos movidos a eletricidade, antes mesmo dos veículos movidos a gasolina, que só surgiram em 1886.

Existem vários tipos de baterias com potencial de aplicação em veículos elétricos, mas ainda não há um padrão entre os fabricantes. Há basicamente quatro tipos de baterias mais utilizadas pela indústria automobilística: baterias de chumbo-ácido, baterias de níquel-metal hidreto (NiMH), baterias de sódio e baterias de íon-lítio (BRAVO *et al.*, 2014).

As baterias mais utilizadas nos veículos a combustão são as de chumbo-ácido, que acionam as partes elétricas, como ignição, injeção eletrônica, ar-condicionado, vidro elétrico, computador de bordo, alarme, trava elétrica e som automotivo. Elas possuem como principais desvantagens o custo e o ciclo de vida curto. Por conter chumbo e ácido sulfúrico, estão sujeitas as normas ambientais que exigem seu recolhimento, descarte e eventual reciclagem.

As baterias de níquel-hidreto metálico (NiMH) são as dominantes para uso em veículos elétricos atualmente. Como principais vantagens estão a confiabilidade e a vida útil, estimada em 10 anos, enquanto as desvantagens estão no custo, principalmente por causa do alto quantidade de níquel, peso relativamente alto e eficiência baixa, pois há bastante perda de energia na forma de calor, além do fato de não poder descarregar completamente.

As baterias de sódio, também chamadas de “zebra” ou ainda de “sal fundido” são uma tecnologia relativamente recente, mas que têm como principal limitação a necessidade de aquecimento para cerca de 270°C em funcionamento, o que acaba por consumir muita energia.

Como vantagem apresenta o fato de não conter materiais tóxicos, como as de baterias de chumbo-ácido (BRAVO *et al.*,2014).

Já as baterias de íon-lítio são as mais promissoras atualmente, sendo inclusive utilizadas em alguns modelos de veículos elétricos. De forma geral, as baterias de íon-lítio, quando comparadas com as de NiMH, têm algumas vantagens como: maior eficiência e menor custo do metal (lítio, quando comparado com o níquel) e maior capacidade por volume. Entretanto ainda há desafios para esse tipo de bateria no que diz respeito à segurança, durabilidade e performance em condições extremas de temperatura.

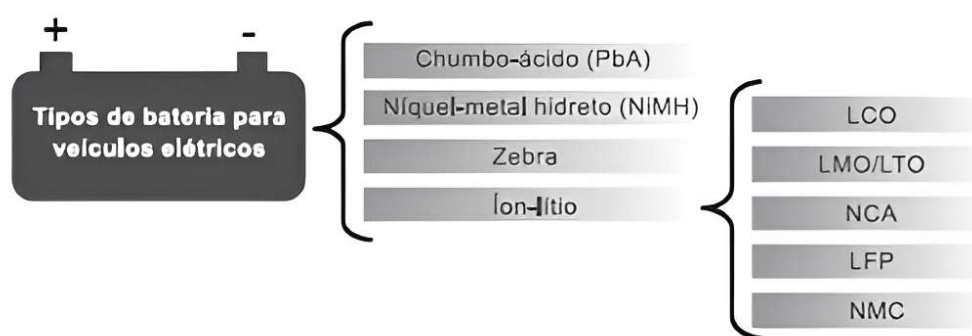
Em geral, as baterias de íon-lítio são compostas por um catodo (+) e um anodo (-). O catodo é o maior determinante da energia, da segurança, da vida útil e do custo da bateria. Assim, as principais diferenças das famílias de baterias íon-lítio residem nos catodos.

Exemplos de tipos de baterias de íon-lítio:

- LCO (óxido de lítio-cobalto),
- NCA (lítio-níquel-cobalto-alumínio, ou LiNiCoAl),
- NMC (lítio-níquel-manganês-cobalto, ou LiNiMnCo),
- LMO/LTO (lítio manganês spinel) e
- LFP (fosfato de ferro-lítio, ou LiFePO₄).

Observa-se na Figura 7 um diagrama esquemático dos principais tipos de baterias encontrados nos atuais veículos elétricos.

Figura 7 - Tipos de baterias para Veículo Elétrico



Fonte: Castro (2011)

Em geral, quando comparamos os tipos de baterias, sete parâmetros são relevantes para a escolha de uma bateria veicular:

1. Segurança;
2. Vida útil (quantos ciclos de carga e descarga e a idade);

3. Performance (desempenho em baixas temperaturas, medições e gerenciamento térmico);
4. Capacidade (quanta energia ela pode armazenar);
5. Potência específica;
6. Peso;
7. Custo.

2.1.3 Estações de Recarga

Uma das principais restrições ao uso do VE, além do alto preço e baixa autonomia, é a recarga da bateria. Normalmente a infraestrutura das estações de recarga conta com medidores de consumo, conectores para diferentes modelos e localização em lugares de fácil acesso, como as vias públicas. A depender da localização da estação de recarga, é possível classificá-la conforme a seguir:

- **Doméstica:** Estações de recarga em garagens de casas e apartamentos residenciais, usadas principalmente para abastecer os VEs durante a noite;
- **Trabalho:** Estações de recarga em garagens de escritórios onde os VEs podem ser abastecidos em até 7-8 horas;
- **Pública:** Estações de recarga em vias públicas e em locais de estacionamento como supermercados e shoppings, onde a recarga das baterias pode ser feita em até 4 horas.
- **Troca de bateria:** Estações de recarga de bateria semelhantes ao conceito dos postos de gasolina, onde a troca de baterias pode ser realizada em até 3 minutos.

2.1.3.1 Funcionamento

Os VEs podem ser recarregados em casa, em um estacionamento privado ou em estações de recarga públicas. O tempo de total de carregamento depende da potência e nível da carga atual da bateria, da potência máxima aceita pelo carregador a bordo do veículo, do tipo de cabo utilizado e da capacidade da bateria. Normalmente, um veículo elétrico com uma bateria de 25 kWh leva:

- Até 8 horas para carregar em casa, com uma potência média de 3 kW;

- Até 2 horas para carregar em estações de carregamento rápidas, com potência entre 7,4 e 22 kW;
- Até 30 minutos para carregar nas estações de carregamento super-rápidas, com potência entre 43 kW e 50 kW.

Nos postos de recarga públicos e privados, os carregadores são, normalmente, de carga rápida, e carregam em média 80% em uma hora (FRANCESCATTO, 2019).

Há também uma classificação das estações de recarga, com base nos níveis de energia, juntamente com o tempo necessária para efetua-la, dividida em três categorias:

- **Nível 1:** Esse nível é utilizado em residências com uma voltagem de até 120 volts e capacidade de 3,7 kW. Nesse tipo de estação, o carregamento do veículo elétrico demora muito tempo, podendo ser de 6 a 24 horas.
- **Nível 2:** Possui uma voltagem de operação entre 208 e 240 volts, capacidade de 3,7 kW até 22 kW e uma corrente que pode chegar a 32 A. O tempo de carregamento é menor que 6 horas.
- **Nível 3:** Nessa categoria estão os chamados *fast chargers* ou recarga super-rápida. A faixa de energia máxima que este tipo de estação de recarga consegue suportar é de 50 kW até 240 kW com uma corrente elétrica chegando até 400 A. Nesse nível, as estações de recarga são responsáveis por fazer a conversão entre corrente alternada e corrente contínua. A voltagem pode chegar a até 600 V.

2.1.3.2 Tipos de Conectores

Entre os modelos de VEs existem três tipos de padrão de conectores mais usados: padrão norte-americano, padrão europeu e padrão japonês. Os veículos elétricos vendidos no Brasil usam até cinco tipos de conectores: Os denominados SAE Tipo 1 e Tipo 2 AC, CCS Tipo 2, CHAdeMO e GB/T. Esta variedade de conectores pode causar alguns problemas, pois as estações de recarga somente oferecem alguns padrões de conectores (TAVARES, 2019). Os tipos de conectores mais comuns e usados pelos veículos elétricos vendidos no Brasil podem ser vistos na Figura 8, e estão listados abaixo:

SAE J1772 Tipo 1

É o padrão norte-americano. Por ser um dos primeiros padrões fabricados, tem uma capacidade reduzida, entregando somente 19,2 kW de potência, com uma tensão monofásica de 120V ou 240V.

SAE IEC 62196 Tipo 2

É o padrão mais comum, usado na Europa para os híbridos plug-in e para os elétricos mais antigos. Chamado IEC 62196 Tipo 2, ele foi feito para sistemas monofásicos e trifásicos, com tensão variando entre 250V e 400V. Entrega até 50 kW de potência em corrente alternada. Por isso, sua velocidade de recarga é bem menor, sendo mais apropriado para o uso residencial ou para várias cargas ao longo do dia, como em paradas nos shoppings e mercados. Todos os carros híbridos plug-in no Brasil são compatíveis com este tipo de conector.

GB/T

Este é o padrão chinês. Existem duas versões: a primeira é de corrente alternada de 32A e tensão entre 220V e 440V, fornecendo até 14,08 kW; a segunda é de corrente contínua, chegando a 187,5 kW de potência e tensão entre 400V e 750V.

CCS Tipo 1

Nada mais é do que uma adaptação do conector SAE J1772 Tipo 1, com mais dois contatos extras de corrente contínua na parte de baixo. Isso faz com que tenha retro compatibilidade com as estações de recarga que oferecem recarga em corrente alternada. A versão CCS aumenta a potência para 125 kW com a tensão entre 200V e 600V.

CCS Tipo 2

O conector CCS Tipo 2 também ganhou duas entradas para corrente contínua. É o conector mais moderno, aguentando uma voltagem de até 850V e transmitindo uma potência máxima de 170 kW.

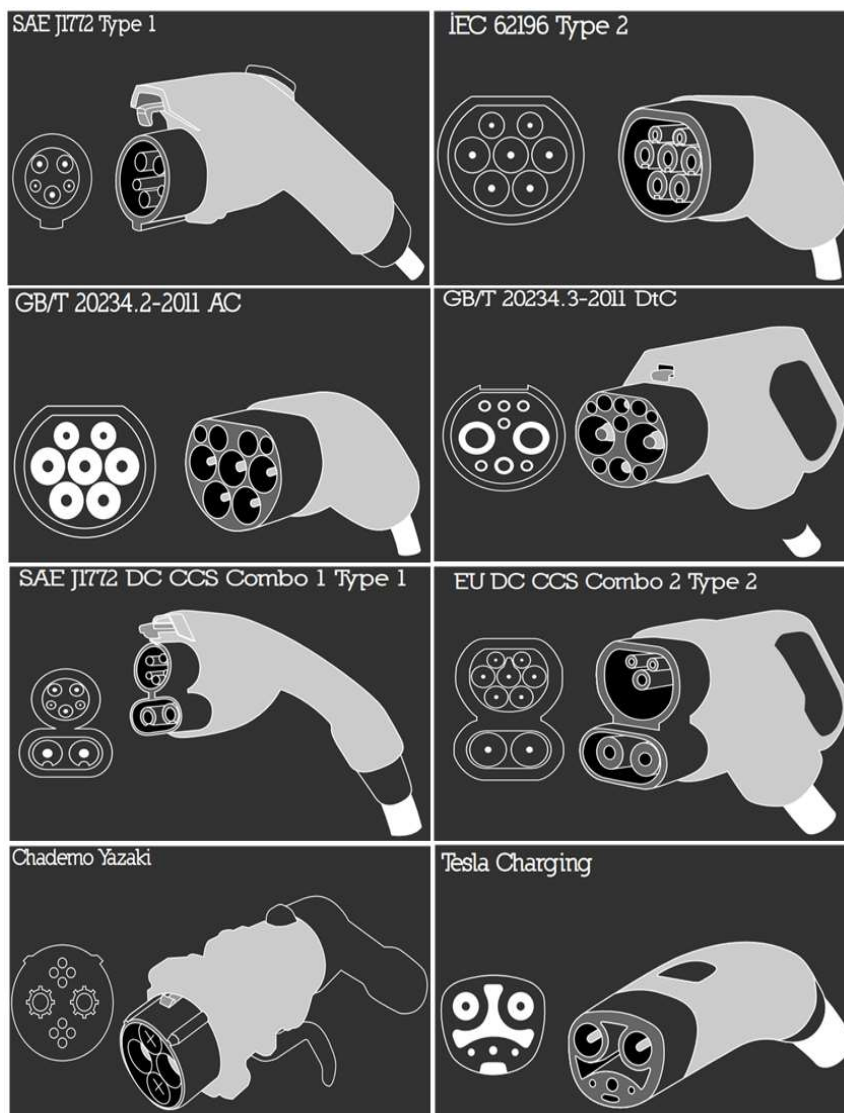
CHAdemo

Este é o padrão japonês. Foi o padrão proposto pelas grandes montadoras japonesas para que fosse o utilizado como o padrão mundial, porém, ficou restrito ao Japão. Tem uma potência máxima de 60 kW com tensão a 500V.

Tesla Charging

Este é um conector exclusivo da Tesla, desenvolvido pela própria fabricante para o *Supercharger*. Ele foi criado para trabalhar tanto com corrente alternada quanto contínua. As estações residenciais com corrente alternada fornecem até 19,26 kW, entre 110V e 240V. Os *Superchargers* trabalham em corrente contínua a uma potência de até 250 kW.

Figura 8 - Tipos de conectores para Veículos Elétricos



Fonte: Tavares (2019)

2.1.4 Infraestrutura no Brasil

As estações de recarga no Brasil são em sua maioria do tipo *wallbox* (carregador residencial), onde é possível recarregar as baterias em cerca de 6 a 8 horas para completar 100% da carga. Dependendo do fabricante do VE, este pode fornecer o serviço de recarga para residências, caso contrário é necessário comprar o equipamento, contratando um profissional para realizar as adequações e instalação.

As estações de recarga pública no Brasil ainda oferecem recarga para bateria gratuitamente, pois não existe regulamento e legislação específica que trate do tema, e elas são, em sua maioria, um meio de incentivar o uso do VE. Por isso, a ausência de regulação para a recarga indica que a infraestrutura de recarga das baterias está restrita a programas específicos do setor de energia e automotivo, aplicados em algumas cidades.

Exemplo disto, a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) iniciou em 2013 um projeto de pesquisa em mobilidade elétrica que visava integrar os veículos elétricos nas frotas de grandes empresas. Entre os objetivos do projeto da CPFL, destaca-se a avaliação dos impactos do veículo elétrico na rede de distribuição de energia com possíveis interferências causadas pela demanda de energia necessária e as necessidades de adequações dos padrões construtivos. Além disso, o projeto se propunha a estabelecer uma regulamentação tarifária para a cobrança nas estações de recargas.

Já na cidade de São José dos Pinhais, Paraná, uma empresa francesa do setor automotivo instalou um conjunto de painéis fotovoltaicos com 132 metros quadrados, cuja finalidade era a recarga de veículos elétricos da empresa. A geração solar era suficiente para recarregar as baterias de um veículo elétrico em até 2 horas (MARTINS, 2016).

2.1.5 Experiências internacionais

Em 2009, o governo de Portugal anunciou a implementação de um programa para a mobilidade elétrica, que tinha como principais objetivos a criação tanto de uma rede de estações de recarga como um modelo de serviço para uso do veículo elétrico.

A Holanda firmou parcerias com um grupo líder em tecnologias de eletricidade e automação, para fornecer a maior rede de recarga rápida do país. O projeto tem por objetivo espalhar pelas estradas holandesas cerca de 200 estações de recarga, com capacidade para reabastecer um veículo entre 15 e 30 minutos.

Nos Estados Unidos, a cidade de Palo Alto, Califórnia, desenvolve um projeto para incluir tomadas especiais para veículos elétricos em todas as casas a serem construídas, com um custo de cerca de U\$ 200 por instalação, atendendo até dois veículos elétricos. No início de 2012, a Tesla Motors, empresa americana especializada na tecnologia do veículo elétrico, desenvolveu as estações chamadas *Superchargers* e as instalou em diversos locais dos Estados Unidos, Europa e Ásia. Elas são projetadas para carregar as baterias de forma super-rápida e sem custo adicional para os proprietários de um Tesla (MARTINS, 2016).

2.2 ENERGIA SOLAR

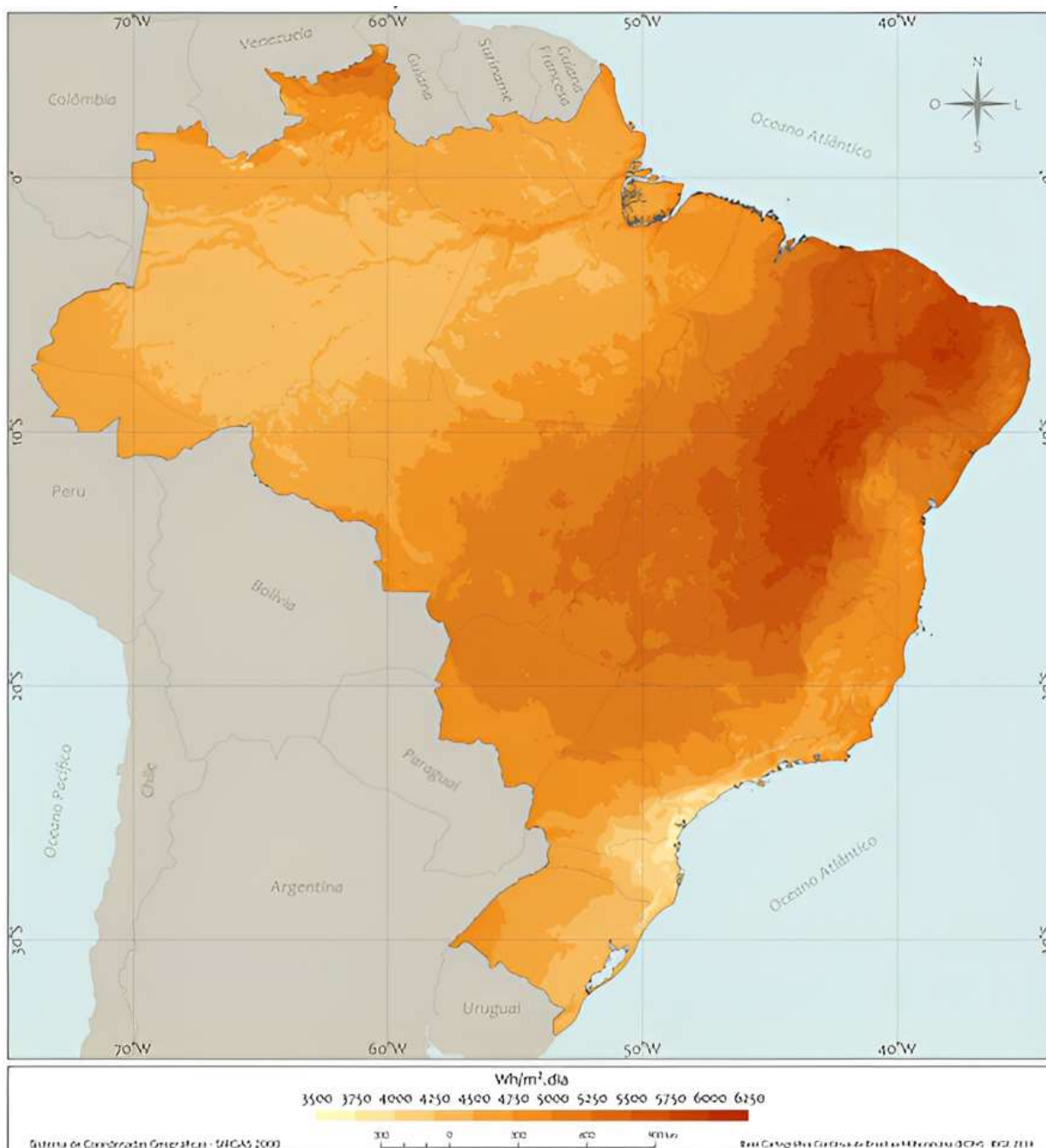
A conversão da energia solar em energia elétrica se dá através do efeito fotovoltaico (FV), descoberto por Becquerel em 1839, que ao observar certos materiais expostos à luz, estes eram capazes de produzir uma corrente elétrica. O elemento fundamental na conversão FV são as células solares. Em determinados materiais semicondutores, os fótons da radiação solar são capazes de transmitir sua energia aos elétrons de valência do semicondutor, tornando possível romper suas ligações de modo que fiquem livres e possam movimentar-se no material. O movimento dos elétrons gera uma corrente elétrica no semicondutor, que é aproveitável num circuito externo. Entre 1950 e 1970, as pesquisas se intensificaram nesta área, especialmente para aplicações espaciais. A grande mudança foi produzida a partir dos anos 70, motivada em parte pela crise energética internacional, que fomentou uma tentativa de diversificação das fontes de energia e promoveu o desenvolvimento da energia solar como fonte energética (SILVA, 2019).

O Brasil possui um imenso potencial para exploração da energia solar. Com fatores climáticos e incidência de radiação solar favoráveis, qualquer local do país pode aproveitar os benefícios desta tecnologia. O conhecimento sobre o potencial solar é essencial, pois a variabilidade da energia solar tem impactos em aspectos técnicos de qualidade. Além do potencial disponível, informações confiáveis sobre a variabilidade da energia solar são importantes para dar suporte ao desenvolvimento de projetos para aproveitamento dessa fonte de energia.

Com o intuito de contribuir com a geração de energia através da energia solar, o Atlas Brasileiro de Energia Solar, Figura 9, disponibiliza uma base de dados pública com informações cientificamente embasadas sobre o potencial e a variabilidade espacial e temporal da energia solar no território brasileiro, dando suporte ao setor de energia, contribuindo para o avanço

científico e tecnológico. A elaboração do Atlas Brasileiro de Energia Solar envolve um esforço conjunto de pesquisadores de várias instituições e abrange um conteúdo interdisciplinar que vai desde a aplicação de conceitos astronômicos e da física dos processos radiativos na atmosfera até a geração de cenários de aplicação dos recursos de energia solar disponíveis no território brasileiro.

Figura 9 – Mapa do Atlas Brasileiro de Energia Solar

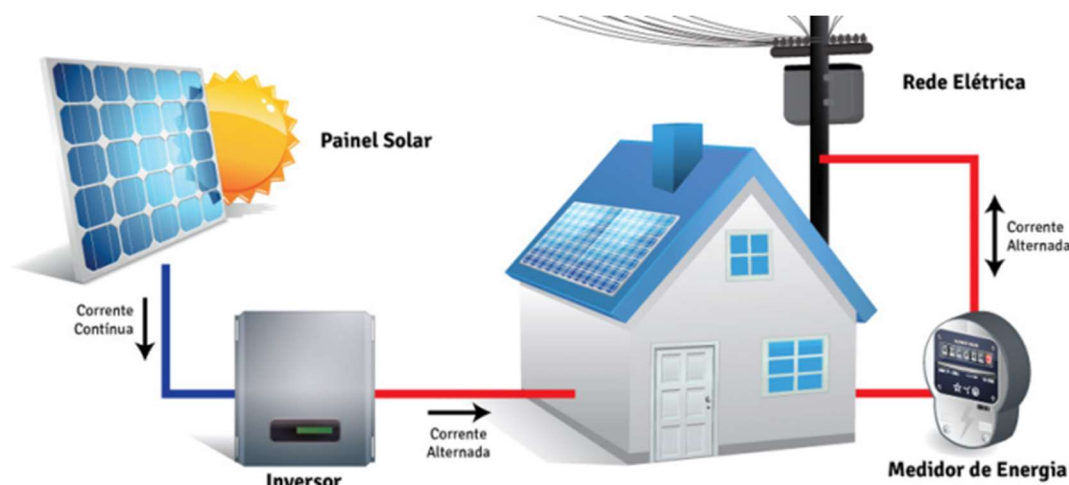


Fonte: Pereira *et al.* (2017)

Um sistema fotovoltaico é constituído basicamente por painéis fotovoltaicos, o qual converte a energia solar em energia elétrica com corrente contínua, e utiliza um inversor para

converter a corrente contínua em corrente alternada, que é disponibilizada para a instalação elétrica. Outros equipamentos podem fazer parte do sistema, como banco de baterias, mais utilizados em sistemas isolados e o medidor de energia bidirecional, fornecido pela concessionária de energia. A Figura 10 ilustra um sistema fotovoltaico do tipo *on grid* (conectado à rede).

Figura 10 – Equipamentos de um Sistema Fotovoltaico



Fonte: SOLIS ENERGIA (2021)

O painel solar é o principal componente de um sistema fotovoltaico e é formado por um conjunto de células solares que geram energia elétrica através da luz do sol. Existem inúmeras variações de painéis solares, porém um painel típico terá aproximadamente 2m², peso de pouco mais de 10 Kg e 36 células solares. Atualmente, os modelos podem chegar até 800 Watts de potência máxima, dependendo da tecnologia empregada. Além disso, um sistema fotovoltaico pode possuir muitos painéis, montados de diferentes formas, permitindo configurar sistemas com diversas potências e tensões. Há três tipos básicos de tecnologias (Figura 11) aplicadas aos painéis solares:

Painéis Solares Monocristalinos

São mais eficientes e feitos de células monocristalinas de silício. O silício utilizado deve ter elevada pureza, o que envolve um processo complexo para fabricar os cristais de cada célula. Quanto mais perfeitamente alinhadas estiverem as moléculas de silício, melhor a célula solar será na conversão de luz solar em energia elétrica.

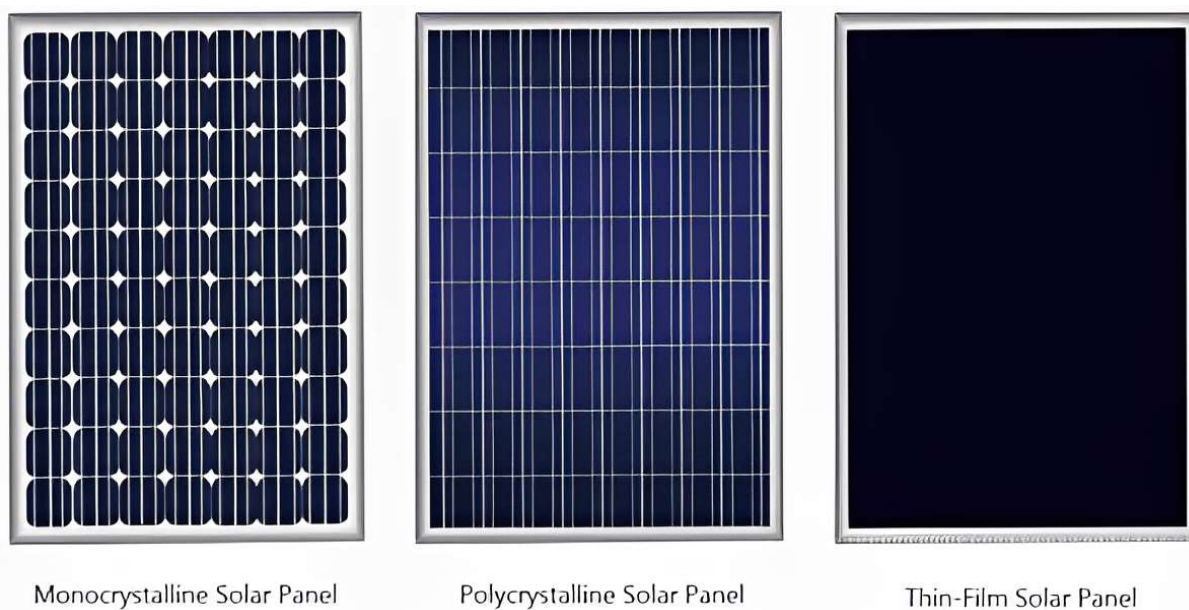
Painéis Solares Policristalinos

São um pouco menos eficientes que os monocristalinos. Nestes painéis as células são formadas por diversos e não somente um cristal, dando uma aparência de vidro quebrado à célula.

Painéis de Filme Fino

Um painel solar de filme fino é uma segunda geração de células solares, que é feita depositando uma ou mais camadas finas, ou filme fino, de material fotovoltaico em um substrato, como vidro, plástico ou metal. As tecnologias de filme fino sempre foram mais baratas, mas menos eficientes que a tecnologia convencional com silício.

Figura 11 – Tecnologias de Painéis Fotovoltaicos



Fonte: SOLAR (2021)

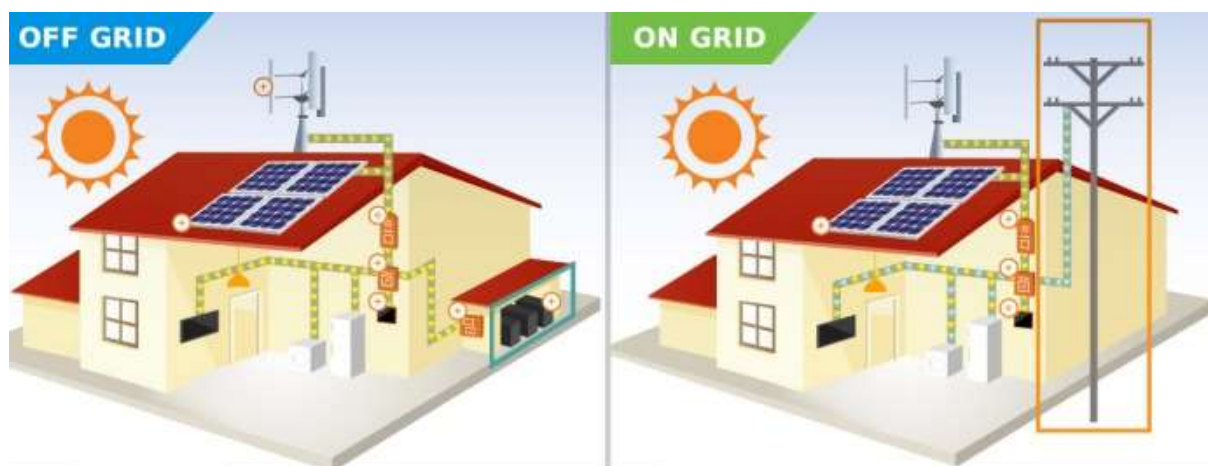
O inversor solar é o equipamento usado para converter a energia gerada pelos painéis solares de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), possibilitando o uso da energia elétrica gerada. O inversor também deve garantir a segurança do sistema fotovoltaico e armazenar os dados da geração de energia para o monitoramento do desempenho do sistema. De forma geral, existem dois tipos: o inversor solar *on grid* e o inversor solar *off grid*, conforme ilustrado na Figura 12.

Os inversores do tipo *on-grid* são feitos para trabalhar diretamente com a rede e, de forma automatizada, se comportam como unidade de controle do sistema fotovoltaico. Como

estão ligados permanentemente à rede, os inversores devem ser capazes de fornecer a corrente alternada da maneira mais perfeita possível, além de detectar qualquer anomalia que apareça na rede, como flutuações de tensão ou de frequência, e principalmente as quedas de tensão. No caso de quedas de tensão, deve desligar automaticamente, evitando pôr em risco o serviço de manutenção.

Os inversores do tipo *off grid* são feitos para alimentar diretamente às cargas, retirando energia diretamente de um banco de baterias, gerando o sinal elétrico de corrente alternada e fornecendo a potência elétrica diretamente aos aparelhos consumidores. Esse tipo de inversor solar fotovoltaico é utilizado nos sistemas fotovoltaicos isolados, comumente chamados de *off-grid*, justamente pela sua capacidade de fornecer energia diretamente às cargas, dependendo somente do banco de baterias.

Figura 12 – Sistemas On-Grid e Off-Grid



FONTE: COOPE SOLAR (2021)

2.2.1 Projetando um Sistema Fotovoltaico

O passo inicial para projetar um sistema fotovoltaico é analisar o consumo de energia a ser gerado pelo sistema. Normalmente é considerado o histórico de consumo de energia de uma unidade consumidora ou calculado o consumo de energia através das potências dos equipamentos e tempo que serão utilizados diariamente. Baseado neste consumo que se dimensiona o sistema fotovoltaico.

De acordo com a localidade da instalação do sistema, verifica-se o potencial de geração solar disponível ao longo do ano. Estas informações podem ser obtidas em uma base de dados como o Atlas Brasileiro de Energia Solar. Depois de determinado o consumo e o potencial de

geração solar, é possível determinar a quantidade de painéis fotovoltaicos, área necessária para a instalação, quantidade de inversores e a geração de energia esperada, de acordo com os dados técnicos dos equipamentos. De acordo com a quantidade e modelo dos equipamentos escolhidos, calcula-se o investimento necessário para a instalação, não esquecendo do valor da mão-de-obra de um profissional qualificado para executar a correta instalação do sistema fotovoltaico. Lembrando que para conectar o sistema com a rede de energia (*on-grid*), será necessário apresentar os projetos de dimensionamento do sistema, elaborados por profissional qualificado, para a distribuidora de energia local e aguardar autorização para conexão.

A manutenção de um sistema fotovoltaico consiste basicamente em limpar as placas solares uma vez ao ano, ou quando o sistema apresentar uma queda na produção de energia, devido ao acúmulo de sujeira. No geral, o impacto da manutenção no custo da energia é mínimo e não representa mais do que 1% por ano do custo total do sistema.

2.2.2 Software PVsyst

O PVsyst (*Photovoltaic Software*) é um software utilizado para auxiliar no dimensionamento e desenvolvimento de projetos de geração solar fotovoltaica. O software serve como apoio aos profissionais, principalmente em questões complexas, como cálculo de perdas por sombreamento, depreciação dos equipamentos, sujeira nos painéis, análise financeira sob diferentes cenários, produção estimada de energia considerando a eficiência individual de cada equipamento do sistema e vários outros recursos.

O projeto do sistema é feito de maneira rápida e simples. Primeiro especifica-se a potência do sistema ou a área a ser ocupada pelos painéis fotovoltaicos. Em seguida, é feita a escolha do painel fotovoltaico e do inversor, de acordo com o banco de dados disponível no software. O PVsyst irá propor uma configuração de arranjo do sistema, que permite realizar uma simulação preliminar.

O PVsyst possui um módulo capaz de simular de forma repetitiva e automática o mesmo sistema sob múltiplas orientações, inclinações e distanciamento entre fileiras repetidamente, variando os parâmetros em passos e mapeando a geração para cada um dos casos. O mapeamento da geração de energia é muito útil para se comparar como um mesmo sistema, num mesmo local, se comporta ao se variar sua inclinação e orientação. O resultado da simulação mostra a distribuição da geração mensal ao longo do ano, a produção total de energia, a performance do sistema, além das perdas. Essas informações permitem avaliar a qualidade e rentabilidade do sistema. A Figura 13 ilustra uma tela do software PVsyst.

Figura 13 – Tela do software PVsyst

Grid system definition, Variant VCD: "First simulation: simple system without perturbations"

Sub-array

Sub-array name and Orientation
 Name: PV Array
 Orient: Fixed Tilted Plane
 Tilt: 25°
 Azimuth: 20°

Presizing Help
☐ No sizing
☒ Enter planned power: 16.1 kWp
☐ ... or available area(modules): 125 m²
☒ Resize

Select the PV module
 Available Now: Filter: All PV modules
 Generic: 190 Wp 22V Si-poly Poly 190 Wp 54 cells Since 2015 Typical
☐ Use optimizer
 Sizing voltages: Vmpp (60°C) 22.0 V
 Voc (-10°C) 36.8 V

Select the inverter
 Available Now: Output voltage 230 V Mono 50Hz
 Generic: 4.2 kW 125 - 500 V TL 50/60Hz 4.2 kWac inverter Since 2012
 Nb. of inverters: 3
 Operating voltage: 125-500 V Global Inverter's power: 12.6 kWac
 Input maximum voltage: 700 V "String" inverter with 2 inputs

Design the array
Number of modules and strings
 Mod. in series: 13 between 6 and 18
 Nb. strings: 6 between 5 and 6
 Overload loss: 0.0 %
 Pnom ratio: 1.18
 nb. modules: 78 Area: 115 m²

Operating conditions
 Plane irradiance: 1000 W/m²
 Vmpp (60°C): 285 V
 Vmpp (20°C): 345 V
 Voc (-10°C): 478 V
 Imp (STC): 43.8 A
 Isc (STC): 46.9 A
 Isc (at STC): 46.9 A
 Max. operating power: 13.2 kW
 at 1000 W/m² and 50°C
 Array nom. Power (STC): 14.8 kWp

List of subarrays

Name	#Mod #Inv.	#String #MPPT
PV Array		
Generic - Poly 190 Wp 54 cells	13	6
Generic - 4.2 kWac inverter	3	1

Global system summary

Nb. of modules	78
Module area	115 m²
Nb. of inverters	3
Nominal PV Power	14.8 kWp
Maximum PV Power	13.8 kWDC
Nominal AC Power	12.6 kWAC

System overview Simplified sketch Cancel OK

Fonte: PVsyst (2022)

3 METODOLOGIA

O VE é cada vez mais visto como o meio de transporte que substituirá o VC, apresentando-se como uma opção com emissões muito reduzidas ou até mesmo nulas de gás carbônico. As baterias utilizadas, na sua maioria, à base de lítio, determinam a autonomia dos veículos, que pode variar de acordo com o tipo de motorização do VE. Para que se torne viável o uso dos VEs, é essencial que existam postos de recarga suficientes nas cidades e estradas.

Em média, um VE tem uma autonomia entre 100 e 200 km, dependendo do estilo de condução, tipo de percurso, marca do automóvel, utilização do ar-condicionado ou do aquecimento. A recarga das baterias não convém que seja efetuada quando a sua autonomia estiver num valor bastante reduzido, sendo, aliás, recomendado que quando estiver abaixo de 50 % da sua capacidade total efetue-se o seu recarregamento. Desta forma, a tendência é que o veículo deva ser carregado diariamente (SALGUEIRO, 2017).

Este trabalho é composto por dois estudos: o primeiro discute a formação de preço e variação dos tipos de combustíveis, sendo feita uma análise comparativa do custo de abastecimento ou recarga para alguns modelos de veículos leves a combustão e elétricos; o segundo estudo busca evidenciar o impacto positivo que uma frota de ônibus elétricos pode ter sobre a rede de transporte público. Este estudo foi projetado como parte de um projeto de reforma da antiga rodoviária da cidade de Campo Grande/MS.

3.1 VEÍCULOS A COMBUSTÃO X VEÍCULOS ELÉTRICOS

No primeiro estudo são apresentados os principais combustíveis utilizados na frota nacional de veículos, como é a formação e variação dos preços. Em seguida são feitas análises comparando os custos e benefícios para o abastecimento de veículos a combustão e recarga de veículos elétricos. Depois de definidos os modelos de veículos a serem analisados e suas características técnicas, realiza-se o cálculo do preço médio dos combustíveis. Para a gasolina e etanol, as informações de preço em todas as regiões do Brasil são disponibilizadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP). De maneira semelhante, as informações de preço da energia elétrica em todas as regiões do Brasil são disponibilizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Com as informações dos preços de combustíveis em cada estado, calcula-se o preço médio, de acordo com cada região macroeconômica do país. Em seguida, de

acordo com os dados técnicos do veículo selecionado, multiplica-se a capacidade do tanque de combustível pelo preço médio encontrado. Desta forma, temos o seguinte cálculo:

$$\text{Capacidade do Tanque (L)} \times \text{R\$ / L médio / região} = \text{Gasto com combustível (R\$)}$$

Multiplicando-se a capacidade do tanque de combustível pelo consumo do veículo, temos a distância máxima que o veículo pode alcançar.

$$\text{Capacidade do Tanque (L)} \times \text{Consumo (km/L)} = \text{Distância máxima (km)}$$

Assim, calcula-se o gasto por km do veículo com combustível.

$$\text{Gasto com combustível (R\$)} / \text{Distância máxima (km)} = \text{Gasto R\$ / km}$$

De maneira similar, com as informações dos preços das tarifas de energia elétrica em cada distribuidora de energia, calcula-se o preço médio, de acordo com cada região macroeconômica do país. Em seguida, de acordo com os dados técnicos do veículo elétrico selecionado, multiplica-se a capacidade da bateria pelo preço médio encontrado.

$$\text{Capacidade da bateria (kWh)} \times \text{R\$ / kWh médio / região} = \text{Gasto com recarga (R\$)}$$

Com as informações de autonomia da bateria, é possível calcular o gasto por km do veículo elétrico. Desta forma:

$$\text{Gasto com recarga (R\$)} / \text{Autonomia da bateria (km)} = \text{Gasto R\$ / km}$$

Realizado todos os cálculos dos custos de reabastecimento dos veículos a combustão e dos veículos elétricos, realiza-se a comparação dos resultados.

3.2 POSTOS DE RECARGA PARA ÔNIBUS ELÉTRICOS

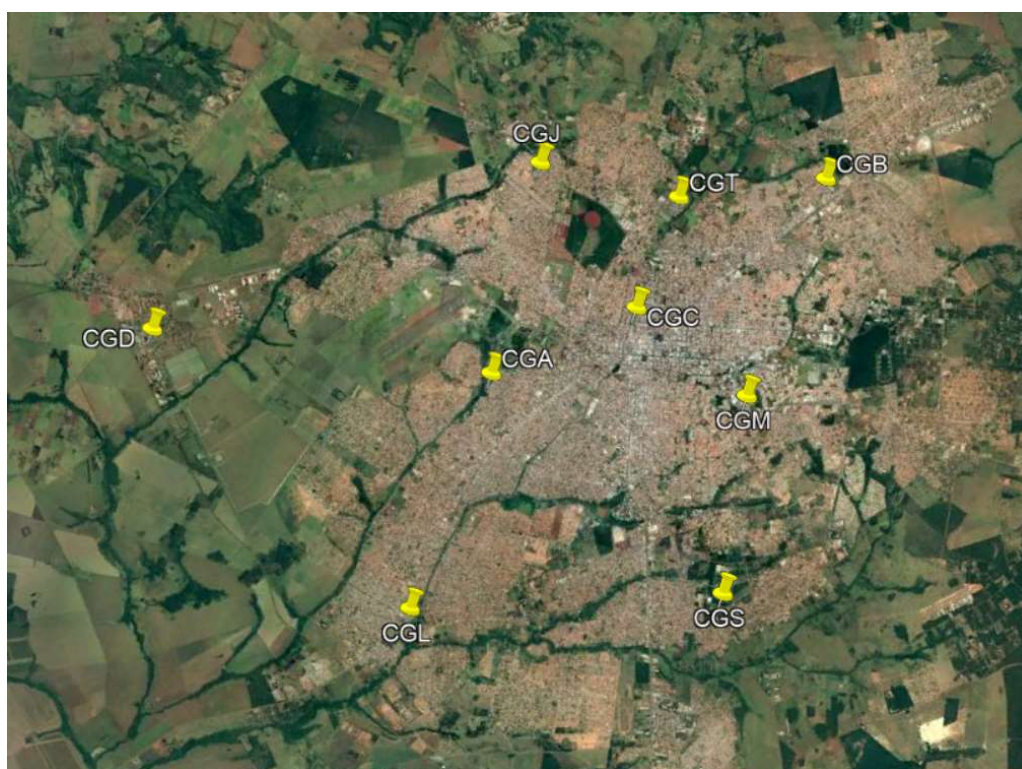
No segundo estudo simula-se a instalação de um posto de recarga para veículos elétricos, cujo objetivo será abastecer uma frota especial de ônibus elétricos de transporte de passageiros, visando à redução de custos, divulgação e incentivo ao uso de veículos elétricos. Complementar ao posto de recarga, simula-se a instalação de um sistema fotovoltaico para compensar os gastos com energia elétrica.

O primeiro passo é calcular a demanda e consumo de energia necessários para abastecer os ônibus elétricos. Os postos de recarga serão instalados em Campo Grande, capital do estado

de Mato Grosso do Sul, localizada na região Centro-Oeste, com uma população de mais de 840 mil habitantes (31,77% do total estadual) e cerca de 104 hab/km², sendo o terceiro maior e mais desenvolvido centro urbano da região Centro-Oeste e a 22^a maior cidade do Brasil em 2018, segundo dados do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Na parte energética, Campo Grande é suprida por seis linhas de transmissão em 230 kV (Rede Básica) e mais oito linhas de transmissão em 138 kV que alimentam o sistema de distribuição da concessionária local, que conta com 11 subestações de distribuição de energia, conforme a Figura 14, sendo 95 alimentadores em média tensão espalhados pelo perímetro urbano e rural do município, que atendem a mais de 380 mil unidades consumidoras, com um consumo de energia equivalente a 2,2 GWh ao ano (CAMPO GRANDE, 2021).

Figura 14 - Visão Geral das Subestações de Campo Grande



Fonte: Elaborado pelo autor. Reprodução no Google Earth

No setor de transporte público, a cidade de Campo Grande adota o modelo de concessão ao setor privado, onde cinco concessionárias exploram o serviço de transporte público coletivo. Atualmente conta com 8 terminais de transbordo de passageiros, uma frota de 552 ônibus, distribuídas em 197 linhas de ônibus, que transportam em média, mais de 200 mil pessoas/dia.

De acordo com dados da Agência Municipal de Transporte e Trânsito (AGETTRAN), na Tabela 2, a frota de ônibus do transporte coletivo de Campo Grande possui 552 veículos (2020), todos utilizando o diesel como combustível.

Tabela 2 – Frota de transporte coletivo por ônibus – Campo Grande

CATEGORIA	CAPACIDADE	FROTA						
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Miniônibus executivo com ar-condicionado - mínimo 11,00 m	40	21	23	23	23	23	14	14
Miniônibus executivo com ar-condicionado - mínimo 7,60 m	24	2	0	0	0	0	0	0
Miniônibus convencional – mínimo 7,60 m	40	7	4	4	15	15	30	29
Básico Leve (11 m a 12 m)	70	210	225	220	214	214	180	178
Básico Médio (acima de 12 m até 13 m)	80	84	82	82	82	82	112	112
Básico Médio (acima de 13 m)	90	209	221	220	221	221	204	206
Articulado	140	50	38	38	32	13	13	13
TOTAL		583	593	587	587	568	553	552

Fonte: Campo Grande (2021)

Considerando os ônibus das categorias Básico Leve (11m a 12m) e Básico Médio (acima de 12m até 13m), há um total de 290 ônibus. Substituindo 10% desse total, seriam 29 ônibus convencionais trocados por modelos de VE para o transporte coletivo público, para serem utilizados nas rotas centrais da cidade, nos horários em que há maior demanda de passageiros, das 6h às 9h e das 16h às 19h, de segunda a sexta-feira.

O modelo de ônibus elétrico considerado neste trabalho é o modelo D9W, da empresa BYD, o qual apresenta características semelhantes em tamanho e capacidade de transporte de passageiros, em comparação aos ônibus das categorias selecionadas. A ficha técnica deste modelo é apresentada no ANEXO A. Assim, de acordo com os dados técnicos do modelo escolhido, o cálculo da demanda do posto de recarga, será:

$$\text{Nº de ônibus elétricos} \times \text{Demanda de recarga do modelo (kW)} = \text{Demanda (kW)}$$

Para o consumo do posto de recarga, utiliza-se a capacidade da bateria em kWh e a autonomia da bateria do modelo em km. Calcula-se o consumo por quilometro:

$$\text{Capacidade da bateria (kWh)} / \text{Autonomia da bateria (km)} = \text{Consumo (kWh/km)}$$

A Tabela 3 tem as informações sobre o transporte coletivo por ônibus na cidade de Campo Grande, no período de 2014 a 2020.

Tabela 3 – Informações sobre transporte coletivo por ônibus - Campo Grande

Médias de Passageiros e Frota Total	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Frota total	583	593	587	587	568	553	545
Média de passageiros/dia transportados	217.920	209.803	201.243	188.611	183.253	169.227	101.365
Média de quilômetros rodados/dia	108.543	107.345	104.693	103.609	98.279	95.397	60.976
Média de passageiros/ônibus (Operacional)	407	393	377	354	357	338	293
Passageiros/Km (bruto)	2,01	1,95	1,92	1,82	1,86	1,76	1,66

Fonte: Campo Grande (2021)

De acordo com a Tabela 3, cada ônibus percorre diariamente uma de média 168 km. A autonomia do ônibus D9W, em sua ficha técnica, é de 250 km, ou seja, é possível atender as distancias médias diárias com apenas uma carga de bateria por dia. Além disso, a recomendação é de que cada ônibus elétrico consuma até 80% da bateria antes de recarregar, o que alteraria a autonomia da bateria para 200 km.

Assim, o cálculo do consumo diário de energia de cada ônibus será:

Autonomia da bateria (200 km/dia) * Consumo (kWh/km) = Consumo diário (kWh/dia)

Portanto, o consumo mensal de energia será:

Consumo diário (kWh/dia) x N° de ônibus elétricos x N° de Dias = Consumo mensal (kWh/mês)

Com a aquisição de 29 modelos de ônibus elétrico D9W, seriam necessários 29 pontos de recarga. Porém, adotando uma logística diferente, onde metade dos ônibus D9W atendam as rotas centrais no período da manhã e a outra metade, atendam as rotas centrais do período da tarde, apenas 15 pontos de recarga seriam suficientes.

Assim, é possível estabelecer um rodízio de recarga dos ônibus elétricos, onde os VEs que circulam pela manhã, das 6h às 9h, seriam recarregados entre 12h e 16h e os VEs que circulam a tarde e noite, das 16h às 19h, seriam recarregados das 6h às 10h. Desta forma, com

as recargas sendo feitas fora do horário de ponta, e durante o dia, torna-se possível a utilização da energia fotovoltaica para compensar a energia elétrica gasta nos postos de recarga.

Com a informação do consumo mensal de energia, dimensiona-se o sistema fotovoltaico. O software *PVsys*, simulará o desempenho do sistema projetado. Uma vez atendido o consumo esperado na simulação, realiza-se a análise financeira de todo o projeto, com a aquisição dos ônibus, gastos com abastecimento e investimento no sistema fotovoltaico. A comparação dos resultados determinará qual o melhor cenário.

3.2.1 Local de instalação dos postos de recarga

Fundada em 16 de outubro de 1976, o Terminal Rodoviário de Campo Grande funcionou como ponto de partida e chegada do transporte interestadual e como terminal central do transporte coletivo urbano por 34 anos, até a construção de um novo terminal rodoviário. O prédio conta com várias salas comerciais e a prefeitura da cidade pretende realizar a reforma completa, após mais de 10 anos desde o último investimento na infraestrutura do local. As figuras 15 e 16 mostram o estado atual e o projeto de reforma da antiga rodoviária.

Figura 15 - Visão geral da antiga rodoviária



Fonte: AGÊNCIA (2022)

Figura 16 - Visão geral da rodoviária após a reforma



Fonte: Mattos e Gellio (2022)

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão feitas análises do custo para o abastecimento de VC e para a recarga do VE. A análise de custo/benefício da aquisição de um VE será realizada apenas para o transporte coletivo, onde a análise pode ser puramente técnica. A aquisição de um veículo novo, de uso particular, envolveria diversos outros fatores, como o tipo de uso, poder aquisitivo do consumidor, local onde mora, tamanho da família, influência das redes sociais, preferência pessoal etc.

4.1 COMBUSTÍVEIS, ENERGIA ELÉTRICA E IMPOSTOS

Neste tópico serão apresentados os principais combustíveis utilizados na frota nacional de veículos, como é sua formação de preço e variação, e na sequência, será feita uma comparação entre o custo de abastecer um VC e o de recarregar um VE.

4.1.1 Combustíveis

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) é um órgão federal vinculado ao Ministério de Minas e Energia, criado em 1997 pela lei n ° 9.478, responsável por estabelecer políticas nacionais para aproveitamento racional das fontes de energia. Ela é responsável também pela regulação das indústrias brasileiras de petróleo, gás natural e biocombustíveis. A ANP tem por dever garantir o suprimento desses produtos em todo o território nacional, protegendo os interesses dos consumidores quanto ao preço, qualidade e oferta destes produtos.

Gasolina e Diesel

Fundada em 1953, a Petrobras atua na exploração de petróleo e na produção de seus derivados. Ao longo dos anos de atuação, a empresa se consolidou na liderança em prospecção de petróleo *offshore*, o que colocou a companhia entre as principais empresas petrolíferas no mundo.

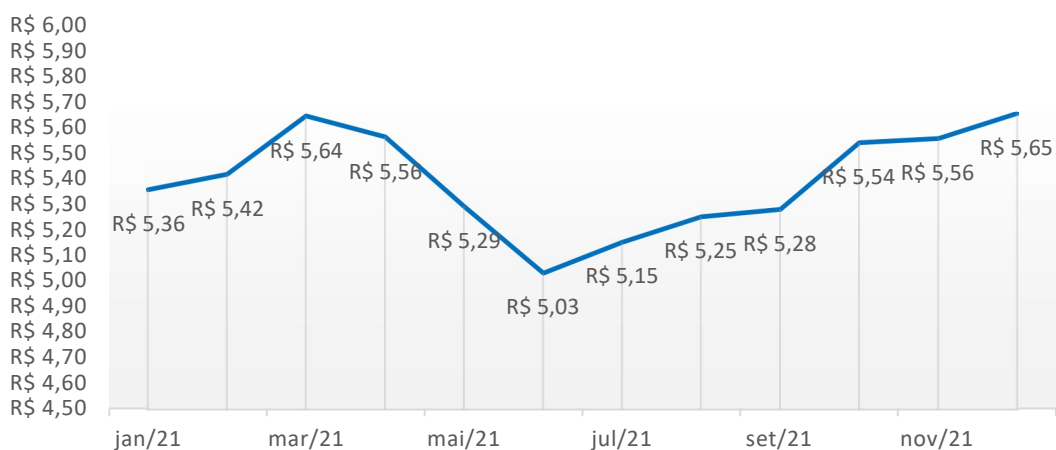
Antes do contexto atual da política de preços de combustíveis no Brasil, no começo da década de 2010, havia em prática uma política de preços de combustíveis descolados dos preços internacionais, para melhor controle da inflação. Como resultado, o preço dos combustíveis se mantinha relativamente mais baixo em relação aos padrões internacionais. Porém, desde 2016, houve uma mudança na política adotada, fazendo com que os preços dos derivados do petróleo fossem atrelados aos padrões de preços internacionais, o que elevou os preços dos combustíveis no Brasil. Desta forma, o preço do petróleo passou a seguir as cotações internacionais do barril de petróleo, que variam diariamente, para cima e para baixo e são cotadas em dólar americano. As Figuras 17 e 18 apresentam a variação do preço do petróleo e do dólar. Essa mesma lógica é aplicada a outros tipos de *commodities* nas economias abertas, onde é possível importar e exportar como, por exemplo, trigo, café, metais, entre outros.

Figura 17 – Variação do preço do barril de petróleo tipo Brent



Fonte: *Index Mundi* (2021)

Figura 18 – Cotação do dólar em reais - 2021



Fonte: *Index Mundi* (2021)

Na Figura 19 pode-se observar a cadeia produtiva do petróleo. As distribuidoras de combustível compram das refinarias a gasolina denominada tipo A e diesel tipo A, que de acordo com a legislação brasileira, a gasolina vendida nos postos deve ser misturada com etanol anidro e o diesel automotivo deve ser misturado com biodiesel, combustível renovável produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, formando o óleo diesel “B”, este revendido nos postos. Desta maneira, o preço que o consumidor paga nas bombas dos postos de combustíveis está incluído o preço de exploração e refino da Petrobras, o custo do etanol ou de aquisição do biodiesel, e os custos e as margens de comercialização das distribuidoras e dos postos revendedores, juntamente com todos os impostos devidos, conforme a Figura 20.

Figura 19 – Cadeia produtiva do petróleo



Fonte: PETROBRAS (2021)

Figura 20 – Custos que compõem o preço da gasolina e diesel



Fonte: EPE (2021)

Etanol

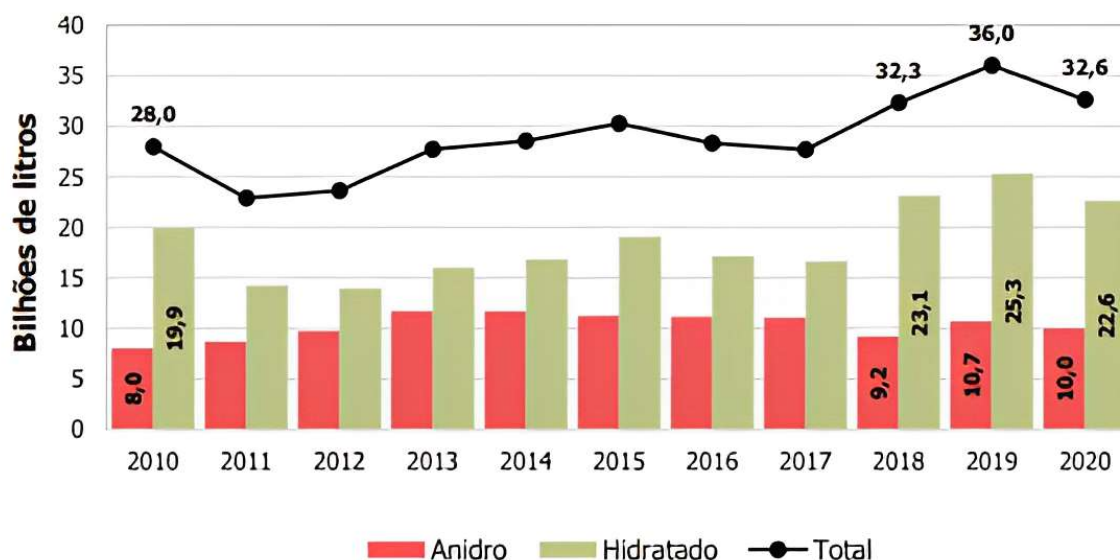
A cadeia produtiva do etanol é diferente da cadeia produtiva da gasolina e do diesel. Ela está atrelada ao setor sucroenergético e ligada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e a ANP. O MAPA é responsável pelo acompanhamento das fases agrícola e industrial da produção do etanol, enquanto à ANP competem às fases de distribuição e consumo do combustível.

A criação do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), em 1975, visava estimular a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar. O programa tinha por objetivo atender as necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos. As variações do preço do etanol estão atreladas ao mercado da cana-de-açúcar. Isto acontece porque a cana-de-açúcar tem um alto retorno para os produtores, além do que, o custo de produção do açúcar no país é baixo e consegue competir no mercado internacional, porém sofre com a volatilidade e grandes oscilações de preços deste mercado. As etapas da produção do açúcar ou do etanol diferem apenas a partir da obtenção do suco, que pode ser fermentado para a produção de etanol ou tratado para produção do açúcar. Caso a produção de açúcar se torne

menos atrativa devido às reduções de preços internacionais, o que frequentemente ocorre, poderá ser mais vantajoso a mudança da produção para o etanol.

Além disso, como a gasolina contém etanol na sua composição, quando ocorre uma elevação no preço do etanol, conseqüentemente se eleva o preço da gasolina. Manter os preços do etanol e da gasolina equiparados funciona como estratégia para controlar a disponibilidade do etanol, uma vez que, se o etanol estiver muito mais barato que a gasolina, a procura pelo produto nos postos de combustíveis será grande, dada a enorme quantidade de veículos flex no Brasil. Isso poderia gerar escassez do produto e um forte desequilíbrio na balança de oferta e demanda, causando um forte aumento do preço do produto. A variação da produção de etanol no Brasil ao longo dos anos pode ser vista na Figura 21.

Figura 21 – Produção de Etanol no Brasil



Fonte: EPE (2021)

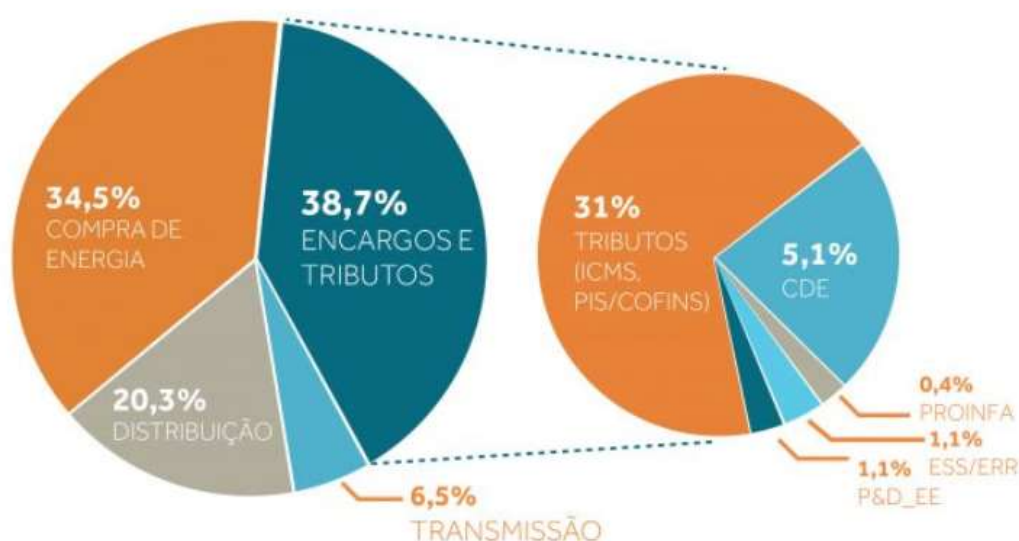
4.1.2 Energia

A Agência Nacional de Energia Elétrica tem como principal objetivo fiscalizar e regular a produção, transmissão, comercialização e distribuição de energia elétrica no território nacional. Outra atribuição da ANEEL é conceder, autorizar ou permitir instalações e serviços de energia elétrica. Além disso, a ANEEL tem o papel de implementar políticas no setor, realizar leilões e concessões, fazer a gestão de contratos, estabelecer regras para o serviço de energia, criar metodologia para o cálculo de tarifas, fiscalizar o fornecimento da energia e mediar conflitos.

A tarifa de energia calculada pela ANEEL deve garantir o fornecimento de energia com qualidade e assegurar aos prestadores dos serviços ganhos suficientes para cobrir custos operacionais eficientes e remunerar investimentos necessários para expandir a capacidade e garantir o atendimento. Em resumo, são três os custos somados pela ANEEL para a definição da tarifa de cada distribuidora: geração da energia, transporte da energia até o consumidor (transmissão e distribuição) e os encargos setoriais, exemplificados na Figura 22.

Simplificadamente, a tarifa de energia é o preço cobrado por unidade de energia, R\$/kWh. É necessário compreender que o preço não considera somente o que se paga pelo consumo propriamente dito, mas também pela sua disponibilidade, 24 horas por dia, 7 dias por semana. Cada distribuidora compra uma quantidade de energia que considera suficiente para o atendimento dos seus clientes.

Figura 22 – Custos que compõem a tarifa de energia



Fonte: ABRADÉE (2022)

4.1.3 Impostos

Imposto é um tributo obrigatório cobrado pelo governo em nível federal, estadual ou municipal. O valor pago contribui para custear as despesas administrativas do governo, sem a necessidade de haver uma contrapartida ao contribuinte. O não pagamento pode gerar multas ou até uma punição prevista em lei.

Somados todos os impostos aplicados sobre a cadeia produtiva dos combustíveis, estes podem representar até 45% do valor final cobrado dos consumidores nos postos de combustíveis. Em geral, dentro da cadeia produtiva dos combustíveis são cobrados os seguintes

impostos: PIS - Programa de Integração Social; CONFINS - Contribuição para Financiamento da Seguridade Social; CIDE - Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico; e ICMS - Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal, e de Comunicação. A alíquota do ICMS varia de estado para estado, respeitando, no entanto, o percentual de 25 a 34% para gasolina, 12 a 25% para o diesel e 12 a 30% para o etanol.

Da mesma forma, existem impostos sobre a cadeia produtiva da energia elétrica. Além dos impostos de PIS, COFINS e ICMS, cada município do país pode cobrar na conta de luz o chamado Custeio do Serviço de Iluminação Pública (CIP) que é destinado para manutenção e instalação da iluminação pública em ruas, avenidas e praças. Juntamente com os impostos, o custo da energia elétrica inclui também, os encargos setoriais. Estes são benefícios concedidos pelo governo a empresas e setores da população com o objetivo de diminuir o preço da energia e incentivar políticas no setor. Atualmente na conta de luz temos os seguintes encargos setoriais: Conta de Consumo de Combustíveis (CCC); Conta de Desenvolvimento Energético (CDE); Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE); Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA); Reserva Global de Reversão (RGR); Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos (CFURH); Encargos de Serviços do Sistema (ESS); Operador Nacional do Sistema (ONS); Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (P&D/EE); e Encargo de Energia de Reserva (EER).

4.2 VEÍCULOS A COMBUSTÃO X VEÍCULOS ELÉTRICOS

4.2.1 Gasolina / Etanol x Energia Elétrica

No Brasil, os VC são em sua maioria do tipo flex, que utilizam gasolina ou etanol. Isso possibilita ao consumidor escolher qual combustível é mais vantajoso economicamente. Entretanto, o desempenho de autonomia e rendimento do veículo é diferente, de acordo com o combustível. A análise do desempenho de cada modelo e o custo para abastecer permite uma avaliação sobre qual o melhor combustível economicamente.

Quando se compara economicamente o abastecimento de VC e VE há de se considerar as diferenças entre as tecnologias. Os VC utilizam gasolina, etanol ou diesel e os VE utilizam energia elétrica. A composição do preço e forma de distribuição de cada um destes insumos são

diferentes. Sendo o Brasil, um país extenso, é natural que o valor final que cada consumidor paga por estes insumos, seja diferente em cada região.

Como forma de avaliar os custos de abastecimento de um VC e um VE, as análises serão feitas considerando o preço médio dos insumos de gasolina, etanol e energia elétrica nas cinco macrorregiões econômicas do país: Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul. A escolha dos VC analisados baseou-se nos modelos mais vendidos em 2021. Já a escolha dos VE analisados baseou-se nos modelos mais baratos disponíveis no mercado brasileiro atualmente. Para análise do consumo de combustível/bateria considerou-se o ciclo urbano de desempenho. Os valores de custos são referentes a encher um tanque de combustível ou completar a carga de bateria. De acordo com dados da Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE), os modelos de veículos mais vendidos em 2021 foram: Hyundai HB20, Fiat Strada e Jeep Renegade. Mais detalhes destes modelos podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 – Modelos de veículos mais vendidos no Brasil em 2021

MODELO	PREÇO INICIAL	CONSUMO CIDADE (km/L)		TANQUE (L)
		ETANOL	GASOLINA	
Hyundai HB20	R\$ 57.890,00	9,1	12,8	50
Fiat Strada	R\$ 77.324,00	8,3	11,8	55
Jeep Renegade	R\$ 69.990,00	6,9	10,0	60

Fonte: Elaborado pelo autor.(Ago.2022)

Analisando os dados dos VC (Tabela 4), pode-se considerar que o valor médio do tanque de combustível é 55 litros, consumo médio de 8,1 km/litro com etanol e 11,5 km/litro com gasolina, o que gera uma autonomia média de 446 km e 634km, respectivamente.

De acordo com dados da ANP de janeiro a julho de 2022, considerando os custos dos combustíveis nas diferentes regiões do Brasil, podemos definir um preço médio para o etanol e para a gasolina, para cada região do país, que pode ser visto na Tabela 5. Fazendo uma média simples, podemos inferir um preço médio nacional do etanol de R\$ 5,20 e da gasolina de R\$ 6,63. Os valores dos preços de etanol e gasolina estão com a incidência dos impostos.

Tabela 5 – Preço médio do combustível por região

REGIÃO	ETANOL	GASOLINA
CENTRO-OESTE	R\$ 4,940	R\$ 6,743
NORDESTE	R\$ 5,331	R\$ 6,644
NORTE	R\$ 5,708	R\$ 6,660
SUDESTE	R\$ 5,009	R\$ 6,625
SUL	R\$ 5,192	R\$ 6,456

Fonte: Elaborado pelo autor.(Ago.2022)

Baseando-se no preço médio dos combustíveis em cada região e nos dados técnicos do manual de cada VC, o custo de um tanque completo de combustível para abastecer com Etanol e com gasolina foi calculado, e pode ser observado nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Custo de um tanque completo de Etanol

MODELO	CENTRO-OESTE	NORDESTE	NORTE	SUDESTE	SUL
Hyundai HB20	R\$ 247,00	R\$ 266,55	R\$ 285,40	R\$ 250,45	R\$ 259,60
Fiat Strada	R\$ 271,70	R\$ 293,21	R\$ 313,94	R\$ 275,50	R\$ 285,56
Jeep Renegade	R\$ 296,40	R\$ 319,86	R\$ 342,48	R\$ 300,54	R\$ 311,52

Fonte: Elaborado pelo autor.(Ago.2022)

Tabela 7 - Custo de um tanque completo de Gasolina

MODELO	CENTRO-OESTE	NORDESTE	NORTE	SUDESTE	SUL
Hyundai HB20	R\$ 337,15	R\$ 332,20	R\$ 333,00	R\$ 331,25	R\$ 322,80
Fiat Strada	R\$ 370,87	R\$ 365,42	R\$ 366,30	R\$ 364,38	R\$ 355,08
Jeep Renegade	R\$ 404,58	R\$ 398,64	R\$ 399,60	R\$ 397,50	R\$ 387,36

Fonte: Elaborado pelo autor.(Ago.2022)

Pelas Tabelas 6 e 7, observa-se que o preço médio geral de um tanque completo de Etanol é R\$ 287,98, já para a Gasolina o preço médio geral é de R\$ 364,41.

Quando se trata de VE, os custos para abastecer podem variar consideravelmente, isso porque cada região do país é atendida por uma distribuidora de energia, com diferentes tarifas de energia, impostos e encargos. Na Tabela 8, tem-se o preço médio das tarifas de energia na modalidade Convencional, classe Residencial, em cada região do Brasil, vigentes em agosto de 2022. Dados fornecidos pela ANEEL.

Tabela 8 – Preço médio das tarifas de energia por região

REGIÃO	TARIFA (R\$/kWh)
CENTRO-OESTE	R\$ 0,646
NORDESTE	R\$ 0,609
NORTE	R\$ 0,713
SUDESTE	R\$ 0,625
SUL	R\$ 0,581

Fonte: Elaborado pelo autor.(Ago.2022)

Os valores das tarifas de energia estão sem a incidência dos impostos.

Considerando os modelos de VE mais baratos disponíveis a venda no Brasil, destacam-se os modelos apresentados na Tabela 9: JAC E-JS1, Renault ZOE e Nissan LEAF.

Tabela 9 – Modelos de Veículos Elétricos mais baratos

MODELO	PREÇO INICIAL	AUTONOMIA (km)	BATERIA (kWh)
JAC E-JS1	R\$ 164.900,00	300	30
Renault ZOE	R\$ 204.990,00	385	52
Nissan LEAF	R\$ 277.990,00	273	40

Fonte: Elaborado pelo autor.(Ago.2022)

O custo aproximado para carregar a bateria por completo de cada modelo é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Custo de uma recarga completa da bateria

MODELO	CENTRO-OESTE	NORDESTE	NORTE	SUDESTE	SUL
JAC E-JS1	R\$ 19,38	R\$ 18,27	R\$ 21,39	R\$ 18,75	R\$ 17,43
Renault ZOE	R\$ 33,59	R\$ 31,67	R\$ 37,08	R\$ 32,50	R\$ 30,21
Nissan LEAF	R\$ 25,84	R\$ 24,36	R\$ 28,52	R\$ 25,00	R\$ 23,24

Fonte: Elaborado pelo autor.(Ago.2022)

Analisando a Tabela 10, observa-se que o preço médio geral de uma recarga é de R\$ 25,82. Considerando que os impostos representam cerca 40% de todo custo da energia paga pelos consumidores, o preço médio geral com imposto seria de R\$ 43,03. Pela Tabela 6, observa-se que os modelos de VE possuem autonomia menor que os VC, o que implica em mais recargas para equiparar as autonomies. Mesmo assim, carregando-se duas ou três vezes cada modelo, o custo com o combustível do VE seria ainda pelo menos 50% menor que os custos com a gasolina ou etanol, considerando os modelos de VC da Tabela 4.

Adotando o preço médio nacional de R\$ 5,20 para o etanol, de R\$ 6,63 para a gasolina e 0,889 R\$/kWh (média das regiões + 40% de imposto), e ainda os dados técnicos dos veículos apresentados nas Tabelas 4 e 9, foi criada a Tabela 11, que mostra um comparativo do custo de combustível para rodar 1000 km com cada um dos 6 modelos analisados.

Tabela 11 – Custo de combustível (R\$/1000 km)

	HB20	STRADA	RENEGADE	JAC E-JS1	ZOE	LEAF
ETANOL	R\$ 571,59	R\$ 626,68	R\$ 753,83	-	-	-
GASOLINA	R\$ 517,63	R\$ 561,49	R\$ 662,56	-	-	-
ENERGIA ELÉTRICA	-	-	-	R\$ 88,87	R\$ 120,03	R\$ 130,22

Fonte: Elaborado pelo autor.(Ago.2022)

4.3 POSTOS DE RECARGA PARA ÔNIBUS ELÉTRICOS

O projeto do posto de recarga contemplará 15 carregadores que atenderão 29 ônibus elétricos, modelos D9W da BYD, que serão recarregados em esquema de rodízio entre 6h e 16h. A pretensão é que toda a energia consumida durante os carregamentos seja gerada através de um sistema fotovoltaico. Valendo-se dos dados técnicos do ônibus elétrico D9W, no Anexo A, temos os seguintes cálculos de dimensionamento:

4.3.1 Cálculo da Demanda

$$15 \times 80 \text{ kW} = 1200 \text{ kW} \quad (1)$$

4.3.2 Cálculo do Consumo

De acordo com os dados técnicos, a capacidade da bateria é 324 kWh e a autonomia do veículo é 250 km. O consumo por quilometro rodado:

$$324 \text{ kWh} / 250 \text{ km} = 1,296 \text{ kWh/km} \quad (2)$$

Considerando a média histórica de quilômetros rodados por dia em 168 km, e a recomendação de que cada ônibus elétrico consuma até 80% da bateria antes de recarregar, cada D9W teria capacidade de rodar cerca 200 km/dia.

Assim, cada modelo teria um consumo diário de:

$$200 \text{ km/dia} * 1,296 \text{ kWh/km} = 259,2 \text{ kWh/dia} \quad (3)$$

Sendo assim, o consumo total diário e mensal de energia seria de:

$$259,2 \text{ kWh/dia} * 29 \text{ D9W} = 7.516,8 \text{ kWh/dia} \quad (4)$$

Considerando 22 dias uteis ao mês de uso dos ônibus elétricos:

$$7.516,8 \text{ kWh/dia} * 22 \text{ dias} = 165.369,6 \text{ kWh/mês} \quad (5)$$

De acordo com o consumo mensal calculado da equação 5, o sistema fotovoltaico será dimensionado e simulado no software PVsyst para averiguação da capacidade de geração de energia.

4.3.3 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Energia mensal demandada: 165.369,6 kWh/mês

Demanda do posto de recarga: 1.200 kW

Para o ponto de localização atual da rodoviária, o Atlas Brasileiro de Energia Solar, fornece o seguinte potencial de geração de energia solar: 1641,3 kWh/kWp/ano

Calculando a potência em kWp do sistema fotovoltaico, temos:

$$165.369,6 \text{ kWh/mês} / (1641,3 \text{ kWh/kWp/ano} / 12) = 1209 \text{ kWp} \quad (6)$$

Desta forma, com a demanda, consumo mensal e a potência definida, é possível realizar as simulações no PVSYST, a fim de definir quais equipamentos e arranjos melhor atendem a necessidade dos ônibus elétricos.

4.3.4 Simulação do PVsyst

Para a simulação no PVsyst, os valores de dimensionamento do sistema solar considerados foram os encontrados nas eq.1, eq.5 e eq.6. Vale lembrar que o PVsyst é um simulador de projetos de energia solar que permite testar diversos arranjos, placas e inversores, de diferentes fabricantes e potências, para encontrar o projeto ideal. O local exato de instalação das placas fica nas coordenadas geográficas:

Latitude: -20.44° S; Longitude: -54.65° W

Dentre as opções de inversores disponíveis no simulador, foi escolhido o inversor do fabricante Power Eletronics, modelo FS0200 HE/HEC 270V, de potência nominal 200 kW. A ficha técnica deste equipamento é apresentada no ANEXO B.

Dentre as opções de placas disponíveis no simulador, foi escolhida a placa do fabricante *SunPro Power*, modelo M10-HIEFF-540, de potência nominal 540 Wp. A ficha técnica deste equipamento é apresentada no ANEXO C.

Figura 23 – Escolha da placa solar e inversor no PVsyst

The screenshot shows the 'Grid system definition, Variant VC1: "Teste Mestrado"' window. It is divided into two main sections: 'Select the PV module' and 'Select the inverter'.

Select the PV module:

- Available Now: [Dropdown]
- Filter: All PV modules [Dropdown]
- Approx. needed modules: 2241
- SunPro Power [Dropdown]
- 540 Wp 35V Si-mono SunProPower-M10-HIEFF-540 Since 2021 Datasheets 2021 [Dropdown]
- [Open] button
- ☐ Use optimizer
- Sizing voltages: Vmpp (60°C) 36.0 V, Voc (-10°C) 54.3 V

Select the inverter:

- Available Now: [Dropdown]
- Output voltage 270 V Tri 50Hz
- Power Electronics [Dropdown]
- 200 kW 430 - 820 V TL 50/60 Hz FreeSun FS0200 HE/HEC 270V Since 2010 [Dropdown]
- [Open] button
- Nb. of inverters: 6
- ☐ Operating voltage: 430-820 V Global Inverter's power 1200 kWac
- Input maximum voltage: 1000 V
- 50 Hz [Checked]
- 60 Hz [Checked]

Fonte: PVsyst (2022)

Figura 24 – Definição do arranjo das placas e inversores no PVSYST

The screenshot shows the 'Grid system definition, Variant VC1: "Teste Mestrado"' window, specifically the 'Design the array' section.

Design the array

Number of modules and strings

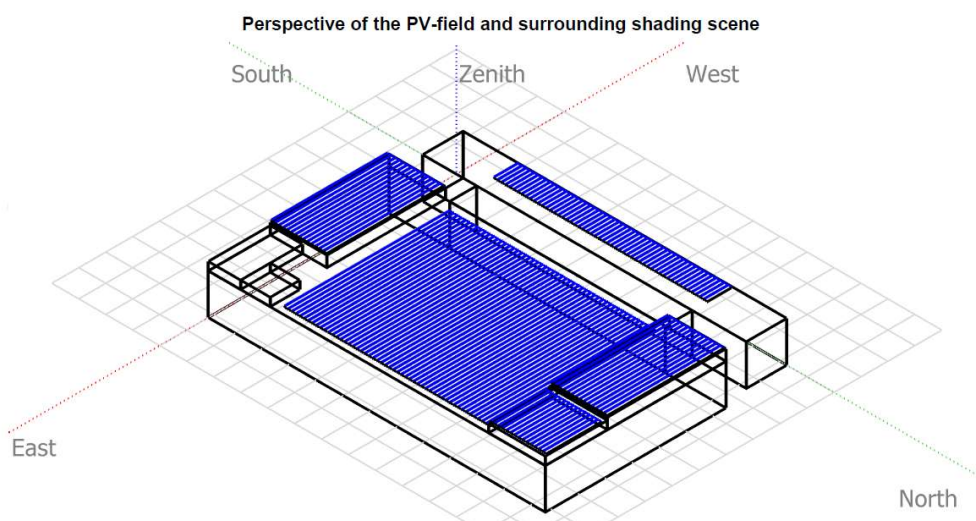
- Mod. in series: 18 [Up/Down arrows] ☐ between 12 and 18 [?] button
- Nb. strings: 125 [Up/Down arrows] ☐ between 123 and 125
- Overload loss: 0.0 %
- Pnom ratio: 1.01
- [Show sizing] button [?] button
- Nb. modules: 2250
- Area: 5751 m²

Fonte: PVsyst (2022)

O espaço disponível para instalação das placas é de cerca de 9.880 m². Entretanto, não é um espaço 100% plano, por isso as placas foram dispostas na simulação de acordo com os recortes e orientação espacial do telhado atual do prédio da antiga rodoviária.

Os equipamentos escolhidos foram determinados em função da potência requerida pelo sistema solar e pelo espaço disponível para instalação. Desta forma, o arranjo das placas e quantidade de inversores buscou atender a demanda do projeto sem extrapolar os limites de funcionamento dos equipamentos. Assim, o arranjo escolhido para simulação terá 2250 placas solares, divididas em 18 séries de 125 placas, com 6 inversores de 200 kW.

Figura 25 – Visualização das placas instaladas na cobertura da nova rodoviária



Fonte: PVsyst (2022)

O resultado da simulação foi um sistema capaz de gerar 160.750 kWh/mês em média. Esse valor corresponde a 97,2% da energia mensal necessária, calculada na Eq.5. Os dados do relatório gerado pelo PVSYST são apresentados no ANEXO D.

4.3.5 Financeiro

A análise financeira do estudo usou como base de comparação financeira a aquisição dos veículos e gastos com combustíveis mensalmente. Não foi considerado nesta análise os gastos com impostos, seguros ou manutenção dos veículos.

O primeiro cenário demonstrará apenas a diferença no gasto com combustíveis. O segundo cenário acrescentará na análise a instalação de um sistema de energia solar.

Um ônibus urbano novo, convencional para transporte de passageiros, tem o preço médio de R\$ 700.000,00. Já um ônibus elétrico, tipo o BYD D9W custa cerca de R\$ 1.500.000,00. (ALBARDEIRO, 2022)

No quesito gasto de combustíveis, vale lembrar que a distância percorrida diariamente será de 200 km. Em média, um ônibus urbano convencional tem desempenho de 2,5 km/litro. Desta forma o gasto diário de combustível (diesel) será de:

$$200 \text{ km} / 2,5 \text{ km/litro} = 80 \text{ litros} / \text{dia} \quad (7)$$

Considerando o preço médio do diesel em R\$ 6,78 / litro, em Agosto/2022, na cidade de Campo Grande/MS, de acordo com dados da ANP, o gasto diário com combustível será de:

$$80 \text{ litros} * \text{R\$ } 6,78 / \text{litro} * 29 = \text{R\$ } 15.729,60 / \text{dia} \quad (8)$$

De maneira semelhante, o ônibus elétrico D9W tem média de consumo de energia de 1,296 kWh/ km. Desta forma o gasto diário de combustível (kWh) será de:

$$200 \text{ km} * 1,296 \text{ kWh/km} = 259,2 \text{ kWh} / \text{dia} \quad (9)$$

4.3.5.1 Cenário 1 – Aquisição do ônibus elétrico, considerando apenas custos com abastecimento

Para este cálculo, o enquadramento tarifário do posto de recarga foi considerado na tarifa horo-sazonal verde, grupo A4. Considerando a concessionária de energia de Campo Grande/MS, com as tarifas vigentes em Agosto/22, o preço do kWh seria de R\$ 0,37715 / kWh, no horário fora de ponta. Já o preço do kW, para cálculo do custo da demanda contratada, seria de R\$ 31,53 / kW. Desta forma, o gasto diário equivalente com abastecimento será de:

$$259,2 \text{ kWh} * \text{R\$ } 0,37715 * 29 = \text{R\$ } 2.834,96 / \text{dia} \quad (10)$$

$$\text{R\$ } 2.834,96 / \text{dia} * 22 \text{ dias uteis} = \text{R\$ } 62.369,14 / \text{mês} \quad (11)$$

Custo a pagar pela demanda contratada mensalmente:

$$1.200 \text{ kW} * \text{R\$ } 31,53 = \text{R\$ } 37.836,00 / \text{mês} \quad (12)$$

Custo total de energia a pagar mensalmente:

$$\text{R\$ } 62.369,14 + \text{R\$ } 37.836,00 = \text{R\$ } 100.205,14 \quad (13)$$

Calculando o gasto anual de combustíveis, utilizando as eq. 8 e eq. 13, teremos:

$$\text{R\$ } 15.729,60 * (22*12) = \text{R\$ } 4.152.614,40 \quad (14)$$

$$\text{R\$ } 100.205,14 * (12) = \text{R\$ } 1.202.461,74 \quad (15)$$

Neste cálculo, a economia com gastos de combustíveis seria de

$$\text{R\$ } 4.152.614,40 - \text{R\$ } 1.202.461,74 = \text{R\$ } 2.950.152,66 / \text{ano} \quad (16)$$

Considerando os gastos com a aquisição dos ônibus elétricos e a economia com gastos de combustíveis dos ônibus tradicionais, temos o seguinte tempo de retorno do investimento:

$$\text{R\$ } 1.500.000,00 * 29 / \text{R\$ } 2.950.151,66 = 14,75 \quad (17)$$

Este investimento teria um *pay-back* de 14,75 anos.

Não é considerado no cálculo o valor referente à venda dos ônibus a combustão, que seria abatido do investimento a ser feito, nem manutenção, nem os valores arrecadados com a tarifa de transporte.

4.3.5.2 Cenário 2 – Diferença entre o ônibus elétrico e o convencional, considerando apenas custos com abastecimento

A partir das equações 10 a 15, considerando apenas a diferença na aquisição do ônibus elétrico em relação ao ônibus convencional e a economia com gastos de combustíveis deste, temos o seguinte tempo de retorno do investimento:

$$\text{R\$ } (1.500.000,00 - 700.000,00) * 29 / \text{R\$ } 2.950.152,66 = 7,86 \quad (18)$$

Este investimento teria um *pay-back* de 7,86 anos.

Não é considerado no cálculo o valor referente à venda dos ônibus a combustão, que seria abatido do investimento a ser feito, nem manutenção, nem os valores arrecadados com a tarifa de transporte.

4.3.5.3 Cenário 3 – Aquisição do ônibus elétrico, considerando os custos com abastecimento e geração solar

Neste terceiro cenário, considerando o investimento no sistema de energia solar e na economia com gasto de energia que ela proporcionaria, teríamos os seguintes gastos:

Em média, o custo de investimento em um sistema solar, acima de 1000 kWp, é de aproximadamente R\$ 3.890,00 por kWp instalado. (TAKATA, 2022). Considerando que o sistema simulado tem 1215 kWp, temos:

$$1215 \text{ kWp} \times \text{R\$ } 3.890,00 = \text{R\$ } 4.726.350,00 \quad (19)$$

Conforme calculado anteriormente, o sistema simulado atenderia em 97,2% a energia consumida pelo abastecimento dos ônibus elétricos.

Assim, utilizando o cálculo com gastos de energia da eq.13, teríamos o valor aproximado a pagar por ano, após a instalação do sistema solar:

$$12 * [(R\$ 62.369,14 \times 2,8\%) + R\$ 37.836,00] = R\$ 474.988,03 \quad (20)$$

Neste cenário, com uso de um sistema solar, a economia com gastos de combustíveis seria de aproximadamente:

$$R\$ 4.152.614,40 - 474.998,03 = R\$ 3.677.616,37 / \text{ano} \quad (21)$$

Considerando então, os gastos com a aquisição dos ônibus elétricos, instalação do sistema solar e economia com gastos de combustíveis dos ônibus tradicionais, temos o seguinte tempo de retorno do investimento:

$$(R\$ 1.500.000,00 * 29 + R\$ 4.726.350,00) / R\$ 3.677.626,37 = 13,1 \quad (22)$$

Assim, este investimento teria um pay-back de 13,1 anos.

Não é considerado no cálculo o valor referente à venda dos ônibus a combustão, que seria abatido do investimento a ser feito, nem manutenção, nem os valores arrecadados com a tarifa de transporte

4.3.5.4 Cenário 4 – Diferença entre o ônibus elétrico e o convencional, considerando os custos com abastecimento e geração solar

A partir da equação 21, considerando apenas a diferença na aquisição do ônibus elétrico em relação ao ônibus convencional e a economia com gastos de combustíveis deste, com a geração de 97,8% da energia, temos o seguinte tempo de retorno do investimento:

$$R\$ (1.500.000,00 - 700.000,00) * 29 / R\$ 3.677.616,37 = 6,3 \quad (23)$$

Este investimento teria um pay-back de 6,3 anos.

Não é considerado no cálculo o valor referente à venda dos ônibus a combustão, que seria abatido do investimento a ser feito, nem manutenção, nem os valores arrecadados com a tarifa de transporte

5 CONCLUSÃO

No Capítulo 4, na comparação dos gastos de abastecimento entre VE e VC, observa-se que o custo para usar a energia elétrica como combustível é bem menor quando comparado aos combustíveis tradicionais, álcool e gasolina. Tanto os combustíveis derivados do petróleo (gasolina e diesel), quanto os gerados a partir de recursos naturais renováveis (etanol e energia elétrica) são dependentes das variações de mercado. A taxa de câmbio do dólar americano e o preço do barril de petróleo no mercado internacional determinam o preço da gasolina. De maneira semelhante, o mercado de açúcar influencia o preço do etanol, enquanto para a energia elétrica, os fatores que compõem a geração, transmissão e distribuição de energia refletem no valor da tarifa de energia. Uma vantagem da energia elétrica é que ela pode ser gerada de maneira local, no imóvel onde se encontra o ponto de recarga do VE, ou em qualquer outro lugar, devido à facilidade de se instalar uma geração fotovoltaica, cada vez mais acessível e presente na realidade dos brasileiros.

Embora a Tabela 11 no Capítulo 4 mostre uma grande vantagem econômica do VE sobre os VC, no quesito abastecimento, deve-se considerar que o valor inicial de compra dos modelos elétricos é bem maior do que os modelos tradicionais, e que ainda não há postos de recarga suficientes para atender a uma frota de VE e nem infraestrutura de apoio adequada para estes modelos. Estes fatores são desvantagens a serem superadas pelo VE. Se o Brasil pretende acompanhar o exemplo de outros governos, em especial os governos europeus, quando o assunto é VE, precisa agir de imediato, sob o risco de nunca de ter os modelos elétricos em evidência na frota brasileira.

Um meio de incentivar o uso de VE é utilizá-lo no transporte público, de maneira que as pessoas possam conhecer a tecnologia e perceber suas vantagens. A segunda parte do Capítulo 4 traz os resultados do trabalho proposto de substituir alguns ônibus convencionais a diesel por ônibus elétricos, no transporte coletivo da cidade de Campo Grande/MS. Os resultados mostram que, quando no cenário 1, onde só há a redução dos gastos com combustíveis como parâmetro, a diferença já é considerável. Ainda que os ônibus elétricos e suas baterias tenham em média 15 anos de vida útil, segundo o fabricante, o tempo de retorno do investimento em 14,75 anos, mostra que o investimento inicial é compensado ao longo da vida útil do ônibus elétrico. Quando no cenário 2, utilizando-se da energia solar para compensar os gastos com energia elétrica, a diferença de gastos com combustíveis acentua-se ainda mais, chegando ao tempo de retorno do investimento em 13,1 anos. Mesmo tendo como parâmetro

único os gastos com combustível, fica demonstrado que o investimento no VE compensa e pode trazer benefícios para além dos financeiros.

De maneira geral, a consolidação dos veículos elétricos dependerá de três fatores importantes. O primeiro fator é tomar a dianteira na disputa com os veículos a combustão. Se no século passado, esta disputa foi ganha pelo veículo a combustão, desta vez a tendência é que o veículo elétrico prevaleça. Prova disso são as políticas adotadas por alguns países do mundo, especialmente na Europa, em que a produção e comercialização dos veículos a combustão devem acabar até o fim da próxima década. O Brasil, não deve seguir esta tendência de imediato, pois o fim do veículo a combustão geraria um conflito com a tecnologia do etanol, desenvolvida desde a década 70 no país, e dificilmente o governo brasileiro se posicionaria em desfavor desse setor. Embora o uso do etanol não seja tão limpo quanto o do veículo elétrico, que não gera poluição, o etanol polui menos que a gasolina. (BORGES, 2020).

O segundo fator é o incentivo financeiro ao uso do veículo elétrico. O Brasil tem garantido a isenção para os veículos eletrificados do imposto de importação. Mas é preciso ir além, aplicando também a isenção de mais impostos que gerem um preço final de compra menor. Isso porque, os veículos híbridos e, principalmente, os puramente elétricos, são muito caros ainda. Apesar do país ter um dos maiores mercados automobilístico do mundo, a venda de veículos elétricos e híbridos ainda é muito abaixo da média mundial.

O terceiro fator é a disponibilidade de postos de recarga e autonomia das baterias. Não há dúvidas de que a falta de infraestrutura é um motivador para a não aquisição de um veículo elétrico. Embora as baterias atuais tenham autonomia suficiente para as distâncias diárias de uma grande cidade, a falta de postos de recarga em pontos estratégicos, limita o uso do veículo elétrico.

Neste trabalho, ficou demonstrado que é possível utilizar veículos elétricos não somente para uso individual, mas também para transporte de pessoas e cargas. Embora o investimento inicial seja muito alto, os benefícios que acompanham são muitos, como gastos menores com reabastecimento, redução do uso de combustíveis fósseis e menor impacto ambiental. O fato é que, para prevalecer os veículos elétricos, é fundamental que o governo crie políticas públicas que incentivem o uso deste tipo de veículos. A redução de impostos, a criação de postos de recargas públicos e estacionamentos exclusivos, podem ser alguns dos incentivos que farão do veículo elétrico um bom investimento. Além disso, associar a esta tecnologia, o uso de sistema solares, aumenta ainda mais a lista de benefícios.

6 BIBLIOGRAFIA

ABRADEE. Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. In: Tarifas de Energia. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/>. Acesso em: 10 Ago 2022.

ABSOLAR. **Infográfico ABSOLAR**. [S. l.]: Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 3 jan. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 20 jan. 2022.

AGÊNCIA. **Prefeita afirma que revitalização vai atrair investimentos e fomentar entorno da antiga rodoviária**. Agência Municipal de Notícias de Campo Grande, Campo Grande. Jul/2022. Disponível em: <https://www.campogrande.ms.gov.br/cgnoticias/noticias/prefeita-afirma-que-revitalizacao-vai-atrair-investimentos-e-fomentar-entorno-da-antiga-rodoviaria/>. Acesso em 26 Ago 2022

ALBARDEIRO, Sergio Tadeu. **O papel dos ônibus elétricos a bateria, no transporte coletivo municipal: sua contribuição para o desenvolvimento sustentável**. 1ª. ed. [S. l.]: Dialética, 2022. 192 p.

ANP. **Agência Nacional de Petróleo. In: Sistema de levantamento de preços**. [S. l.], 18 jan. 2022. Disponível em: https://preco.anp.gov.br/include/Resumo_Semanal_Index.asp. Acesso em: 21 jan. 2022.

ARAUJO, A. L., EICHENBERGER, A. C. **Inserção de veículos elétricos – Análise dos impactos no sistema elétrico de potência na subestação central/batel em Curitiba**. 112 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT). Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba – PR, 2015.

ARIOLI, Vitor T., **Análise de impactos técnicos provocados pela penetração massiva de veículos elétricos em redes de distribuição de energia elétrica**. 174 páginas. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 2016.

BARACHO, G. M. M. O. **Veículos elétricos: estudo preliminar das estratégias de suprimento de energia por eletroposto solar fotovoltaico**. Monografia (graduação) - Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama, Curso de Engenharia de Energia, 2016.

BARAN, R. e Legey, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. Editora: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.33, p. 207-224, mar. 2011.

BASSO, C. **O impacto dos veículos elétricos plug-in no sistema elétrico de potência**. 2011. 66 págs. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharel em Engenharia Elétrica. Fundação Universidade Federal do Pampa. 2011. Alegrete – RS.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2021**. Relatório Síntese / Ano base 2020. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. 2020. Rio de Janeiro, RJ.

BORGES, Rafaela. **Nada de elétricos: porque Brasil continuará sendo a terra dos carros flex**. Out/2020. Disponível em: <https://www.uol.com.br/carros/colunas/primeira-classe/2020/10/05/carro-eletrico-tera-espaco-no-mercado-brasileiro-a-curto-prazo.htm>
acessado em: 12 Out. 2020

BRAVO, D.M.; MEIRELLES, P.S.; GIALONARDO, W. **Análise dos Desafios para a Difusão dos Veículos Elétricos e Híbridos no Brasil**. XXII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, vol. 1, num. 2, Agosto, 2014.

CAMPO GRANDE, 2021. Prefeitura Municipal De Campo Grande. Agência Municipal De Meio Ambiente E Planejamento Urbano – PLANURB. **Perfil Socioeconômico De Campo Grande 2021**. Campo Grande. 2021.

CASTRO, Bernardo H. R., e Ferreira, Tiago T., **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. Editora: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.32, p. 267-310. 2011.

COOPE SOLAR. **Instalação e Diferença de Ambos Sistemas**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://coopesolar.wordpress.com/on-grid/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

DENATRAN. **Departamento Nacional de Trânsito**. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2021>

ELÉTRICA; Mundo Da Elétrica; MATTEDE, Henrique. **Carros elétricos, tipos e características**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/carros-eletricos-tipos-e-caracteristicas/>. Acesso em: 7 set. 2020.

EPE. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis – Ano 2020**. [S. l.]: Empresa de Pesquisa Energética, 2021. 80 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-615/NT-EPE-DPG-SDB-2021-03_Analise_de_Conjuntura_dos_Biocombustiveis_ano_2020.pdf. Acesso em: 10 ago. 2022.

FRANCESCATTO, Matheus B., **Viabilidade técnica e econômica no uso de estações de recarga de veículos elétricos**. 2019. 91 págs. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharel em Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). 2019. Santa Maria – RS.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Campo-grande/panorama** [S. l.], 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/campo-grande/panorama>. Acesso em: 26 ago. 2022.

IEA. *International Energy Agency. Global EV Outlook 2021*. [S. l.]: *International Energy Agency*, 1 abr. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>. Acesso em: 05 ago. 2022.

INDEX. Index Mundi. *In: Petróleo bruto Brent Preço Diário*. [S. l.], 18 Jan. 2022. Fonte: US Energy Information Administration. Disponível em: <https://www.indexmundi.com/pt/pre%E7os-de-mercado/?mercadoria=petr%C3%B3leo-bruto-brent&meses=60>. Acesso em: 21 Ago. 2022.

MARTINS, C. N., **Infraestrutura de recarga de bateria e subsídios e incentivos fiscais: condições chave para a difusão do carro elétrico**. Editorial: Desenvolvimento em Debate. Rio de Janeiro. v.4, n.1, p.35-55, 2016.

MATTOS, A., GELLIO, C. **Reforma da antiga rodoviária deve ser concluída este ano - CAMPO GRANDE NEWS**, 2022.

Disponível em: <https://www.campograndenews.com.br/cidades/capital/reforma-da-antiga-rodoviaria-deve-ser-concluida-este-ano>. Acesso em: 05/08/2022.

MULLE, Lais O. D., **Análise de fluxo de potência em linhas de transmissão: impacto dos veículos elétricos**. 2018. 64 págs. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia de Energia. Universidade Federal de Santa Catarina. 2018. Araranguá-SC.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PEREIRA, F. **Gurgel Itaipu: há 46 anos, um brasileiro elétrico desafiava a gasolina**. Revista Quatro Rodas, 25 maio 2021. Disponível em: <https://quattrorodas.abril.com.br/carros-classicos/gurgel-itaipu-ha-46-anos-um-brasileiro-eletrico-desafiava-a-gasolina/>. Acesso em: 17 jan. 2022.

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A. *In: Preços de Venda de Combustíveis*. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/precos-de-venda-de-combustiveis/#gasolina>. Acesso em: 10 ago. 2022

PNE. **Plano Nacional de Energia 2050. PNE 2050.** Ministério de Minas e Energia. Secretária de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Empresa de Pesquisa Energética. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>

PVSYST. **Photovoltaic Software.** PVsyst 7.2.11. *Institute of the Sciences of the Environment. University of Geneva.* Disponível em: <https://www.pvsyst.com/download-pvsyst/>

SÁ, N. R. S. **Sistema de conversão de energia solar fotovoltaica para carregamento de um veículo elétrico.** Dissertação de mestrado. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2017.

SALGUEIRO, Rita S. C., **Impacto da utilização em larga escala de veículos elétricos no mix de geração.** 2017. 96 págs. Dissertação de Mestrado. Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Universidade de Coimbra. 2017. Coimbra-Portugal.

SILVA, J. E. **Veículos elétricos e a geração distribuída a partir de sistemas fotovoltaicos.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Sistemas Elétricos, Curitiba, 2019.

SOLAR Magazine. **Tipos de painéis solares: no mercado e no laboratório.** Disponível em: <https://solarmagazine.com/pt-br/paineis-solares/> Acesso em: 10 ago. 2022.

SOLIS ENERGIA. **Projetos Grid-Tie.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://solisenergia.com.br/solucao/servico-1/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

TAKATA, Marcio. **Webnário: Estudo estratégico geração distribuída. Overview mercado de energia solar,** 2022, Tema: MERCADO FOTOVOLTAICO. Disponível em: <https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2022/02/Estudo-Estrategico-de-Geracao-Distribuida-2021-Mercado-Fotovoltaico-2o-semester-v1.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.

TAVARES, Nicolas; **Conectores de recarga: quais são os tipos que existem.** InsideEVs.br, 2 dez. 2019. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/features/379522/conector-tomada-recarga-tipos/>. Acesso em: 10 set. 2020.

TESLA. **TESLA *SUPERCHARGER***. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.tesla.com/supercharger>. Acesso em: 10 ago. 2022.

VAZ, Luiz F. H., BARROS, D. C. e CASTRO, B. H. R., **Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento**. Editora: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, BNDES Setorial, Rio de Janeiro. n.41, p. 295-344.

BYD D9W 20.410

MOTOR

Tipo	Motor síncrono de ímãs permanentes
Modelo	BYD - Z912TZ-XY-A
Potência máxima	2 x 150 kW (2 x 201 cv)
Potência nominal	2 x 110 kW (2 x 148 cv)
Torque máximo	2 x 550 Nm (2 x 56 kgf.m)
Torque nominal	2 x 400 Nm (2 x 41 kgf.m)
Relação máxima	10.000 rpm
Relação de transmissão	Redução 1,22

SUSPENSÃO DIANTEIRA

Tipo	Pneumática, com 2 boíças de ar
Amortecedores	2 unidades
Barra estabilizadora	Sim
SUSPENSÃO TRASEIRA	
Tipo	Pneumática, com 4 boíças de ar
Amortecedores	4 unidades
Barra estabilizadora	Sim

PRINCIPAIS ITENS DE SÉRIE

Coluna de direção regulável, regulagem de altura do chassi, alinhamento bilateral, sistema antichammas, tacôgrafo digital, rodas de alumínio, suspensão pneumática dianteira e traseira, sistema eletrônico de controle da suspensão - ECAS.

EIXO DIANTEIRO

Marca	ZF
-------	----

EIXO TRASEIRO

Marca	BYD
-------	-----

QUADRO DO CHASSI

Tipo	Estrutura tubular em aço de alta resistência
------	--

SISTEMA DE DIREÇÃO

Tipo	EHPS (Electric Hydraulic Power Steering)
------	--

SISTEMA DE FREIOS DE SERVIÇO

Tipo	Freio a disco
ABS (sistema antirravamento)	Sim
EBS (sistema de controle eletrônico de frenagem)	Sim
Freio regenerativo	Sim

SISTEMA DE FREIO ESTACIONÁRIO

Tipo	Câmara de mola acumuladora acionada pneumáticamente
------	---

RODAS E PNEUS

Aros das rodas	8,25 x 22,5" em alumínio
Pneus	295/80 R22,5 (radiais, sem câmara)

PESOS ADMISSÍVEIS (PBT)

Eixo dianteiro	7.400 kg
Eixo traseiro	12.900 kg
Total	20.300 kg

DESEMPENHO

Partida em rampa no PBT (Start Ability)	17%	Torque máximo (550 Nm x 2)	Torque nominal (400 Nm x 2)
Subida em rampa no PBT (Grade Ability)	20%	11%	14%

SISTEMA ELÉTRICO DE ALTA TENSÃO

Modelo da bateria	BYD LifePO ₄
Capacidade da bateria	324 kWh
Opções de carregamento	AC ou DC
Potência máxima de carregamento	AC Até 80 kW (2 x 40kW) DC Até 170 kW (2 x 85kW)
Tomada p/ carregamento	European standard
Tempo de carregamento	AC: 4 a 5 horas / DC: 2 a 4 horas
Tensão	380 V
Frequência de carregamento	60 Hz

DIMENSÕES

Comprimento (A)	12.265 mm
Balanco dianteiro (B)	2.588 mm
Entre eixos (C)	6.350 mm
Balanco traseiro (D)	3.327 mm
Altura estrutura (E)	3.070 mm
Largura estrutura (F)	2.320 mm
Ângulo entrada (G)	8°
Ângulo saída (H)	8°
Raio de giro	12.000 mm

ANEXO B – DADOS TÉCNICOS INVERSOR POWER ELETRONICS FS0200

82

ANEXO C – DADOS TÉCNICOS PLACA SOLAR SUNPRO POWER M10-HIEFF

Product Specification

Electrical parameters at standard test conditions
(STC:AM=1.5, 1000W/m², Cells Temperature 25°C)

Typical type	530W	535W	540W	545W	550W
Max power(Pmax)	530	535	540	545	550
Max power voltage(Vmp)	41.39	41.54	41.69	41.83	41.96
Max power current(Imp)	12.81	12.88	12.96	13.03	13.11
Open circuit voltage (Voc)	49.26	49.42	49.58	49.74	49.90
Short circuit current (Isc)	13.69	13.76	13.84	13.92	14.00
Module Efficiency(%)	20.51	20.70	20.89	21.09	21.28
Max system voltage	DC 1500V(TUV) / DC 1000V(TUV)				
Maximum Series Fuse Rating	25A				

Mechanical Data

Item	Specification
Dimensions	2279x1134x35mm
Weight	29kgs
Front glass	3.2mm tempered glass
	4mm ²
Output cables	symmetrical lengths 1300mm
Connectors	MC4 compatible IP68
Cell type	Mono-Crystalline PERC Half-Cell
	91mmx182mm
Number of cells	144 cells in series

Temperature Characteristics

Item	Specification
Temp.Coeff.of Isc(TK Isc)	0.049%/°C
Temp.Coeff.of Voc(TK Voc)	-0.26%/°C
Temp.Coeff.of Pmax(TK Pmax)	-0.34%/°C
Operating temperature	-40~+85°C
Normal operating cell temperature	45±2°C

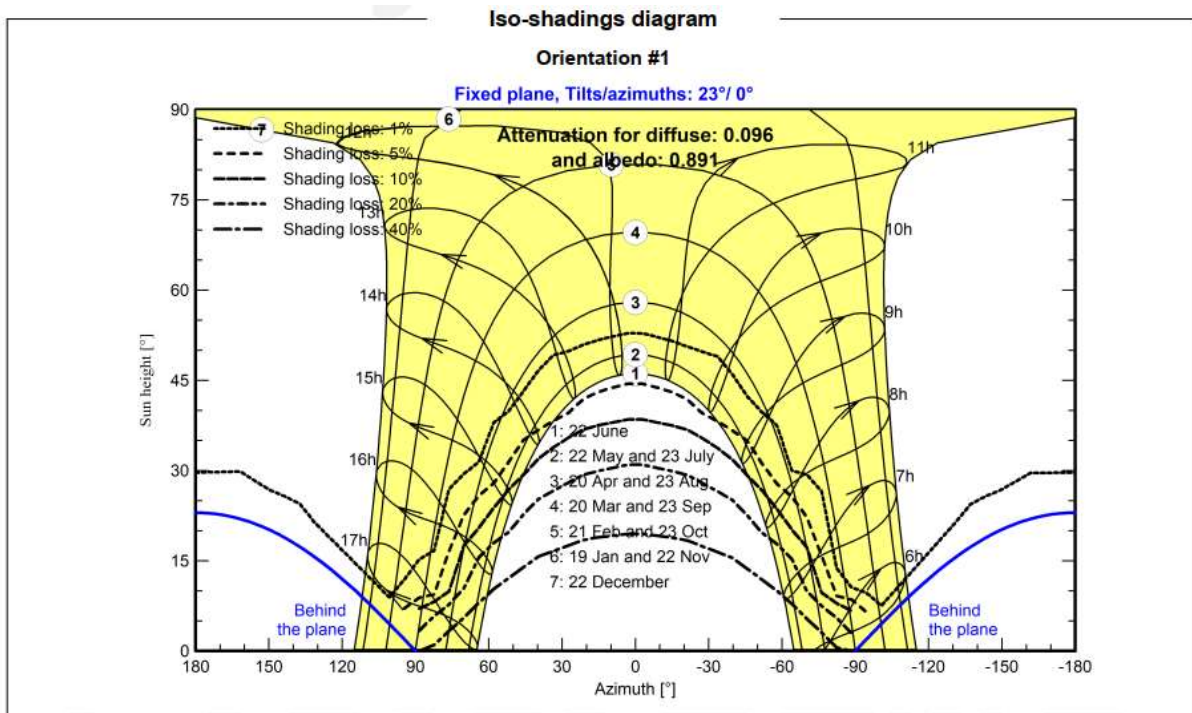
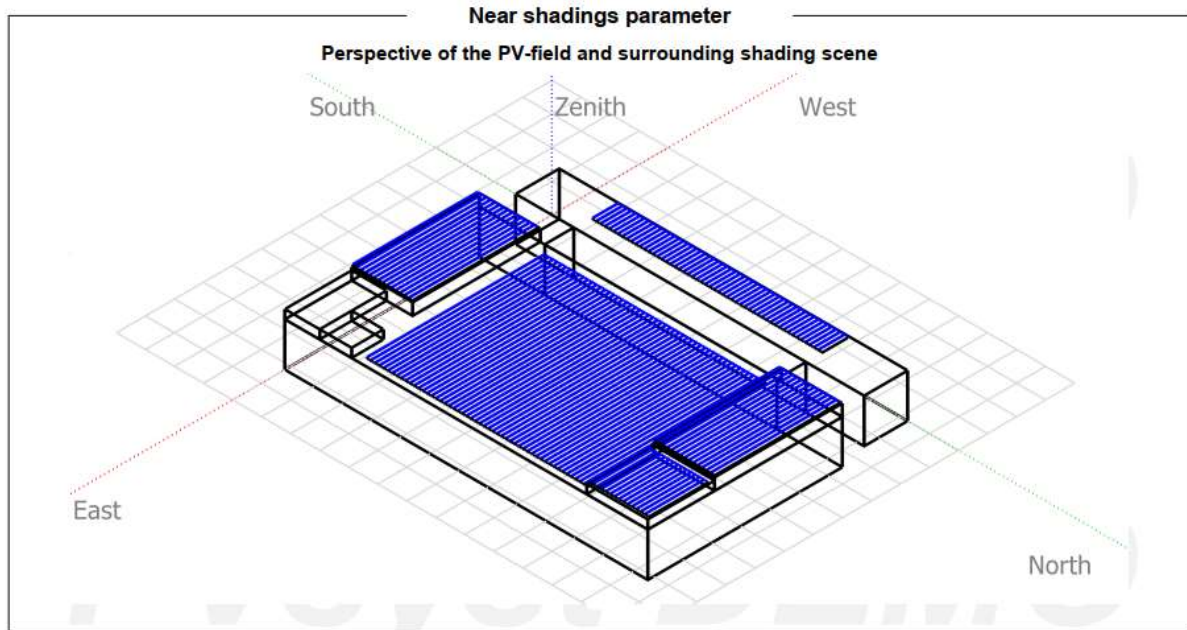
ANEXO D – INFORMAÇÕES DO RELATÓRIO DO PVSYST

Project summary					
Geographical Site		Situation		Project settings	
Campo Grande		Latitude	-20.44 °S	Albedo	0.20
Brazil		Longitude	-54.65 °W		
		Altitude	590 m		
		Time zone	UTC-4		
Meteo data					
Campo Grande					
Meteonorm 7.2, Sat=100% - Synthetic					

System summary			
Grid-Connected System		Tables on a building	
PV Field Orientation		Near Shadings	User's needs
Fixed plane		Linear shadings	Unlimited load (grid)
Tilt/Azimuth			
23 / 0 °			
System information			
PV Array		Inverters	
Nb. of modules	2250 units	Nb. of units	6 units
Pnom total	1215 kWp	Pnom total	1200 kWac
		Pnom ratio	1.013

Results summary					
Produced Energy	1929 MWh/year	Specific production	1587 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	79.82 %

PV Array Characteristics			
PV module		Inverter	
Manufacturer	SunPro Power	Manufacturer	Power Electronics
Model	SunProPower-M10-HIEFF-540	Model	FreeSun FS0200 HE/HEC 270V
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	540 Wp	Unit Nom. Power	200 kWac
Number of PV modules	2250 units	Number of inverters	6 units
Nominal (STC)	1215 kWp	Total power	1200 kWac
Modules	125 Strings x 18 In series	Operating voltage	430-820 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.01
Pmpp	1113 kWp	Total inverter power	
U mpp	674 V		
I mpp	1652 A		
Total PV power			
Nominal (STC)	1215 kWp	Total power	1200 kWac
Total	2250 modules	Number of inverters	6 units
Module area	5751 m²	Pnom ratio	1.01
Cell area	5366 m²		



Main results

System Production

Produced Energy

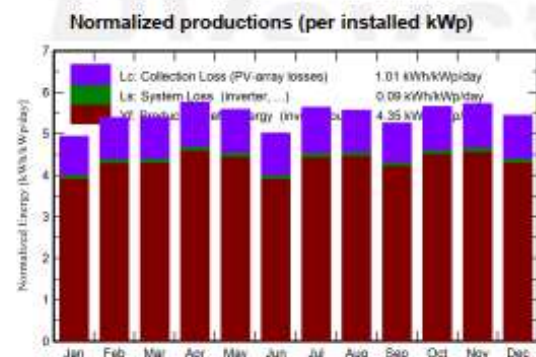
1929 MWh/year

Specific production

1587 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR

79.82 %



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	168.4	85.80	26.33	153.2	141.8	151.4	148.1	0.796
February	157.9	71.24	26.22	151.0	141.1	149.8	146.7	0.799
March	161.2	71.37	26.52	167.3	157.6	166.2	162.7	0.800
April	148.7	49.93	25.53	172.7	162.5	171.4	167.9	0.800
May	138.0	44.44	22.43	173.2	160.0	171.8	168.2	0.799
June	115.6	38.91	22.15	150.5	135.4	146.3	143.2	0.783
July	135.1	38.46	21.55	174.8	159.2	171.3	167.6	0.790
August	145.7	51.08	24.13	172.5	162.5	172.5	168.9	0.806
September	147.6	68.66	24.32	157.8	148.3	158.1	154.8	0.807
October	176.1	77.59	26.31	175.2	165.0	174.3	170.6	0.801
November	186.8	80.50	25.88	171.7	160.7	170.6	167.0	0.800
December	191.5	70.84	26.47	168.6	157.3	166.5	162.9	0.795
Year	1872.8	748.80	24.81	1988.6	1851.5	1970.1	1928.6	0.798

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation

DiffHor Horizontal diffuse irradiation

T_Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

E_Grid Energy injected into grid

PR Performance Ratio