



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS SOBRAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

VICTOR DE ALMEIDA COELHO

**ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM ÔNIBUS ELÉTRICO E
ESTACIONAMENTO ELÉTRICO A BASE DE SISTEMA FOTOVOLTAICO NA UFC
CAMPUS SOBRAL**

SOBRAL

2022

VICTOR DE ALMEIDA COELHO

ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM ÔNIBUS ELÉTRICO E ESTACIONAMENTO
ELÉTRICO A BASE DE SISTEMA FOTOVOLTAICO NA UFC CAMPUS SOBRAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará do *Campus* de Sobral, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof. Me. Nilena Brito Maciel Dias.

SOBRAL

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C621e Coelho, Victor de Almeida.
Estado da implementação de um ônibus elétrico e estacionamento elétrico a base de sistema fotovoltaico na UFC campus Sobral / Victor de Almeida Coelho. – 2022.
105 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral, Curso de Engenharia Elétrica, Sobral, 2022.
Orientação: Profa. Ma. Nilena Brito Maciel Dias.
1. Veículos Elétricos. 2. Energia Solar. 3. Estacionamento Elétrico. 4. Universidade. 5. Ônibus Elétrico.
I. Título.

CDD 621.3

VICTOR DE ALMEIDA COELHO

ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM ÔNIBUS ELÉTRICO E ESTACIONAMENTO
ELÉTRICO A BASE DE SISTEMA FOTOVOLTAICO NA UFC CAMPUS SOBRAL

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal do Ceará do *Campus*
de Sobral, como requisito parcial à obtenção
do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Nilena Brito Maciel Dias (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Engenheira Eletricista Dandara Martins Ferreira
Bravus Soluções em Energia

Prof. Dra. Vanessa Siqueira de Castro Teixeira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, família e em especial para
minha amada prima Zuê que não se encontra
mais entre nós, porém segue me guiando ao
lado do Senhor.

AGRADECIMENTOS

Apesar do caminho difícil percorrido todos esses anos em uma cidade nova, e começar a vida do zero, tive pessoas importantes na minha vida que me ajudaram a manter a cabeça erguida e não desanimar com os diversos problemas que surgiram, mas que foram amenizadas graças as suas companhias. Desta maneira quero agradecer as pessoas que de alguma forma contribuíram para me fortalecer e concluir este trabalho.

O primeiro agradecimento vai à Deus pois sem Ele eu não teria me erguido e acreditado tantas vezes que eu nem pensei que aguentaria mais. Além Dele, agradecer também a minha família, principalmente ao meu irmão mais velho Júnior o qual me ajudou de todas as formas possíveis e impossíveis para que eu estivesse nessa universidade e tivesse um futuro brilhante, agradecer a minha mãe que mesmo com a distância foi forte e me transmitiu toda força e energia positiva e que todo abençoado dia rezava por mim e pelo meu futuro e meu pai por também não medir esforços para conseguir me dar todo o suporte para aguentar as batalhas da vida acadêmica, adulta e pessoal.

Logo em seguida gostaria de agradecer a minha família sobralense a qual foi o maior presente que a UFC me proporcionou. Dentre os membros dessa família estão minhas amigas de caminhada desde meu primeiro dia de faculdade: Aline, Emanuelle, Patrícia e Valeska. As quais sem dúvida nenhuma eu quero levar eternamente comigo, obrigado por me acalmarem nos dias turbulentos, pelas noites viradas de estudos, pelas histórias e memórias construídas, vocês são extremamente essenciais na minha vida. Com um lugar muito especial dentro dessa família também está a Dandara, minha parceira do meio da faculdade até o fim dos tempos que aturou meus piores surtos, segredos, noites viradas e que virou uma irmã de alma a qual devo minha eterna gratidão.

Dentre as idas e vindas da vida acadêmica outras pessoas incríveis passaram por mim e deixaram marcas eternas de gratidão por terem entrado na minha vida e me ajudado de diversas maneiras possíveis, dentre essas pessoas estão: Jamille, Elane, Gisele, Lays, Jonathan, Marcelo, Epitácio, João Pedro, Lia, Vitor Manoel, Regis. Obrigado a todos por tornarem meus dias mais leves e mais especiais, além de me apoiarem e passarem diversos desafios ao meu lado, quero levar todos comigo.

Não poderia deixar de agradecer aos professores que tanto contribuíram nessa minha jornada em especial minha orientadora e segunda mãe Nilena por nunca duvidar do meu potencial e me acolher desde meu primeiro semestre, a Vanessa e Rosana por serem dois ícones de educadoras e mulheres distribuindo aprendizados tanto na vida da engenharia como

na vida de ser humano, são duas pessoas que tenho admiração imensurável pela força e energia positiva que transmitem. Agradecer ao professor Rômulo que nunca mediu esforços para solucionar as adversidades durante o decorrer do curso e pela bela condução da instituição durante a minha permanência onde mostrou um verdadeiro amor pela docência e para com os alunos. E minha eterna gratidão aos mestres Paulo Robson, Yuri e Vandilberto por me ensinarem mais do que o amor pela engenharia, mas sim a empatia para com o outro e a paixão e dedicação com aquilo que se dispõe a fazer, vocês são incríveis.

A demais, agradeço por todas as pessoas que passaram pela minha vida nessa fase importante de graduação, pois de uma forma ou de outra todas contribuírem para minha melhoria diária tanto pessoal quanto profissional e ser quem sou hoje.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.” – Aldo Novak

RESUMO

Com a crescente demanda de energia elétrica e a busca progressiva de usuários da rede gerarem sua própria energia, o cenário fotovoltaico passou a ter um aumento na adesão por parte da população. O cenário dos veículos elétricos no âmbito mundial pode enriquecer mais ainda a procura da implementação de geração distribuída, pois com a inserção dos mesmos na rede elétrica a demanda por energia elétrica irá aumentar expressivamente. Porém essa implementação pode trazer alguns problemas indesejáveis para a rede pública, principalmente no horário de pico de demanda. Por meio disso, este trabalho tem como principal finalidade apresentar uma proposta técnica de carregamento dos veículos elétricos por meio da energia solar para mitigar este problema de aumento de demanda para as concessionárias de energia, gerado pelo acréscimo dessa demanda de veículos elétricos na frota veicular. A solução apontada se dá por meio da instalação de sistemas fotovoltaicos integrados aos estacionamentos, servindo como estações de carregamento para veículos elétricos. Junto a isto também está o objetivo de melhorar a comodidade e acesso população com uma implementação de um ônibus elétrico, recarregável via energia solar. Serão feitos estudos em cima de diversos cenários de inserção de veículos elétricos, para assim selecionar o sistema mais viável a ser instalado. A metodologia será aplicada na Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus Sobral. Diante disso, foi feita uma análise de 3 possíveis cenários com o estacionamento a base de energia solar e a vagas para o ônibus elétricos e vagas para carros elétricos, onde todos se mostraram positivos além de produzirem excedentes que podem ser utilizados como créditos para a instituição. Além disso, o estacionamento proporciona sombreamento para os veículos, contribui para a menor poluição do meio ambiente, melhora a acessibilidade dos universitários que usufruem do ônibus e serve como incentivo para a população adquirir esse tipo de veículo.

Palavras-chave: Veículos elétricos. Sistemas fotovoltaicos. Estações de carregamento

ABSTRACT

With the growing demand for electric power and the progressive search for network users generating their own power, the photovoltaic scenery had a giant leap in adoption by part of the population. The electric vehicles scenery in the global scope can enrich even more the search for the implementation of distributed generation, because with their insertion in the electric grid the demand for electric power is going to increase expressively. However, this implementation can bring some undesirable problems to public network, even if they are in a small proportion, mostly in the peak hour for demand. By means of this, the present paper has as its main purpose to present a technical proposal to mitigate this problem of the growing demand to the power utilities, generated by the increase of this demand for electric vehicles in the vehicle fleet. The solution that is going to be pointed out will be by means of the installation of photovoltaic systems integrated to parking lots, working as charging stations to electric vehicles. Along with this there is also the objective of improving the comfort and the access by the population, with an implementation of an electric bus, rechargeable by solar energy. Studies will be conducted on various sceneries of electric vehicles insertion, to then select the most viable system to be installed. The methodology will be applied in Universidade Federal do Ceará - UFC, Campus Sobral. In view of this, an analysis of 3 possible scenarios was carried out with solar energy-based parking and spaces for electric buses and spaces for electric cars, where all were positive in addition to producing surpluses that can be used as credits for the institution. . In addition, parking provides shade for vehicles, contributes to less pollution of the environment, improves accessibility for university students who use the bus and serves as an incentive for the population to purchase this type of vehicle.

Keywords: Electric vehicles. Photovoltaic systems. Charging Stations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Crescimento do número de veículos elétricos no mundo de 2010 a 2020.....	15
Figura 2	– Estacionamento com módulos fotovoltaicos na UFRJ.....	17
Figura 3	– Primeiro VE criado por Gustave Trouvé.....	24
Figura 4	– Expansão da venda de VEs pelo mundo.....	28
Figura 5	– Estimativas de emplacamentos e frotas percentuais anuais de carros elétricos no Brasil e em outros países até 2017.....	29
Figura 6	– Perspectivas de banimento dos carros à combustão ao redor do mundo.....	33
Figura 7	– Irradiação solar – Brasil (a) / Irradiação solar – Alemanha (b). Média anual da radiação global.....	39
Figura 8	– Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.....	40
Figura 9	– Conexão em série de módulos fotovoltaicos.....	43
Figura 10	– Conexão em paralelo de módulos fotovoltaicos.....	43
Figura 11	– Sequência de materiais que compõem o módulo fotovoltaico.....	44
Figura 12	– Inversor monofásico SIW300H da WEG.....	46
Figura 13	– Fluxograma de Classificação dos carregadores dos VEs.....	47
Figura 14	– Carro elétrico sendo carregado pela energia fotovoltaica.....	50
Figura 15	– Nissan Leaf Tekna.....	52
Figura 16	– Uma das estações do programa VAMO, em Fortaleza.....	55
Figura 17	– Frota de carros do modelo Twizy.....	56
Figura 18	– VEs relacionados ao projeto Trilha Verde da Neoenergia.....	58
Figura 19	– Localização da UFC – Google Maps.....	59
Figura 20	– Área da UFC Campus Sobral.....	59
Figura 21	– Área da entrada da UFC do lado esquerdo.....	60
Figura 22	– Área da entrada da UFC do lado direito.....	60
Figura 23	– Espaço do lado direito próximo ao bloco das Engenharias da UFC.....	61
Figura 24	– Área 1 do espaço da UFC em metros quadrados.....	62
Figura 25	– Área 2 do espaço da UFC em metros quadrados.....	62

Figura 26 – Área 3 do espaço da UFC em metros quadrados.....	63
Figura 27 – Parte externa do ônibus elétrico, vista frontal.....	65
Figura 28 – Parte externa do ônibus elétrico, vista traseira.....	65
Figura 29 – Parte interna do ônibus elétrico.....	66
Figura 30 – Distância média diárias parciais percorrida pela população urbana.....	67
Figura 31 – Carregador VE Smart Wallbox NeoCharge.....	69
Figura 32 – Irradiação Solar no Plano Horizontal.....	73
Figura 33 – Irradiação Solar no Plano Inclinado.....	73
Figura 34 – Desenho ilustrativo dos pilares com furos, para suporte das coberturas do estacionamento. Ilustração modificada com os valores deste projeto.....	75
Figura 35 – Representação da vista aérea do estacionamento da UFC e a disposição dos módulos.....	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Vendas/emplacamentos de veículos eletrificados no Brasil – 2012 a 2021...	54
Gráfico 2 – Estimativa de geração energética mensal pelo sistema FV do cenário 1 a ser instalado no estacionamento da UFC.....	81
Gráfico 3 – Comparação da geração do sistema com o consumo e o excedente do cenário 1.....	83
Gráfico 4 – Estimativa de geração energética mensal pelo sistema FV do cenário 2 a ser instalado no estacionamento da UFC.....	86
Gráfico 5 – Comparação da geração do sistema com o consumo e o excedente do cenário 2.....	87
Gráfico 6 – Estimativa de geração energética mensal pelo sistema FV do cenário 3 a ser instalado no estacionamento da UFC.....	89
Gráfico 7 – Comparação da geração do sistema com o consumo e o excedente do cenário 3.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vendas/emplacamentos de veículos eletrificados no Brasil – 2012 a 2021...	53
Tabela 2 – Média de consumo semanal e mensal em km do ônibus elétrico.....	64
Tabela 3 – Resumo das distâncias médias parciais percorridas e a distância média total percorrida.....	67
Tabela 4 – Especificações técnicas do veículo elétrico Nissan Leaf 2022.....	71
Tabela 5 – Especificações técnicas do ônibus elétrico BYD D9F 20.410.....	71
Tabela 6 – Comparativo entre painéis solares.....	78
Tabela 7 – Área ocupada pelos painéis solares.....	79
Tabela 8 – Valores de geração médio mensal e a geração anual média do cenário 1.....	81
Tabela 9 – Excedente de energia de cada mês e os respectivos excedentes em relação ao consumo do Cenário 1.....	83
Tabela 10 – Valores de geração médio mensal e a geração anual média do cenário 2.....	85
Tabela 11 – Excedente de energia de cada mês e os respectivos excedentes em relação ao consumo do Cenário 2.....	86
Tabela 12 – Valores de geração médio mensal e a geração anual média do cenário 3.....	89
Tabela 13 – Excedente de energia de cada mês e os respectivos excedentes em relação ao consumo do Cenário 3.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABVE	Associação Brasileira de Veículos Elétricos
AIE	Agência Internacional de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCJC	Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania
CE	Consumo Energético
CLDF	Câmara Legislativa do Distrito Federal
CO2	Dióxido de Carbono
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CPQD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
DP	Distância Percorrida
EC	Eficiência do Carregador
EC	Estação de Carregamento
EDP	Energia de Portugal
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EVA	Etil Vinil Acetato
FAMED	Faculdade de Medicina
FV	Fotovoltaica
GD	Geração Distribuída
GDF	Governo do Distrito Federal
GTES	Grupo de Trabalhos de Energia Solar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	Agência Internacional de Energia
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores

MCI	Motor a Combustão Interna
NOS	Operador Nacional do Sistema
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PL	Projeto de Lei
PTI	Parque Tecnológico de Itaipu
RENAVAM	Registro Nacional de Veículos Automotores
RU	Restaurante Universitário
SAVE	Sistema de Alimentación de Vehículos Eléctricos
SCA	Sociedade das Ciências Antigas
SIN	Sistema Interligado Nacional
UC	Unidade Consumidora
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
VE	Veículo Elétrico
VEB	Veículo Elétrico à Bateria
VECC	Veículo Elétrico de Célula a Combustível
VEH	Veículo Elétrico Híbrido
VES	Veículo Elétrico Solar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	18
<i>1.1.1 Objetivos Gerais</i>	18
<i>1.1.2 Objetivos Específicos</i>	18
1.2 Estrutura do Trabalho	19
1.3 Relevância do Trabalho	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 Características iniciais dos veículos elétricos	21
2.2 História dos Veículos Elétricos	23
<i>2.2.1 Início de tudo (século XIX)</i>	23
<i>2.2.2 Anos intermediários (1930-1989)</i>	25
<i>2.2.3 Tempos Modernos (1990-Atualmente)</i>	26
2.3 Concentração e volume de vendas de veículos elétricos	26
<i>2.3.1 Cenário Atual</i>	27
<i>2.3.2 Projeções futuras</i>	29
<i>2.3.3 Competição no mercado</i>	30
<i>2.3.4 Políticas públicas de incentivo à utilização de veículos elétricos</i>	32
2.4 Eletrovias	35
<i>2.4.1 Eletrovia da Copel</i>	35
<i>2.4.2 Eletrovia RJ-SP</i>	36
<i>2.4.3 Eletrovias do Uruguai</i>	37
2.5 Potencial Fotovoltaico	37
2.6 Sistema Fotovoltaico	42
<i>2.6.1 Módulos Fotovoltaicos</i>	42
<i>2.6.2 Inversores</i>	45
<i>2.6.3 Carregadores</i>	46
2.7 Principais Impactos Técnicos ao Sistema Elétrico de Potência	48
<i>2.7.1 Aumento dos Harmônicos na Rede</i>	49
<i>2.7.2 Diminuição dos Impactos na Rede Elétrica com a Utilização da Geração Distribuída</i>	50
2.8 Tipos de veículos elétricos em destaque no mercado	51
2.9 Programas de carros compartilhados e incentivos a VEs	54
<i>2.9.1 Programa VAMO</i>	54
<i>2.9.2 Programa VEM DF</i>	55
<i>2.9.3 Programa WeShare</i>	56
<i>2.9.4 Projeto Noronha Sustentável</i>	57
3. METODOLOGIA	59
3.1 Localização	59
3.2 Considerações realizadas	63
3.2.1 Veículos Elétricos Utilizados	63

3.2.2 Fluxo dos Veículos Elétricos relacionados a Universidade	63
3.3 Demanda Energética do Veículo Elétrico	68
3.3.1 Consumo Energético do VE	70
3.3.2 Eficiência do Carregador	71
3.4 Sistema de Carregamento Baseado em Energia Fotovoltaica	72
3.4.1 Análise da Capacidade Solar da Região	72
3.4.2 Dimensionamento da Instalação	74
4 RESULTADOS	75
4.1 Cenário 1	76
4.1.1 Quantidade de Painéis Cenário 1	78
4.1.2 Inversor Cenário 1	79
4.1.3 Geração Energética Fotovoltaica Cenário 1	80
4.1.4 Contribuição Energética Cenário 1	82
4.2 Cenário 2	84
4.2.1 Quantidade de Painéis Cenário 2	84
4.2.2 Inversor Cenário 2	84
4.2.3 Geração Energética Fotovoltaica Cenário 2	85
4.2.4 Contribuição Energética Cenário 2	86
4.3 Cenário 3	87
4.3.1 Quantidade de Painéis Cenário 3	88
4.3.2 Inversor Cenário 3	88
4.3.3 Geração Energética Fotovoltaica Cenário 3	88
4.3.4 Contribuição Energética Cenário 3	90
5 CONCLUSÃO	92
5.1 Sugestões de Trabalhos Futuros	93
REFERÊNCIAS	94
ANEXOS	102
ANEXO A – MÓDULO E SUAS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	102
ANEXO B – DATASHEET INVERSOR 50KW GROWATT	103
ANEXO C – DATASHEET INVERSOR 40KW GROWATT	104
ANEXO D – DIAGRAMA UNIFILAR	105

1 INTRODUÇÃO

O modo que a energia elétrica é gerada, transmitida e distribuída vem sofrendo diversas alterações ao longo dos anos. Uma modificação no setor elétrico que vem ganhando cada vez mais destaque é o livre acesso à infraestrutura de transmissão e distribuição, como incentivo a disputa nesse setor, resultando em um desfecho de descentralização da geração de energia elétrica. (BITTENCOURT, 2014). Nesse cenário, a exploração da energia solar, está dentre uma das principais alternativas energéticas bem desenvolvidas tecnologicamente para fornecer energia necessária ao desenvolvimento humano (PINHO e GALDINO, 2014).

Territorialmente o Brasil é beneficiado por estar localizado em uma região de excelente incidência de raios solares, pois parte da sua extensão está situada na zona tropical. Diante disso, os valores de irradiação solar em quase todo o país são de valores expressivos (TOMALSQUIM, 2016). Por causa dessa grande demanda de raios solares, as tecnologias de geração fotovoltaica (FV) estão crescendo exponencialmente em todo território nacional.

De acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), a Geração Distribuída (GD) é caracterizada por juntar ou aproximar a geração elétrica realizada dos consumidores independente de potência, tecnologia e fonte de energia. As tecnologias de GD têm evoluído constantemente para incluir potências cada vez menores. Estão inclusas na GD os co-geradores, geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo, geradores de emergência, geradores para operação no horário de ponta, painéis fotovoltaicos e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). A GD tem vantagem sobre a geração central pois economiza investimento em transmissão e reduz as perdas nestes sistemas, assim aprimorando a estabilidade do serviço de energia elétrica. As suas desvantagens estão relacionadas ao custo de implantação do projeto e ao seu tempo de amortização, porém com o desenvolvimento da curva de aprendizado, a tendência é a diminuição de custos e melhoria da tecnologia.

Duas aplicações de geração solar fotovoltaica que se destacam são a mini e a microgeração distribuída, onde edificações com implementação de geradores solares fotovoltaicos integrados e o sistema conectado à rede elétrica conseguem gerar energia elétrica para uso próprio, injetando o excedente para a rede ou para outros imóveis ligados a mesma titularidade. (PEREIRA et al. 2017).

Segundo a Resolução Normativa nº 482/12 da ANEEL (2016), o método de compensação indica que o excedente gerado pela Unidade Consumidora (UC) é injetado na rede de distribuição, assim sendo registrada como crédito de energia até o momento que a

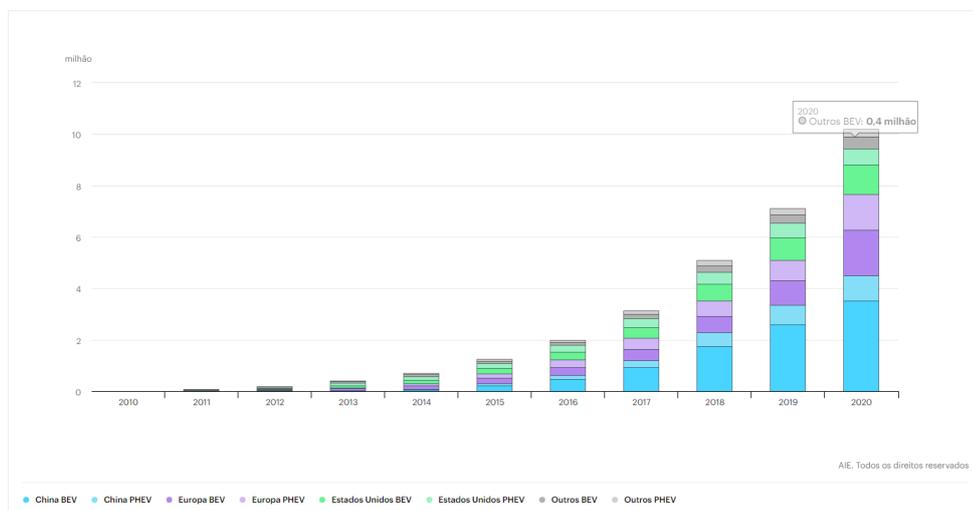
unidade necessite de energia provinda da concessionária de energia.

A grande demanda de energia que só aumenta ao passar dos anos, por causa do acréscimo de novas cargas na rede, pode gerar um comprometimento da estruturação da rede caso não sejam executados métodos de ampliação da capacidade da rede ou alternativas para suprir a demanda da carga. Um exemplo de carga que está adentrando cada vez mais no mercado, ganhando espaço e notoriedade e que pode apresentar uma grande demanda à rede são os Veículos Elétricos (VEs). Esses tipos de veículos possuem grandes vantagens e que podem ser ampliados caso tenha a junção com a geração de energia fotovoltaica, pois dessa forma o meio ambiente e a rede não seriam tão sobrecarregados.

A inovação de troca de motores a combustão por motores elétricos vem recebendo mais força e destaque pois a grande maioria das fabricantes de veículos está dentro de planos a prazos breves para transformar toda as suas frotas ou pelo menos mais de 90% delas em veículos a base de motores elétricos. Diante disso, o crescimento pela busca desses tipos de veículos acarretará mais concorrências, estudos e implementações, o que torna uma área de pesquisa e investimento muito interessante.

De acordo com a Agência Internacional de Energia - IEA (2021), o estoque global de carros elétricos atingiu 10 milhões de veículos em 2020, desse montante, dois terços são considerados vindos de veículos elétricos a bateria. O maior aumento foi marcado pela Europa, onde os registros mais que dobraram para 1,4 milhão (uma participação de venda de 10%), levando o título de principal mercado de carros elétricos do mundo pela primeira vez. A figura 2 apresenta o crescimento do número de VEs mundialmente durante os anos de 2010 a 2020.

Figura 1 - Crescimento do número de veículos elétricos no mundo de 2010 a 2020.



Fonte: IEA (2021).

Com a inserção de veículos elétricos no mundo já sendo uma realidade e não mais apenas projeções futuras, principalmente por seu grande potencial aliada a crescente busca desses veículos, a maioria dos fabricantes automotivos estabeleceram metas de eletrificação pretenciosas e a médio prazo. A maioria das marcas anunciaram que pretendem transformar toda ou pelo menos boa parte da linha de seus veículos em modelos híbridos ou elétrico, em média, até 2030. A empresa VOLVO já anunciou que toda sua linha será 100% elétrica em seu portfólio até 2025. (MIRAGAYA, F.)

Diante deste cenário diversas consequências podem aparecer correlacionadas exatamente a essa inserção, tendo como ação inicial uma grande pesquisa e estudo sobre esses problemas para que futuramente os mesmos sejam minimizados o máximo possível. Um desses problemas que podem estar correlacionados é o aumento das demandas nos horários de pico, pois o veículo elétrico ao ser carregado se torna mais uma carga que demanda energia elétrica.

O meio acadêmico, com essa adversidade, se torna um dos principais pontos iniciais nos estudos de viabilização de cenários de prospectivas. Desta maneira, este trabalho visa propor o uso de um ônibus elétrico juntamente com a implementação de um estacionamento com sistema fotovoltaico acoplado, com intuito de mitigar o impacto que pode ser gerado pelo crescente aumento de demanda que o carregamento dos veículos elétricos gera na rede. A redução do impacto está ligada à utilização do recurso solar convertido em energia elétrica, para o abastecimento de veículos elétricos estacionados.

Um estacionamento, desse tipo, é utilizado atualmente na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) localizado no campus da Ilha do Fundão mostrado na figura 1, ele tem capacidade para 65 automóveis, ocupando uma área total de 651,64 metros quadrados. O sistema tem potência nominal de até 99 kWp, num total de 414 módulos fotovoltaicos que são capazes de gerar 140 mil kWh por ano. (SOLAR ENERGY, 2015).

Figura 2 - Estacionamento com módulos fotovoltaicos na UFRJ.



Fonte: SOLAR ENERGY (2015).

O local escolhido para este estudo foi a Universidade Federal do Ceará, Campus Sobral – unidade Mucambinho. Foram propostas estruturas de cobertura para estacionamento de veículos, com um sistema fotovoltaico integrado, dedicado ao carregamento dos VEs naquela unidade.

1.1 Objetivos

O objetivo principal desse trabalho de conclusão de curso é apresentar e demonstrar os impactos tanto ambientais quanto relacionados ao sistema elétrico de potência que estão vinculados à inserção de veículos elétricos. Além de apresentar propostas sustentáveis para essa área de mobilidade, associando a grande demanda de energia elétrica e possíveis problemas na rede, com a inserção de um ônibus elétrico na Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus Sobral, e aplicação de uma fonte de energia limpa e renovável – a fotovoltaica (FV) – em forma de projeto inicial de uma Estação de Carregamento (EC) para Veículos Elétricos (VEs). Tudo isso com o intuito de melhorar tanto o conforto, a comodidade e acessibilidade para estudantes e demais sobralenses, quanto a relação positiva com o meio ambiente, já que a melhoria proposta seria por meio de geração solar, uma energia renovável e que não prejudica o meio ambiente como a poluição dos carros normais do mercado atual a base de gasolina.

1.1.1 Objetivos Gerais

Projetar um sistema fotovoltaico implementado em um estacionamento universitário, visando reduzir a demanda exigida pelo processo de carregamento de veículos elétricos em um cenário hipotético. Cenário que está diretamente ligado também ao conforto e acessibilidade dos universitários e população sobralense em geral que puder usufruir desse recurso.

Como demarcação do estudo, o estilo de estacionamento proposto terá como base de dados a Universidade Federal do Ceará, Campus Sobral – Mucambinho.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Apresentar uma síntese sobre a geração FV no Brasil, relacionando também seu potencial;
- b) Representar os VEs de acordo com os tipos, tecnologias e às histórias;
- c) Propor diferentes cenários para determinar o sistema de melhor entrega a ser instalado;
- d) Dimensionar e estabelecer a potência do sistema fotovoltaico necessária a ser instalada;

1.2 Estrutura do Trabalho

Para a elaboração deste trabalho efetua-se um método hipotético-dedutivo, com abordagem tanto quantitativa quanto qualitativa, ligadas e embasadas a procedimentos bibliográficos, documentais e por meio de um estudo de caso. Diante disso e para um entendimento eficaz este trabalho foi dividido em 5 capítulos.

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução do cenário da energia solar em âmbito nacional e sua ligação com os veículos elétricos e como podem prosperar juntos. Além dos objetivos que buscam ser alcançados com a realização do mesmo.

No segundo capítulo situa-se a revisão bibliográfica tanto sobre a geração de energia fotovoltaica quanto os veículos elétricos que são necessários para o entendimento do assunto do trabalho e de termos técnicos utilizados ao decorrer dos outros capítulos.

No terceiro capítulo, se encontra a metodologia utilizada para a realização do trabalho, sendo nesse capítulo onde foram realizadas as considerações e sequências de passos para o dimensionamento do sistema proposto, servindo como base de estudo para outras pesquisas relacionadas a dimensionamentos fotovoltaicos semelhantes.

O capítulo 4 contém os resultados do projeto e dimensionamento da melhor opção de geração fotovoltaica para a instituição de estudo, levando em consideração a comparação dos cenários propostos.

No último capítulo, de número 5, estão as considerações finais onde é feito um breve levantamento se os objetivos gerais e específicos foram atendidos, além de explanar sobre os resultados obtidos no capítulo anterior.

1.3 Relevância do Trabalho

Diante do cenário que está se criando e que irá se expandir cada vez mais em relação aos carros elétricos e com eles alguns problemas relacionados a demanda e a sobrecarga da rede de transmissão, causados pelo carregamentos desses veículos, uma solução viável e sustentável é através da geração fotovoltaica, que irá se integrar aos meios de carregamento dos VEs e suprir esta demanda extra nas redes. A parte sustentável seria tanto pela parte de utilização de energia renovável proveniente do sol para o carregamento dos VEs, quanto pela diminuição da poluição do ar proveniente dos veículos tradicionais que hoje ainda dominam o mercado, tornando assim a combinação fotovoltaica e veículos elétricos um investimento extremamente vantajoso e visionário.

Relacionando a atividades cotidianas de um proprietário de VEs, existe o estudo do método G2V (do inglês, *grid to vehicle*, da rede para o veículo), que mencionam pontos estratégicos de carregamento relacionados as principais atividades das pessoas, como por exemplo ir trabalhar ou ir a escola. O proprietário do VE irá deixar seu carro no estacionamento, conectando-o em uma tomada da elétrica disponível. E a partir daí os geradores fotovoltaicos instalados na estrutura das coberturas do estacionamento, será produzida a energia elétrica para o carregamento dos veículos que ali estejam para usufruir desse artifício. Assim, ao fim do expediente, o proprietário terá seu veículo carregado para retornar à sua residência. A sequência deste estudo é a V2G (*vehicle to grid*, do veículo para à rede) se relacionada ação de ligar a bateria já carregada do veículo em uma tomada residencial, no período da noite fazendo com que a bateria sirva como um gerador distribuído. Em horários de alto pico de demanda, a bateria ficaria responsável por injetar energia elétrica na rede e em momentos de baixa demanda, a bateria carregaria. (JUNIOR, 2011)

Através da junção dessas duas grandes potências do mercado atual, que podem gerar diversas vantagens tanto individualmente como coletivamente, principalmente relacionada ao meio ambiente, neste trabalho de conclusão de curso buscou-se a integração dos mesmos para terem uma relação crescente entre as duas tecnologias.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Características iniciais dos veículos elétricos

De acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), os veículos elétricos (VEs) são determinados pelo acionamento por pelo menos um motor elétrico. Dentro dessa denominação estão inclusos carros, trens, metrô, ônibus, aviões e barcos. Nesse trabalho o foco será os carros elétricos, intitulados genericamente por veículos elétricos, como há dezenas de milhões de veículos convencionais circulando no país, o VE tem grande potencial para reduzir consideravelmente os desperdícios evitáveis de combustíveis sobretudo de origem fóssil, assim se tornando uma alternativa importante e diferente dos veículos tradicionais de combustão interna.

Nos primórdios do século XX, haviam diversos VEs implementados a bateria, mas os motores a combustão interna (MCIs) obtiveram vários aperfeiçoamentos até que se tornaram os acionadores padrão. Com uma capacidade reduzida de armazenamento, maior peso e tempo elevado para carga total, as baterias acabam limitando o uso dos VEs ao atendimento de necessidades específicas como o transporte em áreas restritas.

O INEE relata que no final do século houve um resgate dos VEs impulsionado inicialmente por incentivos governamentais e normas que restringem emissões poluentes. Por mais que o número de VEs ainda seja pequeno (cerca de 300 mil a 400 mil de quatro rodas), as etapas de experiências já se encontram ultrapassadas e as vendas crescem exponencialmente pelas vantagens apresentadas, como por exemplo: alta eficiência energética que permite redução de custos operacionais comparados aos convencionais e um conforto maior quanto se refere ao baixo ruído e a ausência de vibrações.

Esse tipo de veículo pode ser subdividido de acordo com as fontes de energia que os movimentam, promovendo a seguinte divisão:

1. Veículos Elétricos à Bateria (VEB);
2. Veículos Elétricos Híbridos (VEH);
3. Veículos Elétricos de Célula a Combustível (VECC);
4. Veículos Elétricos Ligados a Rede ou Troleibus;
5. Veículos Elétricos Solares (VES).

O primeiro tipo de VE listado foi um dos projetos iniciais a ganharem forma e trata-se de veículos que possuem um conjunto de baterias acoplado, as quais fornecem a energia necessária para o seu acionamento e que são recarregadas na rede elétrica ou pela frenagem

regenerativa dos mesmos (BASSO, 2011). Diversos modelos de VEB estão disponíveis em diversos países e são fabricados tanto por indústrias tradicionais como as mais atuais. Estes automóveis são os mais caros do mercado, principalmente por dependerem de baterias de alta capacidade. Porém, em contrapartida, esse tipo de veículo possui manutenção mais acessível em termos de custo, quando comparados aos veículos em combustão, além de emitirem nenhum tipo de poluente à atmosfera. O custo com esse tipo de veículo atrapalha sua presença no mercado, causando assim uma abertura para outros tipos de VEs. (ELÉTRICA, 2018)

Já a energia dos VEH é fornecida de uma maneira mais rebuscada, proveniente de um gerador a bordo que é acionado por um MCI que funciona à diesel ou gasolina, além de um conjunto de baterias químicas e capacitores que acumulam energia elétrica, concedendo a operação do MCI apenas nas condições ótimas ou então que ele permaneça desligado. A bateria é recarregada somente pelo motor convencional e pela energia gerada nas desacelerações e nas frenagens. Dentro dessa classe destacam-se dois tipos básicos de VEH: o serial, onde as rodas são acionadas apenas pelo motor elétrico e o tipo paralelo, em que as rodas podem ser acionadas pelo MCI em paralelo com o motor elétrico. Os carros do tipo VEH possuem maior autonomia do que os VEBs e consomem menos combustível que os carros à combustão. Alguns exemplos desse tipo de veículo são: Toyota Prius, Ford Fusion e Lexus CT200h.

Nos últimos tempos foi criado o conceito de veículos “*plug-in*”, que exemplifica veículos que podem ser ligados à rede elétrica para carga de baterias e dispõe de motor/gerador a bordo para o carregamento das baterias, extensão da autonomia e adição de potência em ladeiras e arrancadas que precisam de mais força. De forma simples, o VEH “*plug-in*” é a combinação do híbrido com o à bateria, que visa reduzir o consumo de combustível e proporcionar o aumento da autonomia do VE utilizando apenas a bateria para o seu funcionamento. Sua diferença em relação ao híbrido é a possibilidade de abastecimento diretamente com energia elétrica, o que gera vantagem ao usuário pois assim torna-se possível utilizar o tanque de combustível para trajetos mais longos e a eletricidade para trajetos mais curtos e repetitivos (trajetos urbanos envolvendo casa, trabalho e etc.). Uma característica importante desse tipo de veículo é sua economia de combustível por distância percorrida por demandar bem menos do motor à combustão, tornando assim, os custos com manutenção mais baratos (ELÉTRICA, 2018). Alguns exemplos de veículos elétricos do modelo *plug-in* são: BMW iB, Mitsubishi Outlander e Volvo V60.

Os veículos elétricos de célula a combustível (VECC), como o próprio nome sugere, são compostos por células a combustível, que são equipamentos eletroquímicos que

transformam a energia do hidrogênio diretamente em eletricidade. O INEE afirma que atualmente esse tipo de tecnologia é um tema de muita pesquisa e possui uma expectativa grande por parte dos fabricantes que consideram ela o futuro dos veículos. O hidrogênio será distribuído diretamente ou produzido a partir do metano (gás natural), metanol ou etanol. O VECC leva a bordo uma variação de sistemas de acumulação de energia de grande importância, sejam baterias ou capacitores.

Os VEs ligados a rede ou troleibus, possuem a sua energia fornecida pela rede elétrica. Esse é o tipo de veículo mais presente no Brasil (estado de São Paulo), porém, devido ao custo elevado da rede e as dificuldades de trânsito, não há previsão de expansão.

O último tipo de veículo elétrico é o solar, o qual a energia é fornecida por placas fotovoltaicas (FV), implementadas em estações de carregamento, e dentre todas as formas mencionadas é a mais positiva pois é proveniente de uma fonte renovável, assim ajudando dos dois lados, tanto o lado ambiental quanto o humano.

Segundo o CPQD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, 2015) a eficiência energética de cada veículo depende do seu tipo e do seu grau de eletrificação. Os mais eficientes são os do tipo VEB, pois são totalmente eletrificados, variando entre 90 e 100%, logo em seguida vem os do tipo “*plug-in*”, que utilizam o motor elétrico com maior frequência do que os do tipo VEH, que estão logo em seguida nesse ranking com eficiência variável de 40 a 50%. Já em questão de redução do consumo de combustível, os VEHs têm uma economia de 25 a 40%, já os “*plug-in*” que são variantes dos híbridos, chegam de 40 a 65%.

2.2 História dos Veículos Elétricos

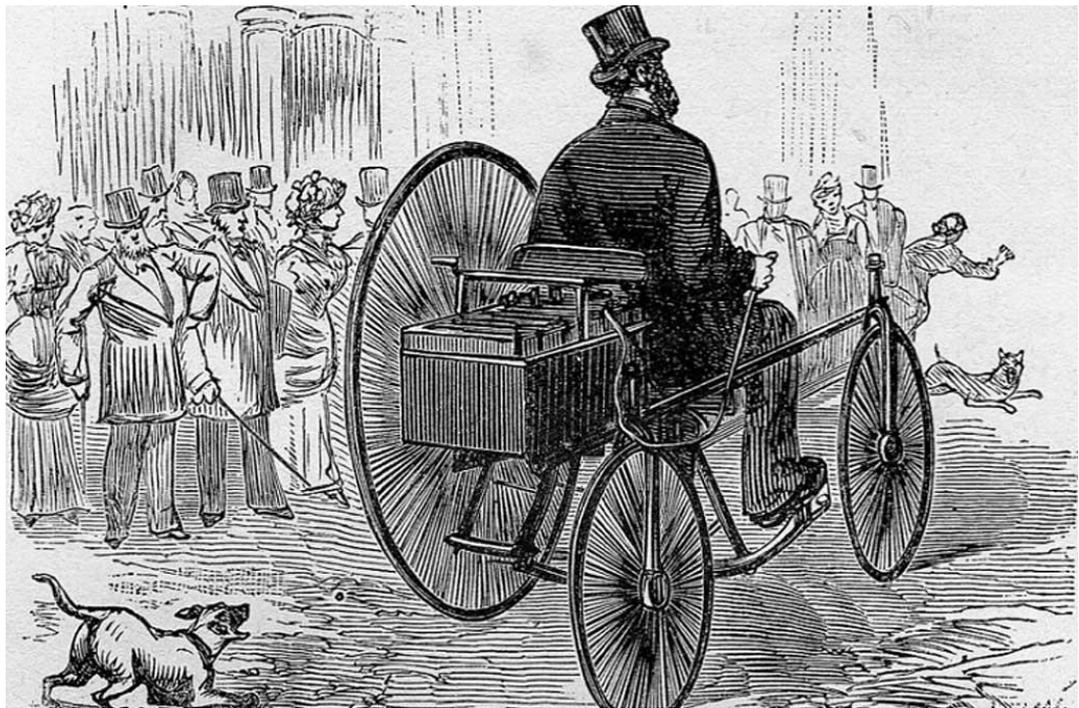
O objetivo deste capítulo é exibir a evolução progressiva dos automóveis elétricos e híbridos juntamente com a indústria automobilística, desde suas origens até os dias atuais. Além disso serão apontadas algumas razões que levaram o automóvel convencional a dominar o mercado, durante o século passado, e a retratação dos tipos híbridos nos anos mais contemporâneos.

2.2.1 Início de tudo (século XIX)

Segundo Hoyer (2008), a relação entre a história das baterias e a dos carros estão estreitamente ligadas. No ano de 1800, Alessandro Volta descobriu a possibilidade de

armazenamento químico da energia elétrica e passados 21 anos, Michael Faraday validou os princípios de funcionamento do motor elétrico com base nos estudos preliminares de Volta. Anos depois, em 1859, o belga Gaston Planté fez o teste da primeira bateria criada até então, constituída de chumbo e ácido. Dois anos depois, Antonio Pacinotti seguiu essa linha de raciocínio e criou o dínamo – gerador elétrico de corrente contínua. Logo em seguida, esse tipo de bateria passou a ser integrada à diversos veículos elétricos que foram confeccionados a partir do início da década de 1880 nos EUA, Reino Unido e França. Todas essas evoluções contribuíram para que em 1881, Gustave Trouvé criasse o primeiro VE: um triciclo alimentado por baterias de chumbo-ácido, movido por um motor de corrente contínua de 75 W, como pode ser visto na Figura 3. O veículo e o passageiro juntos pesavam cerca de 160 kg, a velocidade máxima era de 15 km/h e a autonomia de 16 km não atraíam os possíveis consumidores (CASTRO, 2015).

Figura 3: Primeiro VE criado por Gustave Trouvé.



Fonte: (CONNECXION, 2017).

Entre os anos de 1895 e 1905 o desenvolvimento tecnológico e a popularização dos veículos elétricos tomaram uma alta proporção (HOYER, 2008). Durante o período da “Era de Ouro”, os carros à combustão e à vapor possuíam uma grande dificuldade de se controlar (a passagem de marchas não era suave, demandava muita força do usuário) e dar partida

(diversos veículos da época utilizavam uma manivela operada pelo usuário para serem ligados) e sendo eles os maiores concorrentes dos VEs, a popularidade dos VEs aumentou cada vez mais. Nessa virada de século, o mercado norte-americano se dividia principalmente em elétricos e os a vapor, os quais em 1899, chegaram à marca de venda de 1575 automóveis elétricos, 1681 a vapor e 936 a gasolina, comprovando que a popularidade dos veículos elétricos estava equiparada aos movidos a vapor (Cowan e Hultén, 1996).

As maiores vantagens dos veículos elétricos da época era sua maior limpeza, eram silenciosos e tinham poucas vibrações (ANDERSON; ANDERSON, 2015), porém suas desvantagens também se destacavam, pois estavam relacionadas ao maior custo, pois eram bem mais caros que os concorrentes, e a sua autonomia, por conseguirem percorrer apenas pequenas distâncias. Em termos de estratégia comercial, cada indústria possuía perspectivas particulares: os fabricantes de automóveis a gasolina tensionavam o consumo em massa, e para eles o preço era o principal objetivo; os fabricantes de automóveis a vapor eram aversos ao consumo de massa e se preocupavam em aprimorar produtos de alta performance, sem ter grande direcionamento aos aspectos como preços e formas de pagamento; já os fabricantes dos automóveis elétricos ou eram monopolistas integrados verticalmente, ou estavam em busca de vender produtos mais caros a consumidores de alto poder aquisitivo.

Entretanto, o consumo dos carros teve uma reviravolta a partir da década de 1910 com o surgimento do Fordismo e seu sistema de produção em série, que reduziu os preços de carros à gasolina para, em média, 50% dos valores pagos em VEs. Como se não bastasse, os veículos à combustão ganharam destaque na visão do público com a injeção da partida elétrica, o que os tornava bem mais fáceis de manusear (BARAN; LEGEY, 2011).

2.2.2 Anos intermediários (1930-1989)

Esse período foi evidente a redução de vendas no mercado de VEs, sendo produzidos em proporções cada vez menores. No decorrer da primeira e segunda guerra mundial, os EUA e o Reino Unido tiveram um aumento significativo na produção de VEs em decorrência do racionamento de combustíveis como o diesel e a gasolina, como ocorreu por exemplo no Japão no período pós guerra. Nos três casos, logo após o termino dos racionamentos a fabricação desses veículos voltou a cair (BARAN; LEGEY, 2011).

No decorrer dos anos 1960, a problemática em relação as questões ambientais começaram a ganhar destaque mundialmente (ANDERSON; ANDERSON, 2015), e as emissões de gases tóxicos pelos automóveis estavam entre as principais fontes de poluição.

Diante disso, os VEs ganharam novamente a atenção do público. A General Motors e a Ford começaram a desenvolver protótipos de VEs, porém nunca tiveram sequência na produção em alta escala. Entre 1970 e 1980, com esse debate ambiental em alta juntamente com a crise do petróleo de 1973, os VEs tiveram uma oportunidade grande de inserção no mercado, mas os veículos à combustão eram mais viáveis e competitivos, assim prevalecendo sobre os veículos elétricos. (BARAN; LEGEY, 2011).

2.2.3 Tempos Modernos (1990-Atualmente)

A reação dos veículos elétricos começou por volta dos anos 1990, onde o mundo estava com os problemas ambientais ganhando enorme proporção e também com as evidências indicadas pelas primeiras políticas públicas de emissão zero de poluentes e por conferências internacionais para debates relacionados ao clima, como a ECO-92, o que acabou aquecendo o mercado dos VEs. No fim desta década, as fabricantes começaram a lançar VEs que se revelaram viáveis de competir com alguns setores do ramo automobilístico.

A Toyota, fabricante japonesa automobilística, por exemplo, lançou o PRIUS em 1997, um veículo híbrido sedã, que chegou no mercado americano apenas 3 anos depois. O sucesso exponencial desse modelo deu abertura para o lançamento de diversos outros modelos de VEs das concorrentes, como o *INSIGHT*, da Honda, que foi o primeiro veículo híbrido lançado no mercado americano, o DUO, da fabricante alemã Audi, lançado em 2000 na Europa, a versão híbrida do CIVIC, da Honda, lançado em 2004, e o esportivo híbrido ESCAPE, da Ford, lançado em 2004. Além disso, atentos à dependência da economia em relação ao petróleo importado, gerando uma grande preocupação na sociedade, os Estados Unidos lançaram um programa de desenvolvimento de transporte elétrico em 2007, o *Energy Independence and Security Act*, destinando recursos para fabricantes, fornecedores e pesquisadores desenvolverem o mercado dos VEs (BARAN; LEGEY, 2011).

2.3 Concentração e volume de vendas de veículos elétricos

Em grande parte dos países, os veículos elétricos têm adquirido grande relevância quando se trata de volume de carros na frota e ao montante de vendas.

2.3.1 Cenário Atual

Em 2019, os veículos elétricos representavam cerca de 0,4% da frota de carros em utilização mundial, enquanto estão enquadrados em 2,1% de todos os automóveis vendidos (QUARTZ, 2019).

Já de acordo com o boletim SCA (Sociedade das Ciências Antigas), em 2021 os VEs representaram cerca de 1% na frota mundial de carros de passageiros, mas as vendas estão crescendo rapidamente. Em 4 anos, 25% dos novos carros comprados na China e quase 40% dos adquiridos na Alemanha deverão ser elétricos, segundo a BloombergNEF (2021). As vendas mundiais desse tipo de veículo devem alcançar 10,7 milhões até 2025 e depois 28,2 milhões até 2030.

A China se manteve no topo do mercado automobilístico, tendo 1,1 milhões de unidade vendidas em 2018 e chegando a ter 50% da frota mundial de VEs (com 2,3 milhões de unidade). A Europa não ficou muito atrás, com cerca de 1,2 milhões e os EUA chegou a marca de 1,1 milhões, totalizando com os demais mercados a frota mundial de 5,1 milhões. A Noruega possui grande parcela do mercado automobilístico relacionado aos veículos elétricos, com cerca de 46% de todos os automóveis vendidos no país em 2018 foram de carros elétricos, mais da metade do percentual da segunda maior parcela do mercado, a Islândia que obteve cerca de 17%, e 6 vezes maior que a terceira colocada, a Suécia, com 8% (IEA, 2019).

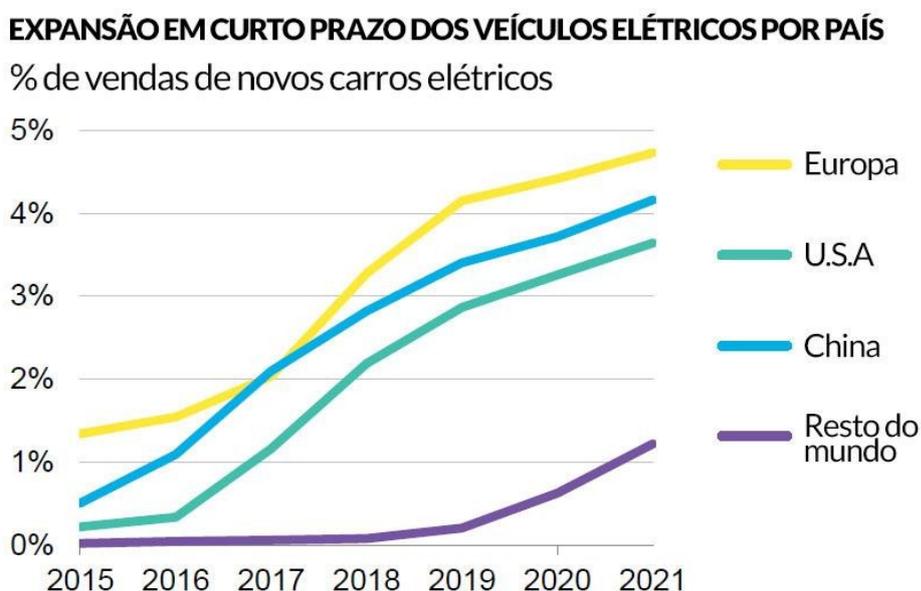
No cenário de ônibus elétricos, que já ganharam as ruas de cidades na América Latina, como Santiago, no Chile, e Bogotá, na Colômbia, a frota global saltou de quase 100.000 em 2017 para mais de 460.000 em 2018. Na mesma proporção, veículos de carga (como caminhões, por exemplo) estavam na faixa de 80.000 em 2017, no ano seguinte chegaram a 250.000 unidades (IEA, 2019).

De acordo com o jornal virtual Estadão (2019), em levantamentos gerados por diversas empresas e indústrias, dentre elas a Agência Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de Notícias e a WRI Brasil, pelo menos 32 modelos diferentes de ônibus elétricos a bateria serão concedidos, de acordo com um levantamento do WRI Brasil. Essas circunstâncias permitem uma transição mais rápida para os novos modelos de mobilidade urbana, pois deve proporcionar uma queda no custo devido à competitividade entre os fabricantes. Na América Latina, 1.962 ônibus elétricos estão em circulação, de acordo com um levantamento realizado pela plataforma E-bus Radar, em 2020. Esse número representa um crescimento de 43,6% em relação a 2019.

No Brasil, a frota de VEs chegou em 4,7 mil em 2015, enquanto em 2013 essa mesma classificação estava apenas com metade desse valor. (CANALTEC, 2016). Em 2018, o país observou o recorde nacional de vendas de VEs, com cerca de 4 mil unidades vendidas, montante 20% superior ao de 2017. Até o início de 2019, a frota de VEs em território nacional era cerca de 10 mil automóveis (BIOENERGIA, 2019).

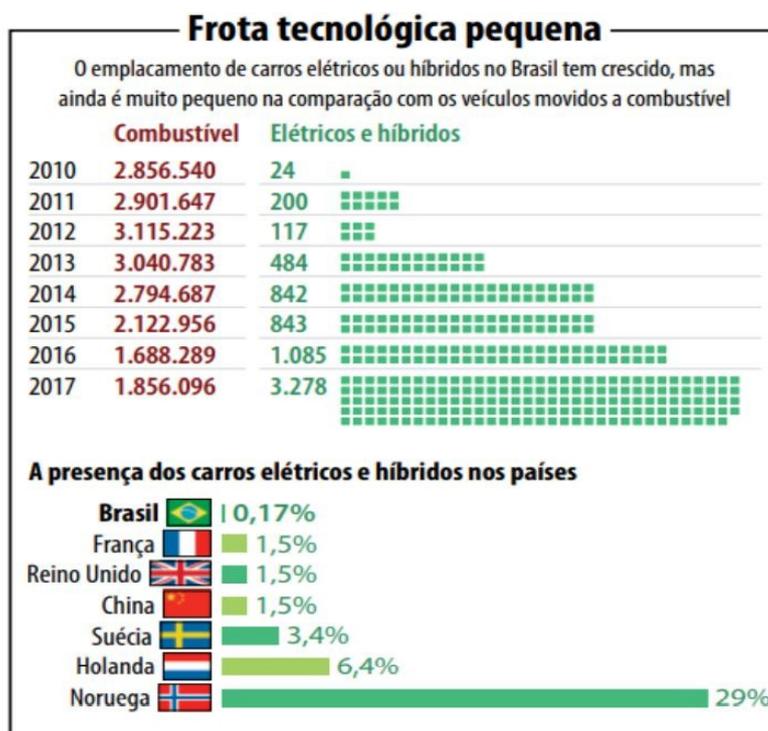
A figura 4 demonstra a expansão de vendas dos veículos elétricos nos últimos anos no mundo, já a figura 5 também nos relata o demonstrativo de aumento das vendas desse tipo de veículos nos últimos anos, só que no Brasil e também a porcentagem deles presentes nas frotas de alguns países até 2017.

Figura 4 - Expansão da venda de VEs pelo mundo.



Fonte: Bloomberg Energy Finance.

Figura 5 - Estimativas de emplacamentos e frotas percentuais anuais de carros elétricos no Brasil e em outros países até 2017.



Fonte: SENADO, 2019.

2.3.2 Projeções futuras

O estoque de automóveis elétricos no mundo poderá chegar a 70 milhões de unidade em 2025, de acordo com o relatório *Global EV Outlook 2017*, da Agência Internacional de Energia (AIE), publicado na Revista FAPESP. Outra projeção, de acordo com a consultoria Morgan Stanley, indica que até 2030, cerca de 16% de toda a frota global de veículos leves no mundo seja de carros elétricos. Diante disso, diversos países, principalmente europeus, já possuem como meta banir os carros movidos a combustíveis fósseis. (PARANÁ, 2019)

Até 2040, a frota de VEs em operação ao redor do mundo será de 548 milhões, representando um percentual de 32% de todos os automóveis do planeta. Seguindo essa mesma projeção, nesse mesmo ano, 57% de todas as vendas de veículos leves no mundo serão de VEs, enquanto a previsão de 2018 era de 55%, assim evidenciando um ritmo crescente exponencial para esse nicho. Em relação ao transporte público, ônibus elétricos tem a previsão de ocupação de 81% de todas as vendas municipais do mundo nesse tipo de veículo. De outro ponto de vista, os veículos de carga possuem uma projeção menos expressiva de cerca de 19%

das vendas globais, e é previsto que esses automóveis sejam utilizados com maior frequência, a princípio, para transporte em menores distâncias. No panorama de serviços de transporte por aplicativo e carros compartilhados, 5% de toda a distância percorrida por automóveis dessa categoria são elétricos em 2019, e possivelmente irão crescer para 19% em 2040 (BNEF, 2019).

Além dessas projeções, a Organização dos países Exportadores de Petróleo (OPEP) e a ExxonMobil (organizações que possuem o petróleo como seu principal produto), também realizaram suas próprias projeções ainda no ano de 2018, porém essas por sua vez são um pouco menos otimistas do que as relatadas anteriormente, reforçando a primordialidade da difusão populacional dos veículos elétricos. Enquanto a (IEA, 2019) planeja uma frota de 548 milhões de VEs no mundo até 2040, a OPEP estima cerca de 300 milhões destes mesmos veículos circulando pelo mundo, enquanto a Exxon prevê uma frota de 162 milhões, bem abaixo se comparada com os dois valores anteriores (QUARTZ, 2019).

No Brasil, o cenário tem uma perspectiva de que 2,5% de todos os licenciamentos de veículos leves em 2026 serão de carros elétricos ou híbridos, o que forma um montante de 100 mil unidades licenciadas (ECONÔMICO, 2017). Isso totalizaria 360 mil veículos elétricos na frota nacional (BIOENERGIA, 2019).

2.3.3 Competição no mercado

O mercado automobilístico não tem outra alternativa senão se adaptar ao crescimento exponencial da utilização dos VEs nesse meio, isso inclui desde as montadoras até as revendedoras e seguradoras).

No início dessa cadeia, estão as montadoras, a Volvo por exemplo, originária da Suécia, iniciou o lançamento desse tipo de automóvel apenas a partir de 2019, com o plano de colocar no mercado 5 modelos novos totalmente elétricos entre 2019 e 2021. Além disso, essa empresa estabeleceu a meta de venda de 1 milhão de carros elétricos até 2025 (TECNOBLOG, 2018).

Uma das principais concorrentes da Volvo, a Mercedes-Benz, também embarcou nessa ideia e por meio do diretor Dieter Zetsche, em 2017, anunciou que pretende comercializar versões elétricas de todos os seus veículos até 2022, o que reunidos se tornam mais de 50 modelos de automóveis elétricos disponíveis no mercado. Aproveitando o mesmo evento de anúncio, o CFO Frank Lidenberg relatou que a empresa realocaria parte dos seus lucros em curto prazo para impulsionar as vendas de carros elétricos, já se planejando para o banimento

dos motores à combustão no mundo, que está cada vez mais próximo de acontecer. Diante desse cenário, a Daimler AG, detentora da marca Mercedes-Benz, afirmou que o custo de compra de um carro elétrico ficará similar com os carros à combustão em 2025, onde a partir daí a migração se dará de maneira mais rápida (TECNOBLOG, 2017).

Mesmo com todos esses avanços e investimentos, para os carros elétricos se tornarem economicamente competitivos com os demais, ainda dependem de certos desafios. O chefe da empresa que presta serviços de tecnologia e de dados para o mercado financeiro, que é uma das divisões de transporte da BNEF (*Bloomberg New Energy Finance*), Colin McKerranher, declara que existem dois fatores principais que irão contribuir para o impulso da utilização de VEs no mundo, que são: o segmento de demanda e o preço dos veículos. Referente ao primeiro, constata-se que a maioria dos donos de VEs geralmente são pessoas de classe alta já com mais de um carro em posse. Quando a venda de VEs para esse tipo específico de comprador estagnar ou diminuir, as empresas e os gestores públicos se4rão pressionados a tornar o produto atrativo para as demais classes, e então irão acontecer mais investimentos em infraestrutura (postos de carregamento, por exemplo), campanhas, marketing, educação pública, e em diminuição de custos. Já sobre o preço dos veículos, McKerranher prevê que os custos de compra de VEs ficarão no páreo com os de veículos à combustão em pelo menos 5 anos, impulsionados pelos decrescentes custos envolvendo armazenamento de energia, que despencaram em mais de 85% desde 2010, além da crescente capacidade produtiva das montadoras (QUARTZ, 2019).

É de grande importância frisar que as baterias custam, em média, um terço do custo total da produção de um VE, e a trajetória de queda observada dos preços das mesmas (ECONÔMICA, 2017) reforça a afirmação de McKerranher.

Trazendo essa visão para o Brasil, ao se carregar um VE em casa, estimasse um custo de 6 vezes menos que um carro à combustão. Considerando os modelos cujas baterias possuem capacidade média de 40 kWh a 60kWh e chegam a uma autonomia média de 300 km, pode-se estimar que um VE convencional custe em torno de R\$ 0,08 por quilômetro rodado, enquanto veículos à combustão custem, em média, mais de R\$ 0,50 (AUTOESPORTE, 2019a). Essa economia causa um impacto enorme na sociedade, fazendo com que haja a aproximação do público com a utilização de VEs, isso associado ao aumento da infraestrutura, diminuição dos preços de compra e a vigência de políticas de incentivo.

2.3.4 Políticas públicas de incentivo à utilização de veículos elétricos

Visando a melhoria do cenário preocupante sobre o aquecimento global e o meio ambiente, várias entidades governamentais passaram a promover políticas de incentivo à utilização e venda de VEs no mundo, tendo como base a constatação de que os veículos à combustão estão entre os maiores emissores que poluem a atmosfera. Esses tipos de decisões possuem um papel importantíssimo para o desenvolvimento e popularização dos VEs. Segundo (IEA, 2019), são estipulados alguns passos considerados essenciais para o prosseguimento desse processo, que são:

- Adoção de padrões de fabricação dos veículos e de entrada dos sistemas de carregamento;
- Estímulos econômicos para aliviar o *gap* entre os preços de VEs e de carros à combustão;
- Investimentos em estruturas de carregamento dos veículos;
- Restrições em emissões de poluentes.

A Figura 6 a seguir, de acordo com uma pesquisa realizada pela revista ÉPOCA, em 2017, explana algumas metas iniciais relacionadas ao banimento de veículos à combustão em alguns países, e logo em seguida estão expostas algumas notícias que exemplificam algumas políticas públicas que estão em prática ou em processo de implantação nessas regiões.

Figura 6 - Perspectivas de banimento dos carros à combustão ao redor do mundo.



Fonte: (ÉPOCA, 2017).

O governo britânico, em julho de 2017, anunciou que irá banir carros movidos a gasolina e a diesel até 2040, bem como os veículos híbridos. Michael Gove, ministro do Meio Ambiente à época, ressaltou que as motivações do projeto envolvem não apenas a piora de problemas de saúde por conta das emissões, mas também a aceleração das mudanças climáticas. (G1, 2017)

Além disso, em agosto de 2019, o governo francês anunciou por meio da ministra dos transportes Elizabeth Borne, que pretende dar fim às vendas de carros movidos à combustão a partir de 2040, e da mesma forma tornar o país neutro em emissões de carbono em 2050. Dentre as iniciativas do governo para concretizar este objetivo, estão os incentivos fiscais às montadoras nacionais e isenção de impostos para funcionários de empresas que utilizam bicicletas ou carros compartilhados. (WEBMOTORS, 2019)

A Comissão Europeia, órgão executivo da União Europeia, anunciou em julho de 2021, que se uma empresa não inclui a luta contra a mudança climática entre suas prioridades, terá

dificuldades cada vez mais em acessar e operar no mercado europeu. Bruxelas propôs que a partir de 2035 não possam ser vendidos carros particulares e caminhonetes novos que emitam dióxido de carbono, o que na prática significa acabar com os motores a gasolina, diesel, gás e híbridos. A Europa foi o primeiro continente que fixou o objetivo de conquistar a neutralidade climática (zero emissões) em 2050 e está na frente, comparada ao restante da comunidade internacional na fixação das primeiras medidas concretas para consegui-lo. (EL PAÍS, 2021)

Na Ásia, a China tem limitado os investimentos para as fábricas de veículos à combustão, além de oferecer incentivos baseados no tipo de bateria, oferecendo maiores benefícios para os que menos poluem. Já no Japão, a tática do poder público nos últimos tempos tem sido buscar, em cooperação com o setor industrial, reduzir por volta de 80% as emissões de poluentes de veículos leves produzidos em solo japonês até 2050, o que torna o aumento dos VEs uma grande vantagem. (IEA, 2019)

No Brasil, o GDF (Governo do Distrito Federal) anunciou em outubro de 2019, por meio do Governador Ibaneis Rocha, um projeto de lei a ser encaminhado à Câmara Legislativa do DF (CLDF) para garantir a isenção do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) aos VEs por um prazo de 5 anos, de maneira a estimular a população a adquirir esse tipo de automóvel e contribuir para a “construção de uma Brasília mais inteligente, tecnológica e humana”, segundo o secretário de Ciência, tecnologia e inovação, Gilvan Máximo. (BRASÍLIA, 2019a)

Em 2015, Fernando Haddad, prefeito da cidade de São Paulo na época, sancionou um projeto de lei pra incentivar a utilização de carros elétricos a hidrogênio na metrópole. Esse incentivo abrange a restituição da cota municipal do IPVA por cinco anos após a data da compra do veículo, limitado a um valor de até R\$ 10.000,00 para os automóveis que custam até R\$ 150.000,00. Além disso, essa lei descarta o veículo do rodízio de carros que ocorre na capital paulistana. A solicitação da devolução do imposto é feita de forma digital. (PAULO, 2019)

Já existem projetos de lei relacionadas ao incentivo à utilização de VEs também no Paraná e no Rio de Janeiro. No Senado Federal, tramitam dois projetos de leis que, de acordo com costumes europeus, visam determinar o fim da circulação e venda de carros à combustão.

O primeiro desses projetos é o PL 304/2017 (Projeto de Lei do Senado), que modifica o Código de Trânsito Brasileiro para proibir a comercialização de automóveis movidos a combustíveis fósseis a partir de 2030 e vedar a circulação dos mesmos a partir de 2040. Essa proposta está atualmente em tramitação, aguardando destaque para pauta na relatoria da CCJC (Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania) do Senado Federal. (SENADO, 2019b)

Já o segundo projeto de lei, o PLS 454/2017 acrescenta à Lei nº 8.723/1993, que está relacionada a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e outras providências, um artigo que veda a comercialização de veículos novos de tração automotora por motor à combustão a partir de 2060, exceto aqueles abastecidos exclusivamente por biocombustíveis. Somando a isso, limita um percentual de participação de veículos à combustão para 90% a partir de 2030, 70% a partir de 2040 e 10% a partir de 2050. (SENADO, 2019c)

No ano de 2019, o Brasil ganhou um avanço na área automotiva, pois começou a vigorar o Rota 2030, programa de inovação do setor automotivo, que deverá receber R\$ 200 milhões por ano, subsídio que se enraizará na forma de incentivos fiscais para a indústria. Nesse programa, está inclusivo o fim da alíquota de importação de autopeças, em troca de um depósito, por parte das montadoras, de 2% dos valores em um fundo destinado à pesquisa e desenvolvimento do próprio setor. (ESTADÃO, 2019a)

2.4 Eletrovias

Com o aumento da frota de carros elétricos no Brasil e no mundo, o caminho mais lógico a se seguir dando prioridade as necessidades desses veículos, é o aumento de pontos de recarga para os VEs. Nesse caso, esses pontos de recarga podem ser representados como simples eletropontos, em que um totem, tomada ou plataforma de recarga está presente, ou como eletropostos, muitas vezes integrados a postos de combustíveis (que já possuem a estrutura necessária antes de receber pontos de recarga para automóveis elétricos), em que são dispostos vários eletropontos.

Diante desse cenário, uma eletrovia pode ser caracterizada por uma estrada, rua, rodovia ou afins que dispõe de pontos de recarga para VEs a cada determinada distância, geralmente 100 km (em média) entre dois deles, levando em consideração que a autonomia de um carro elétrico, em 2018, variava entre 160 a 200 km, no mínimo, até 400 km, nos modelos mais modernos e mais econômicos. (ANTUNES, 2018)

2.4.1 Eletrovia da Copel

No Brasil e no mundo, há diversos exemplos de implantação de eletrovias e de eletrificação de cidades, um grande exemplo é a maior eletrovia do Brasil, instalada na BR-277 no Paraná, onde corta o estado do Paraná de leste a oeste, de Paranaguá até Foz do Iguaçu, passando por Curitiba e outras cidades importantes. Essa eletrovia foi instalada em março de

2018, pela Companhia Paranaense de Energia (Copel), em parceria com a Itaipu Binacional, a prefeitura de Curitiba e o governo estadual.

Foi realizado um investimento de cerca de R\$ 5,5 milhões, fazendo com que essa eletrovia seja composta de 11 eletropostos de abastecimento ligados à rede elétrica local, em que os motoristas podem carregar seus veículos gratuitamente, cada eletroposto tendo uma potência de 50kVa e com três tipos de conectores, os quais são compatíveis com a maioria dos carros elétricos comercializados no mundo até o fim de 2018. As estações são todas de recarga rápida, levando entre meia e uma hora para recarregar 80% da bateria da maioria dos carros elétricos, modelos que rodam de 150 a 300 quilômetros a cada carga.

Em dados obtidos pelo Governo do Paraná, entre a inauguração da eletrovia até o começo de 2019, os 12 eletropostos de abastecimento espalhados pela BR-277 realizaram um total de 330 recargas. Foram consumidos 2.914 KWh, uma média de 8kWh por recarga, a um custo aproximado de R\$ 6,75 cada.

Para fortalecer a utilização de veículos elétricos, em 21 de março de 2019 o governador Carlos Massa Ratinho Júnior concedeu o incentivo fiscal para estimular a produção e o uso de carros elétricos. O mesmo assinou um projeto de lei que propõe zerar a alíquota de IPVA de veículos elétricos, que girava em torno de 3,5% na época. Além disso, apresentou uma proposta de convênio ao Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz) para que o Estado possa isentar o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para a aquisição desses veículos.

2.4.2 Eletrovia RJ-SP

Na região Sudeste, em agosto de 2018, na rodovia Presidente Dutra (BR-116) que liga a cidade de São Paulo ao Rio de Janeiro, houve a inauguração de uma eletrovia. Essa produção foi realizada pela BMW do Brasil em conjunto com a rede de posto Ipiranga e a Energia de Portugal (EDP), contendo seis postos de recarga para veículos elétricos espalhados pelos 430 quilômetros de percurso entre as duas capitais. Nos primeiros 5 meses de funcionamento a recarga das baterias foi gratuita e não era restrito a apenas aos modelos da idealizadora, assim, podendo ser utilizado por qualquer pessoa que possuir um modelo elétrico ou híbrido plug-in (UOL, 2018).

Os eletropostos têm um totem de 50 quilowatts (kW) cada, capazes de recarregar até dois veículos simultaneamente e aceita ainda diferentes plugues disponíveis o mercado, tornando o ponto de recarga totalmente viável para todos os modelos elétricos de carros. A

estimativa da empresa responsável é que cada eletropostos recarregue 80% da capacidade de uma bateria de 225 kW em apenas 25 minutos. O projeto teve cerca de R\$ 1 milhão em investimentos, sendo considerado a maior eletrovia da América Latina, superando o trecho de 310 km do corredor que liga as cidades de Montevideu e Rocha, no Uruguai (UOL, 2018).

Esse investimento é justificado pelo interesse na área Sudeste do país, pois o estado paulista detém metade de toda a frota de VEs do país e mais de 30% do mercado de automóveis, transformando-o em um território cobiçado e promissor para tecnologias desse porte.

2.4.3 Eletrovias do Uruguai

O Uruguai possui um incentivo bastante expressivo na área de veículos elétricos, pelo território já foi instalado o benefício de isenção fiscal. Essa ação fez com que a frota automobilística do país fosse renovada para automóveis movidos a energia elétrica, tanto na parte pública quanto os próprios táxis. Para aderir ainda mais a essa eletrificação dos veículos, foi criado o *Sistema de Alimentación de Vehículos Eléctricos* (Save) – sistema de abastecimento de veículos elétricos – um programa para implantar pontos de carregamento em todo o país, principalmente na capital, Montevideu, mas sempre tendo como principal trajeto a eletrovia que abarca o principal roteiro turístico uruguaio, que passam por diversos locais importantes como Punta Del Este, São Luis, Montevideu, Aeroporto Internacional de Carrasco e Maldonado. Em 2019 foram disponibilizados a população postos de alugueis de carros elétricos na via, e com a conclusão do eletropostos de Rocha, a eletrovia tem uma extensão total de 310 km. (CARROS, 2018)

2.5 Potencial Fotovoltaico

A quantidade de energia que o sol fornece todos os dias à Terra é suficiente para alimentar toda demanda energética diária do planeta várias vezes. A superfície da Terra recebe cerca de 3×10^{24} Joules por ano, ou seja, $9,5 \times 10^4$ TW de energia solar, cerca de 10.000 vezes a mais do que toda população terrestre consome. Considerando que no ano de 2000 o consumo global de energia foi de 13 TW e a estimativa para 2050 é de 30 TW, a energia enviada pelo Sol está sobrando excessivamente. (MACHADO; MIRANDA, 2014)

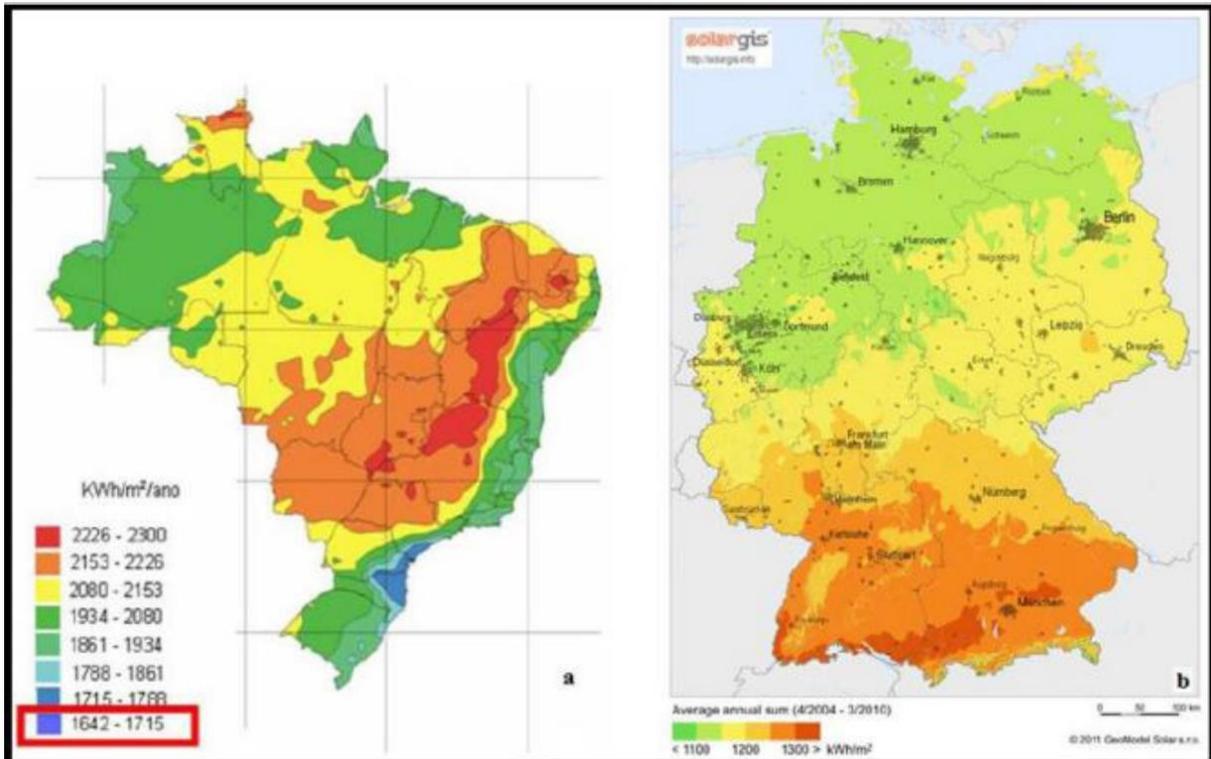
A irradiação solar no Brasil evidencia médias anuais relativamente altas. O valor mínimo, de 4,25 kWh/m²/dia, ocorre no litoral norte do estado da Bahia. Os valores de

irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2500 kWh/m²) são superiores aos da maioria dos países da união Europeia, como Alemanha (900-1250 kWh/m²), França (900-1650 kWh/m²) e Espanha (1200-1850 kWh/m²). (PEREIRA et al., 2006)

A energia solar é uma forma indireta de quase todas as fontes de energia (biomassa, eólica, hidráulica, energia dos oceanos e combustíveis fósseis). Além de que a radiação solar pode ser aplicada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou até mesmo elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais como o termoelétrico e o fotovoltaico. O termoelétrico é identificado pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, quando tal junção está a uma temperatura mais elevada do que as outras extremidades dos fios. Já o efeito fotovoltaico se origina na excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar. Dentre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica por meio das células solares ou fotovoltaicas, o que mais se destaca é o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. (ANEEL, 2005)

O potencial fotovoltaico no Brasil é muito expressivo, mesmo nas regiões menos ensolaradas do Brasil, que a irradiação solar é em torno de 1642 kWh/m²/ano, é possível gerar mais eletricidade que no local mais ensolarado na Alemanha que recebe valores que giram em torno de 1300 kWh/m²/ano (CABRAL, et al. 2013). A Figura 7 a seguir expõe essa comparação nas escalas:

Figura 7 - Irradiação solar – Brasil (a) / Irradiação solar – Alemanha (b). Média anual da radiação global.

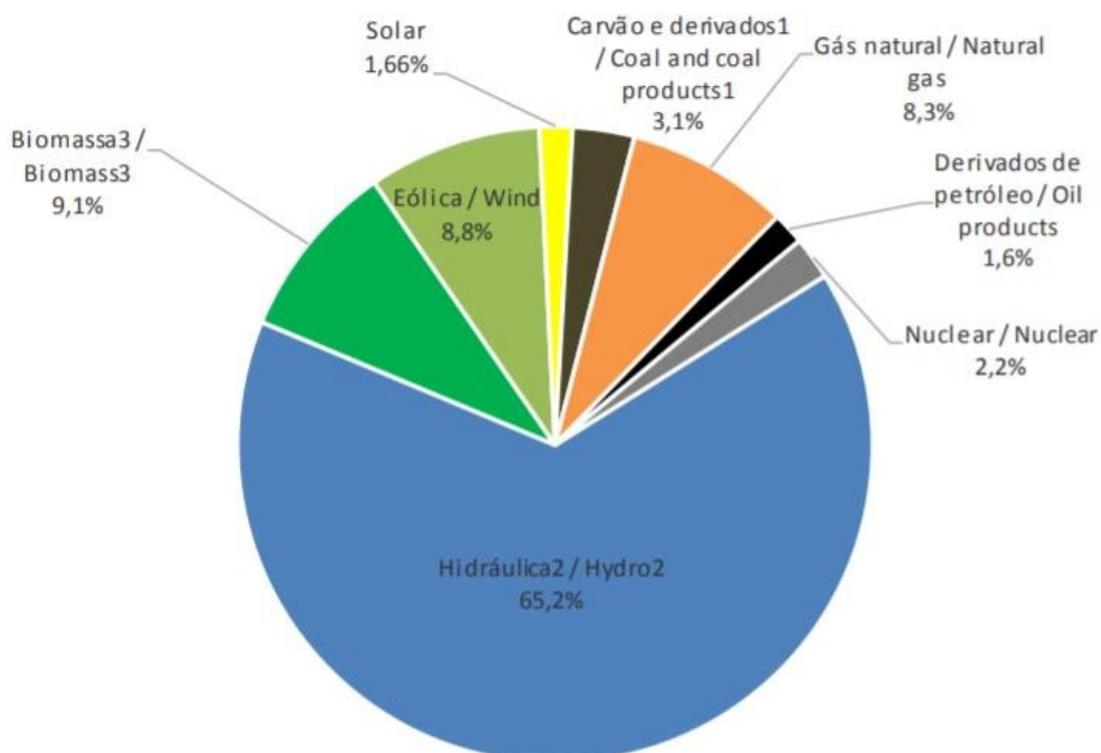


Fonte: CABRAL, et al. 2013.

A matriz energética do Brasil apresentou em 2017, 578,9 TWh de energia elétrica produzida, já em 2019, a geração de energia elétrica no Brasil atingiu 626,3 TWh, resultado 4,1% superior ao de 2018 e 8,19% ao de 2017. No ano de 2020 esse valor foi um pouco inferior, chegando na faixa de 621,2 TWh, resultado 0,8% a baixo ao de 2019. O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que responde por 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis representam 84,8% da oferta interna de eletricidade no país, que é resultado da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável. (EPE, 2021).

O gráfico da Figura 8 a seguir representa a estrutura da oferta interna de eletricidade no Brasil em 2020.

Figura 8 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.



Fonte: EPE, 2020.

Como é possível analisar pela figura 6, as fontes de energia renováveis (eólica, biomassa, solar, etc) tem um grande impacto na matriz energética brasileira principalmente por serem alternativas de geração de energia elétrica que causam menos impactos ambientais.

No Brasil, a matriz energética divide-se em:

- Sistemas Isolados de Energia Elétrica;
- Sistema Interligado Nacional.

Os Sistemas Isolados de Energia Elétrica são instalados em locais onde a interligação com as demais áreas através de linhas de transmissão torna-se inviáveis, assim assegurando o fornecimento de energia para comunidade isoladas do Brasil. Estão localizadas principalmente na região Norte do país.

O Sistema Interligado Nacional (SIN), é reconhecido pela interdependência dos sistemas de geração (usinas localizadas nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte) e transmissão de energia elétrica (MIRANDA, 2012). A interligação entre o funcionamento das usinas melhora o uso dos recursos energéticos, tornando-o mais otimizado, através do aproveitamento dos diversos relevos e de mercado em todas as regiões.

Mesmo com essa grande vantagem, a irradiação solar não é um fator predominante para que um país tenha grande investimento em geração fotovoltaica, diversas regiões do

Brasil, por exemplo, possuem altos índices de irradiação e pouco investimento em geração fotovoltaica, pois são regiões de baixo poder econômico.

Apesar de todo o potencial, o país só vem ganhando o devido respaldo regulatório nos últimos anos. Diante disso, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) vem estudando propostas para redução das barreiras de acesso aos sistemas de distribuição por parte dos pequenos geradores. Esse processo incluiu a realização da Consulta Pública nº 15/2010 e da Audiência Pública nº 042/2011, que proporcionou a ANEEL receber contribuições de diversos agentes, incluindo representantes das distribuidoras, geradoras, universidades, fabricantes, consumidores, comercializadores, empresas de engenharia e demais instituições interessadas no tema. (EPE, 2012)

Além disso, foram formalizadas outras resoluções que trouxeram definições importantes, onde a Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL (2015) ganha destaque por definir a Microgeração Distribuída como “central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidade consumidoras”. Outra resolução que ganhou bastante destaque foi a Resolução Normativa nº 786/2017 da ANEEL (2017), a qual tem por definição a minigeração distribuída como “central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW, além de utilizar cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidade consumidoras”.

A geração distribuída proporciona diversos benefícios relacionados a redução do gasto mensal na fatura de energia, mas outro ponto que merece destaque é a geração própria pois também ajuda na contribuição para redução dos picos de demanda dos sistemas de transmissão do Sistema Interligado Nacional. “Nos meses de verão, principalmente de dezembro e março, a geração é máxima nos estados do extremo Sul e Sudeste do Brasil” (PEREIRA et al. 2017). Nestes mesmos meses são registradas as maiores demandas pelo Operador Nacional do Sistema (NOS) para essas regiões, assim, tornando este método de geração ainda mais interessante. (PEREIRA et al. 2017)

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2021, a micro e mini geração distribuída de energia elétrica teve seu crescimento incentivado por ações regulatórias, como por exemplo a que estabelece a possibilidade de compensação da energia excedente produzida por sistemas de menor porte (*net metering*). Em 2020 esses dois tipos de geração de energia elétrica atingiram 5.269 GWh com uma potência instalada de 4.768 MW, com destaque para a

fonte solar fotovoltaica, com 4.764 GWh e 4.635 MW de geração e potência instalada respectivamente. (EPE, 2021)

2.6 Sistema Fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico é estruturado por blocos, dentre eles estão o bloco gerador, bloco de condicionamento de potência e, de acordo com a aplicação é possível a utilização do bloco de armazenamento. (PINHO e GALDINO, 2014)

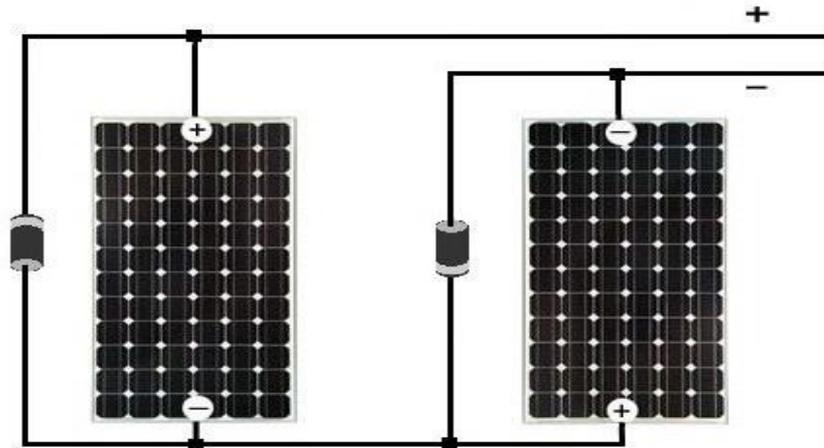
De acordo com a EPE, Empresa de Pesquisa Energética, o bloco gerador é constituído por módulos fotovoltaicos em série e paralelo, buscando um valor de corrente e tensão de acordo com a permitida, sendo que a geração é feita em corrente contínua (CC), abrindo o espaço para a necessidade do bloco de condicionamento de potência, que é constituído pelo inversor, que faz a transformação da corrente contínua em corrente alternada (CA), tendo grande importância nas aplicações convencionais conectada à rede elétrica (*On-grid*). Por fim, caso o sistema for desconectado da rede, um sistema isolado (*Off-grid*), além dos outros blocos citados anteriormente, será incluso mais um bloco, o de armazenamento, que é composto por bancos de baterias e controladores de carga. (TOLMASQUIM, 2016)

2.6.1 Módulos Fotovoltaicos

Segundo o Grupo de Trabalhos de Energia Solar (GTES), módulo fotovoltaico para aplicação de sistemas *on-grid*, possuem um conjunto de células fotovoltaicas conectadas entre si, em série e/ou paralelo, com a finalidade de produzir tensão e corrente suficientes para utilizar naquilo que lhe foi definido. Um módulo fotovoltaico de qualidade tem uma média de vida útil de 25 anos (PINHO e GALDINO, 2014).

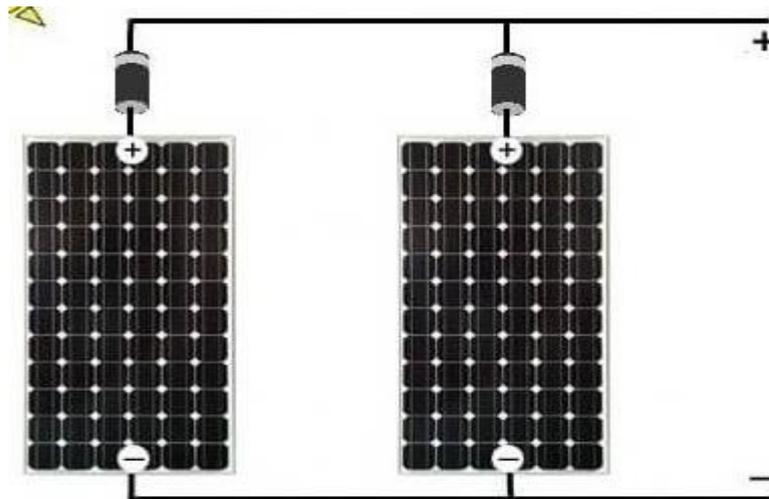
A conexão em paralelo é realizada conectando os terminais positivos juntos e os terminais negativos interligados. Esse tipo de associação gera correntes elétricas mais elevadas em comparação com a tensão e corrente de uma só célula. Já a conexão em série é dada pela conexão do terminal positivo de um módulo a um terminal negativo de um outro módulo, seguindo essa linha para todos os módulos utilizados. Essa associação gera tensões mais elevadas. Nas figuras 9 e 10 estão representados esses tipos de conexões, a associação em série e em paralelo, respectivamente.

Figura 9 - Conexão em série de módulos fotovoltaicos.



Fonte: Mppt Solar (2015).

Figura 10 - Conexão em paralelo de módulos fotovoltaicos.



Fonte: Mppt Solar (2015).

De acordo com Tolmasquim (2016), o principal elemento para acontecer a geração fotovoltaica é a célula fotovoltaica, porém, ela só realizará sua função por completo, de acordo com a escala comercial desse tipo de energia, se tiver o auxílio de outros componentes.

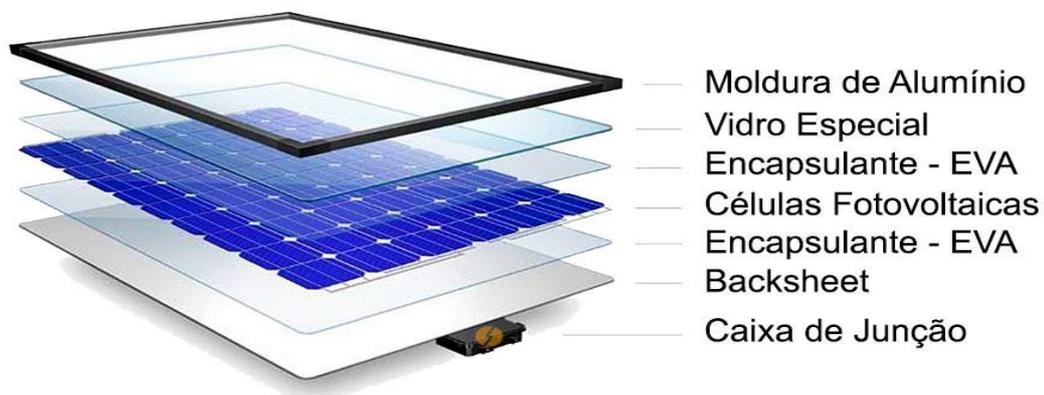
Dentre esses componentes, estão:

- Moldura: parte externa estruturada do módulo, geralmente de alumínio. É através dela que são realizadas as fixações dos módulos;
- Selante: mistura adesiva usada para unir as camadas internas dos módulos com a moldura. É criado para impedir a entrada de gases e umidade, além de proteger o interior de vibrações e choques mecânicos;

- Vidro: camada externa mais rígida que protege as células e condutores do ambiente, ao mesmo tempo em que permite a entrada de luz para ser então ser convertida em eletricidade. É um vidro especial, com baixo teor de ferro, uma camada antirreflexiva e com superfície texturizada, que em conjunto reduzem a reflexão da luz que atinge o vidro;
- Encapsulante: filme que envolve as células, protegendo-as da umidade e dos materiais externos, além de otimizar a condução elétrica. O mais usado é o EVA (Etil vinil Acetato);
- Células Fotovoltaicas: componente eletrônico responsável pela conversão direta da energia eletromagnética em energia elétrica;
- *Backsheet*: parte inferior do módulo que previne a entrada de umidade e protege as células de elementos externos. Além de proporcionar um adicional de isolamento elétrico.

A Figura 11 a seguir é uma demonstração da sequência de materiais que compõem o módulo fotovoltaico.

Figura 11 - Sequência de materiais que compõem o módulo fotovoltaico.



Fonte: Portal Solar.

A maioria dos módulos fotovoltaicos utilizados comercialmente são constituídos por células de silício cristalino, de acordo com EPE, essa maioria representa cerca de 90% da produção total de células fotovoltaicas em 2014. As células de silício podem ser monocristalinas ou policristalinas. (TOLMASQUIM, 2016)

2.6.2 Inversores

O inversor é um dispositivo eletrônico que tem a tarefa de fornecer a energia elétrica em CA a partir de uma fonte de energia elétrica em CC, sendo essa originária dos módulos fotovoltaicos. Em sistemas *on-grid*, conectados à rede elétrica, a tensão CA convertida pelo inversor deve estar sincronizada com a tensão da rede, além da amplitude, frequência e conteúdo harmônico, que devem estar moldados às cargas a serem alimentadas. Com o avanço da tecnologia de inversores, já é possível chegar a eficiências de conversão de aproximadamente 99% em alguns inversores para conexão à rede elétrica. (PINHO e GALDINO, 2014)

Segundo Tolmasquim (2016), os inversores são classificados basicamente em três tipos:

- Centrais: são de grande porte com potência na ordem de centenas de kW até MW, sendo conectados por vários arranjos fotovoltaicos. Empregados geralmente em usinas fotovoltaicas;
- *String* (monofásicos ou trifásicos): são mais empregados na geração distribuída em instalações residenciais e comerciais. Sua topologia se baseia na junção de um grupo de módulos fotovoltaicos em cada inversor de pequeno porte, denominadas *strings*;
- Microinversores: são inversores individuais que são fixados a cada módulo fotovoltaico da instalação. Geralmente são utilizados na geração distribuída em instalações residenciais e comerciais, possuindo algumas vantagens e desvantagens comparados aos inversores *string*. Dentre as vantagens estão: a maximização da produção de energia elétrica de cada módulo, diminuição da quantidade de cabos necessários, isola eventuais defeitos por serem individuais e possuem um maior tempo de garantia;

Na figura 12 podemos observar um modelo de inversor monofásico da WEG.

Figura 12 - Inversor monofásico SIW300H da WEG.



Fonte: WEG.

2.6.3 Carregadores

O processo de recarga das baterias dos veículos elétricos é proporcionado pelos carregadores, os quais retificam a Corrente Alternada (CA) da rede de distribuição em Corrente Contínua (CC). (YONG et al. 2015)

Esses modelos de carregadores são classificados em dois tipos: *on-board* e *off-board*, podendo ser unidirecional ou bidirecional, relacionado ao fluxo de energia. De acordo com Sausen (2017), a grande maioria dos modelos de veículos elétricos já possui um carregador embarcado, ou *on-board*, que opera em níveis baixos de corrente, geralmente associados à recarga lenta. Dentre dessa categoria *on-board* existe outras duas subdivisões, que são os carregadores condutivos e os indutivos, onde os primeiros são mais comuns e a energia é transmitida através do contato elétrico entre o plug da tomada e o conector do veículo. Já o segundo subgrupo, os carregadores indutivos, são menos populares e realizam magneticamente a transferência de energia, sendo mais caros e complexos. Porém, em contrapartida, possuem uma recarga mais fácil e ágil pois não se faz necessária a conexão manual do cabo com a rede elétrica.

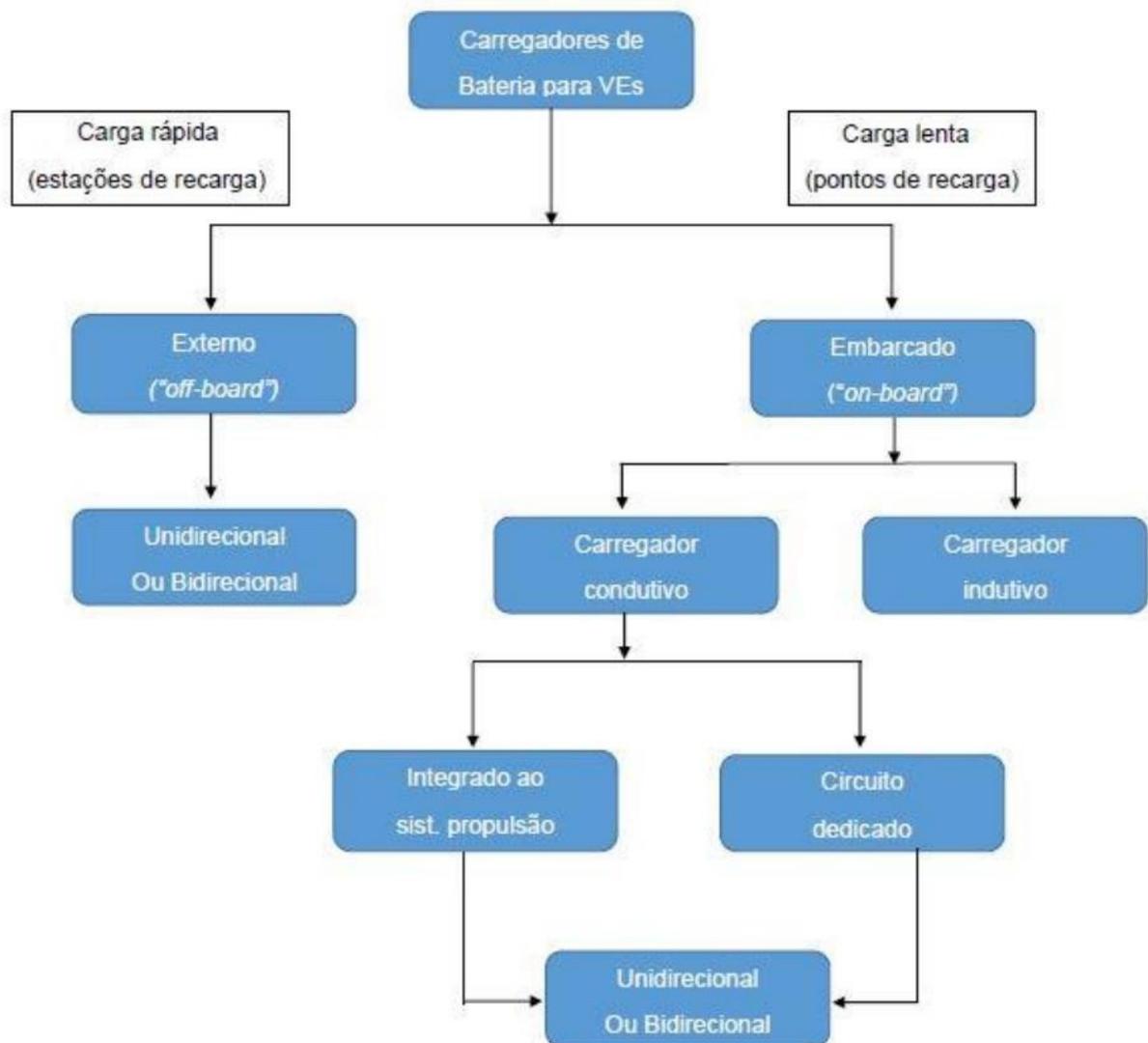
Segundo (SAUSEN, 2017), os sistemas embarcados operam em potências reduzidas pois possuem circuitos dedicados ao controle de carga ou, caso não disponham, eles são associados aos conversores do sistema de propulsão do veículo. Além disso, eles foram desenvolvidos para serem mais compactos, já que o sistema foi projetado para ser instalado no

próprio veículo, assim possuem a vantagem de sempre apresentarem menor peso e volume possíveis, proporcionando uma melhor performance do veículo.

Os carregadores do tipo *off-board*, são localizados na parte de fora do veículo, geralmente são encontrados em estações de carregamento, em estações que fazem a recarga rápida, esse tipo de carregador é operado a níveis de correntes altíssimas e concomitantemente com potências mais elevadas.

Na figura 13 se encontra um fluxograma que contém a classificação e características dos carregadores dos VEs.

Figura 13 - Fluxograma de Classificação dos carregadores dos VEs.



Fonte: SAUSEN (2017).

2.7 Principais Impactos Técnicos ao Sistema Elétrico de Potência

A adesão e aumento do fluxo dos veículos elétricos nas estradas está diretamente ligado ao aumento de consumo da rede elétrica, já que na maioria dos casos esse tipo de veículo necessita da rede elétrica para realizar o carregamento das suas baterias, assim se tornando uma nova carga para rede. Diante disso, caso não haja um planejamento correto, é possível a ocorrência de problemas, por isso a aplicação de métodos para diminuir os efeitos negativos ao sistema elétrico são de extrema importância.

No Brasil, considerando a conveniência de carregamento em residências principalmente para aproveitar os horários em que os veículos não estão sendo utilizados, a possibilidade da recarga das baterias acontecer majoritariamente em ambiente residencial e também nos locais de comércio e trabalho é elevada. A proporção com que os VEs são inseridos no mercado influencia na rapidez com que as distribuidoras têm que atuar na mitigação dos impactos técnicos produzidos. Mesmo que o processo de inserção dos VEs no Brasil seja considerado lento, a preocupação com os impactos que os mesmos podem causar deve continuar em destaque pois está diretamente ligado a dois pontos: aos problemas técnicos da rede de energia elétrica e aos investimentos para reforço de infraestrutura, que afetam diretamente o consumidor.

De acordo com Farmer et al. 2010, a introdução dos VEs na rede de distribuição pode causar os seguintes impactos:

- Aumento na temperatura do transformador decorrente do acréscimo de carga;
- Desgaste das buchas do transformador;
- Aumento dos harmônicos provocado pela eletrônica de potência dos VEs.

Os problemas na rede elétrica relacionados ao VEs podem acontecer em razão da recarga descontrolada das baterias em horários de ponta, sendo uma das principais ameaças para o colapso da rede, dessa maneira deixando em alerta crítico as concessionárias de energia. Porém, com o auxílio das recargas inteligentes, esses impactos podem ser reduzidos, realizando a recarga em horários fora de ponta. (KURANI, 2010)

A implantação de uma grande quantidade de veículos elétricos conectados à rede de distribuição pode gerar tanto a queda de magnitude da tensão de alimentação quanto o aumento do desequilíbrio da voltagem do sistema.

De acordo com constatações de NETA (2014), uma quantidade de 100 VEs pode gerar uma redução de 0,95 pu da tensão no barramento do alimentador no horário das 21 horas e uma diminuição ainda mais de 0,94 pu no horário das 12 horas, assim comprovando o por que

das flutuações de tensão da rede com a conexão de veículos elétricos sem adequação das concessionárias para este novo cenário. A grandeza pu significa “por unidade”, que consiste na definição de valores de base para as grandezas (tensão, corrente, potência, etc.), seguida da substituição dos valores das variáveis e constantes (expressas no Sistema Internacional de Unidades) pelas suas relações com os valores de base pré-definidos.

Em casos de média tensão a assimetria entre as fases em decorrência da variedade e quantidade de cargas monofásicas resultará em danos nos equipamentos elétricos. Diante dessa problemática faz-se necessária a realização do gerenciamento do horário de carga dos VEs tanto para se precaver contra as sobrecargas quanto para um investimento das concessionárias de forma a adequar a rede de distribuição de energia com o intuito de melhorar o atendimento da crescente carga.

2.7.1 Aumento dos Harmônicos na Rede

Os veículos elétricos tanto *plug-in* quanto os somente alimentados via bateria, são formados por conversores de potência a semicondutores que possuem características não lineares de corrente em relação a tensão de alimentação. Esses equipamentos auxiliam na intensificação das distorções nas formas de onda de tensão dos sistemas de corrente alternada, que em condições normais seriam em sua totalidade senoidais. Essas alterações no comportamento da tensão criam os harmônicos, uma das formas de distorção para tensões e correntes elétricas, caracterizadas por sinais senoidais com frequências múltiplas e inteira da frequência fundamental. (GARCIA, 2014)

Os harmônicos resultantes afetarão os transformadores de distribuição de maneira significativa, pois neles os harmônicos tem a função de aumentar as perdas tanto no cobre quanto naqueles envolvendo fluxos de dispersão, ocasionando assim sobreaquecimento por efeito Joule. A elevação das pernas no cobre é ocasionada pelo efeito peculiar, que resulta numa redução da área efetivamente condutora à medida que eleva a frequência da corrente. Em contrapartida o efeito das reatâncias de dispersão acaba prejudicando a regulação dos transformadores devido à maior queda de tensão. O resultado destes problemas é a redução da vida útil do transformador. (NETA, 2014)

2.7.2 Diminuição dos Impactos na Rede Elétrica com a Utilização da Geração Distribuída

Uma das maneiras de contornar os impactos na rede elétrica em decorrência da utilização dos veículos elétricos é a utilização da geração distribuída (GD), atuando como reforço da rede elétrica, já que a GD injeta potência no sistema, proporcionando a diminuição da necessidade de energia derivada da rede elétrica.

Um tipo de geração distribuída bastante utilizada no Brasil é a geração fotovoltaica, que ganham todo esse destaque por causa dos seus fatores operacionais e construtivos. Na figura 14 encontra-se um carro elétrico de pequeno porte sendo carregado por meio da energia fotovoltaica, com painéis fotovoltaicos.

Figura 14 - Carro elétrico sendo carregado pela energia fotovoltaica.



Fonte: Revista ÉPOCA, 2017.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), a incorporação dos VEs na sociedade gera novas demandas por energia elétrica, as quais podem ser complementadas pela geração de energia solar fotovoltaica em área equivalente à ocupada pelo veículo estacionado.

Dessa maneira, proporciona a versatilidade do veículo em poder ser carregado tanto na residência do proprietário, quanto no shopping center.

Seguindo essa linha de raciocínio, se o carregamento do VE puder ser realizado no ambiente de trabalho do seu proprietário isso permitirá que o motorista volte para sua residência e possa utilizar a carga remanescente no horário de pico da rede elétrica, conectando seu veículo a uma tomada elétrica inteligente da residência, reduzindo ainda mais os impactos gerados na rede (PEREIRA et al. 2017).

2.8 Tipos de veículos elétricos em destaque no mercado

No Brasil, desde 2019 há a comercialização de três modelos de carros elétricos, que são: Chevrolet Bolt, Nissan Leaf e o Renault Zoe. De acordo com a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE), o mercado de automóveis e comerciais leves eletrificados no Brasil apresentou em 2021 o melhor resultado da história relacionada a ABVE, com o recorde de 34.990 unidades vendidas. Os números superam todas as previsões da associação, e representam um aumento de 77% sobre os 19.745 emplacamentos de 2020 e de 195% sobre os 11.858 de 2019.

Os números tem como referência o total de automóveis e comerciais leves híbridos (HEV), híbridos plug-in (PHEV) e elétricos puros (BEV) emplacados de janeiro a dezembro de 2021. Só em dezembro, foram cerca de 4.545 eletrificados vendidos – o melhor mês da história da eletromobilidade no Brasil. Esse número representa 29% sobre o mês de novembro do mesmo ano (3.505 unidades vendidas) e de 133% sobre dezembro de 2020 (1.949 unidades vendidas). O presidente da ABVE, Adalberto Maluf, relata que o mercado continua sendo liderado pelos veículos elétricos híbridos flex a etanol (HEV), fabricados no Brasil pela Toyota, com 18.948 unidades, ou 54% do total.

Um grande destaque desse tipo de veículo no Brasil é o Corolla Cross Híbrido Flex, lançado em março de 2021, que em curtos nove meses alcança a liderança isolada das vendas de eletrificados (11.027 unidades vendidas). Além disso, outro quesito que ganhou destaque no ano de 2021 foi o crescimento expressivo dos veículos 100% elétricos (BEV), que fecharam o ano com 2.851 unidades vendidas, chegando a marca de mais de três vezes o que foi vendido em 2020 deste mesmo tipo de veículo, que foi de 801 unidades. O automóvel 100% elétrico mais vendido no ano de 2021 foi o Nissan Leaf Tekna, figura 13, com 439 unidades vendidas, assim desbancando a hegemonia dos veículos de alto luxo nas vendas de VEs.

Figura 15 - Nissan Leaf Tekna.



Fonte: Nissan (2022).

Ainda sobre os dados obtidos pela ABVE, o crescimento dos comerciais leves 100% vem sendo cada vez mais gradativo. Dentre os dez modelos de BEVs mais vendidos no ano, dois são furgões elétricos de transporte urbano de carga: BYD ET3 e Renault Kangoo. De acordo com o presidente da associação, os números confirmam a tendência de fortalecimento do segmento de prestação de serviços de transporte sustentável. Empresas tradicionais também aderiram a essa vertente, empresas como a Peugeot (E Expert Cargo) e Peugeot/Citroën (E Jumpy Cargo), além de novatas, como as chinesas Jiayuan e Lvtong, com modelos intermediários entre veículos levíssimos e leves.

A seguir foi elaborada uma lista., de acordo com os dados da ABVE, sobre o quantitativo e destaque de vendas dos eletrificados no Brasil no ano de 2021:

1. Toyota Corolla Cross (Híbrido): 11.027;
2. Toyota Corolla Altis (Híbrido): 7.921;
3. Volvo XC60 (Híbrido Plug-in): 3.366;
4. Volvo XC40 (Híbrido Plug-in): 3.067;
5. Volvo XC90 (Híbrido Plug-in): 982;
6. BMW X3 XDrive 30E (Híbrido Plug-in): 836;
7. BMW X5 XDrive 45E (Híbrido Plug-in): 812;
8. Toyota RAV4H (Híbrido): 810;
9. BMW 330E (Híbrido Plug-in): 579;
10. Porsche Cayenne (Híbrido Plug-in): 554.

Além dessa, também foram listados os dez BEVs mais vendidos no Brasil em 2021, dentre os meses de janeiro e dezembro:

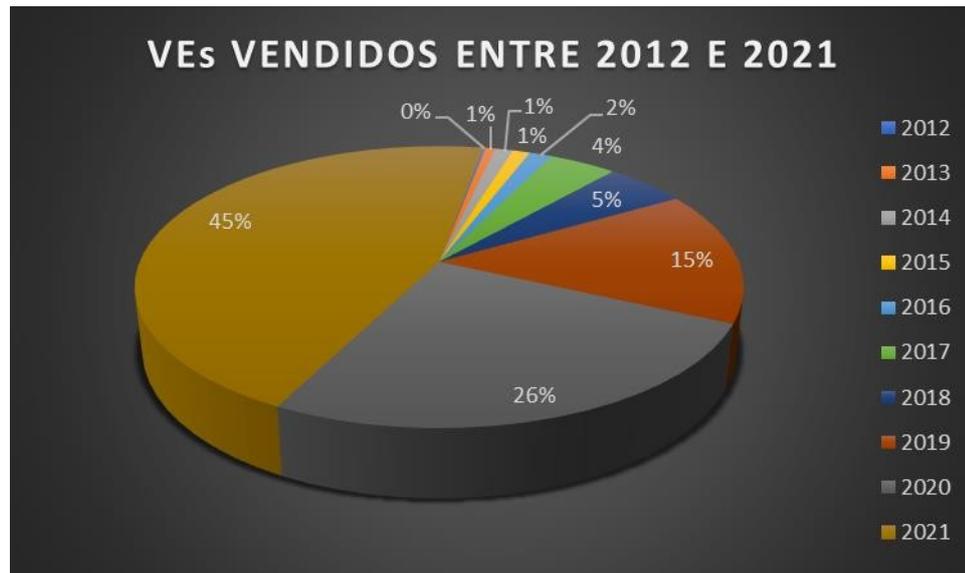
1. Nissan Leaf Teknan: 439;
2. Porsche Taycan: 379;
3. Volvo XC40 Recharge: 375;
4. BMW Mini Cooper Electric: 313;
5. Audi E Tron: 252;
6. BMW i3 BEV 120AH: 159;
7. Fiat 500 E Icon: 146;
8. GM Bolt: 132;
9. BYD ET3: 124;
10. Renault Kangoo: 120.

Na tabela 1 e no gráfico 1, temos a evolução das vendas/emplacamentos dos veículos elétricos no Brasil entre os anos de 2012 a 2021, esses dados são de acordo com a ABVE e o Registro Nacional de Veículos Automotores (RENAVAM).

Tabela 1 - Vendas/emplacamentos de veículos eletrificados no Brasil – 2012 a 2021.

VENDAS/EMPLACAMENTOS DE VEÍCULOS ELETRIFICADOS NO BRASIL - 2012 A 2021													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Ano
2012	9	16	7	3	13	23	5	3	2	2	18	16	117
2013	45	22	53	50	12	29	65	45	23	39	52	56	491
2014	93	61	65	53	94	52	61	79	71	53	87	86	855
2015	72	56	61	73	72	74	74	100	82	55	65	62	846
2016	58	64	60	137	41	91	48	59	79	93	159	202	1091
2017	178	157	227	176	208	238	268	627	384	243	240	350	3296
2018	272	254	367	367	302	382	262	262	286	405	374	437	3970
2019	370	287	336	290	357	716	960	867	1264	1989	2013	2409	11858
2020	1568	2053	1570	442	601	1334	1668	1943	2113	2273	2231	1949	19745
2021	1321	1389	1872	2708	3102	3507	3625	3873	2756	2787	3505	4545	34990
TOTAL													77259

Fonte: ABVE/RENAVAM (2022).

Gráfico 1 - Vendas/emplacamentos de veículos eletrificados no Brasil – 2012 a 2021.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

2.9 Programas de carros compartilhados e incentivos a VEs

No Brasil já estão sendo implementados diversos programas de incentivo ao uso dos veículos elétricos, programas esses de compartilhamento de carros que possibilitam rapidez, conforto, praticidade e como sempre a ajuda ao meio ambiente. Nos tópicos a seguir, são exibidos alguns programas e incentivos realizados no Brasil e no mundo.

2.9.1 Programa VAMO

O programa VAMO, foi lançado em setembro de 2016 pela Prefeitura de Fortaleza, se tornando o pioneiro em programas de carros 100% elétricos da América Latina. De acordo com a própria Prefeitura da cidade, o principal objetivo da criação desse programa é o incentivo às energias limpas e renováveis, além de ofertar à população da capital do Ceará mais uma opção de mobilidade urbana sustentável.

O sistema é composto por 15 modelos do compacto ZHIDOU EEC L7e-80, 5 unidades do SUV BYD e6 e mais 10 carros do modelo ZOE, da marca Renault, podendo ser retirados ou entregues em 13 estações com recarga especializada que estão espalhadas pela cidade, como pode ser observado na figura 14, ou em outros 4 pontos sem conexão a uma estação de carregamento. Até o início de 2020, o sistema já possibilitou a realização de 6.739 deslocamentos sem a emissão de poluentes em meio urbano, ocasionando uma economia de

mais de 9 toneladas de dióxido de carbono (CO₂). Nas vantagens desse programa, merece destaque a parte em que o usuário pode, após realizar o seu cadastro, sincronizar seus dados de pagamento com o Bilhete Único, passe recarregável do sistema de transporte público de Fortaleza, assim conseguindo descontos nas tarifas do VAMO. Além disso, os usuários ficam isentos das taxas para utilizar as cargas de zona azul pela cidade e em estacionamentos de alguns shoppings, podendo também utilizar a função “carona”, em que os custos podem ser divididos entre mais de um passageiro.

Figura 16 - Uma das estações do programa VAMO, em Fortaleza.



Fonte: FORTALEZA, 2019.

2.9.2 Programa VEM DF

O VEM DF é um projeto piloto pioneiro criado em outubro de 2019, pelo Governo do Distrito Federal (GDF), ele engloba veículos elétricos compartilhados para frotas públicas. A iniciativa foi da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) em parceria com o Parque Tecnológico de Itaipu (PTI), tendo como objetivo principal o estímulo da difusão do conhecimento e inclusão dos veículos elétricos no país.

Esse programa é composto por 16 carros modelo Twizy, da fabricante Renault, como poder ser visto na figura 17. Esse modelo de carro elétrico tem a capacidade para dois passageiros, possui autonomia de até 100 Km e velocidade máxima de 80 Km/h. Esse projeto proporcionou ainda a instalação de 40 eletropostos fabricados pela empresa WEG distribuídos por toda capital. Esses pontos de recarga podem ser utilizados tanto por esses carros do programa VEM DF, quanto por quaisquer outras montadoras, sem cobrança de valor de recarga. O gerenciamento do VEM DF fica por conta de um software – o MOVE, desenvolvido pelo PTI – que monitora a velocidade, carga da bateria, as rotas percorridas e a quantidade de poluentes que foram evitados de serem jogados na atmosfera (BRASÍLIA, 2019b).

Figura 17 - Frota de carros do modelo Twizy.



Fonte: RENAULT, 2019.

2.9.3 Programa WeShare

Em 2019, a marca Volkswagen lançou em Berlim o programa WeShare, um novo serviço de compartilhamento de carros elétricos, contando com 2000 veículos totalmente elétricos do modelo Golf (VOLKSWAGEN, 2019)

As diretrizes do programa são simples, os usuários podem encontrar os carros em diversos locais, sem lugar específico para estacionar desde que o veículo está no perímetro de atuação especificado. Em princípio, o serviço está disponível em uma área de 150 km² no centro da capital alemã, mas já trabalham com um projeto de expansão para comportar mais 500 veículos da versão elétrica do UP!. Os planos futuros é a distribuição desse programa em outras localidades, como a Alemanha e América do Norte (STARTSE, 2019).

2.9.4 Projeto Noronha Sustentável

De acordo com a Mobility Now, graças ao grande sucesso do projeto implementado em Fernando de Noronha relacionado a retirar todos os veículos a combustão e deixar apenas os veículos elétricos, a empresa Neoenergia anunciou em 2022 um upgrade nesse projeto inicial, criando um novo programa de mobilidade elétrica no arquipélago, chamado de Trilha Verde. Esse novo projeto contará com a instalação de 12 eletropostos, 18 veículos elétricos e duas usinas solares para abastecerem o sistema.

O arquipélago de Fernando de Noronha foi o primeiro lugar brasileiro a banir os carros a combustão quando, em 2020, anunciou que a partir de agosto de 2023, não será aceito a entrada de nenhum tipo de veículo a combustão.

Os 12 eletropostos propostos serão instalados em pontos estratégicos da ilha e disponibilizados para todos os carros elétricos do arquipélago. Serão oito pontos de recarga com potência de 22kW, que ajudam a realizar uma recarga mais rápida, e outros dois com potência de 7,4W. As duas últimas unidades terão suporte a V2G, que possibilita um fluxo bidirecional, ou seja, o veículo pode utilizar a estação para recarga ou para devolver à rede a energia não utilizada, o que é conveniente em momentos de apagão ou de demandas de em horário de pico por exemplo.

O abastecimento desses postos se dará 100% por meio de energia limpa, fornecida pela geração fotovoltaica das duas novas usinas solares. A potência instalada total das plantas será de 100kWp, o que é uma potência 2 vezes maior do que a necessária para o projeto inicial, porém todo o excedente será injetado na rede de distribuição ampliando o uso de uma fonte renovável pelos consumidores de Noronha.

Figura 18 - VEs relacionados ao projeto Trilha Verde da Neoenergia.



Fonte: Neoenergia.

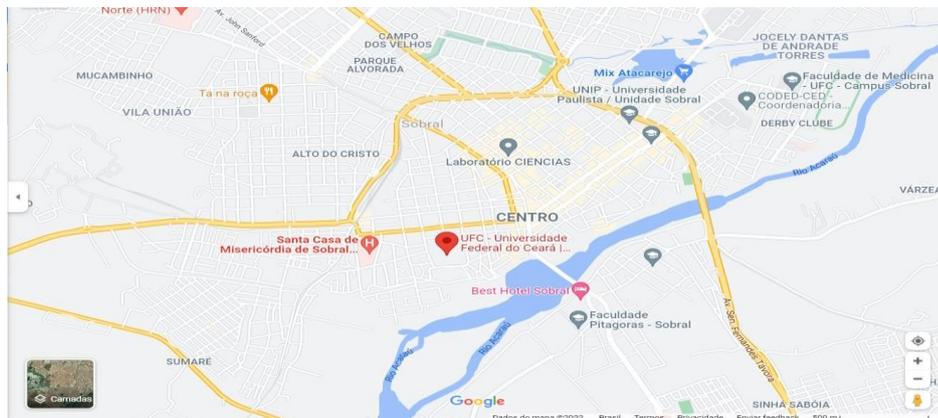
3. METODOLOGIA

A metodologia proposta para a realização do estudo se faz por meio de um método hipotético-dedutivo, com abordagem tanto quantitativa quanto qualitativa, ligadas e embasadas a procedimentos bibliográficos, documentais e por meio de um estudo de cenários de implementação de estacionamento a base de energia solar com vagas para ônibus elétrico e carros elétricos. Além de dimensionar o estacionamento tendo como base as demandas da instituição e do dia a dia da população relacionadas aos veículos elétricos.

3.1 Localização

A análise em questão será realizada na Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus Sobral, localizada no centro de Sobral, no norte do Ceará. As Figuras 1 e 2 ilustram a localização da UFC no google maps e mais próximo no google *earth*, respectivamente.

Figura 19 - Localização da UFC – Google Maps.



Fonte: Google Maps (2022)

Figura 20 - Área da UFC Campus Sobral.



Fonte: Google Earth (2022).

A estrutura atual na UFC localizada no centro de Sobral, apresenta o prédio principal, restaurante universitário (RU), prédio da odontologia e o prédio mais recente que ainda está em finalização de construção. As Figuras 3, 4 e 5 mostram a parte da entrada do campus, o qual será o principal foco dessa análise.

Figura 21 - Área da entrada da UFC do lado esquerdo.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 22 - Área da entrada da UFC do lado direito.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 23 - Espaço do lado direito próximo ao bloco das Engenharias da UFC.



Fonte: Próprio Autor (2022).

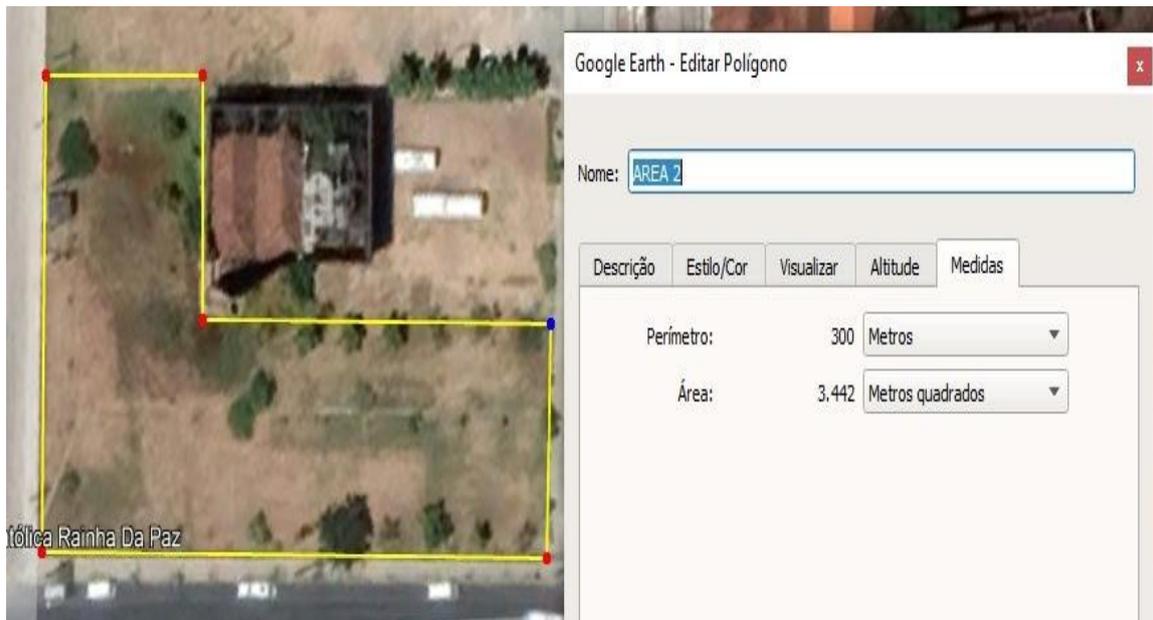
Com o auxílio do Google Earth foi possível conseguir as medidas dessas 3 áreas individuais da UFC, a soma desses espaços é no total de 7.875 metros quadrados, cada terreno está ilustrado nas figuras 6,7 e 8 a seguir.

Figura 24 - Área 1 do espaço da UFC em metros quadrados.



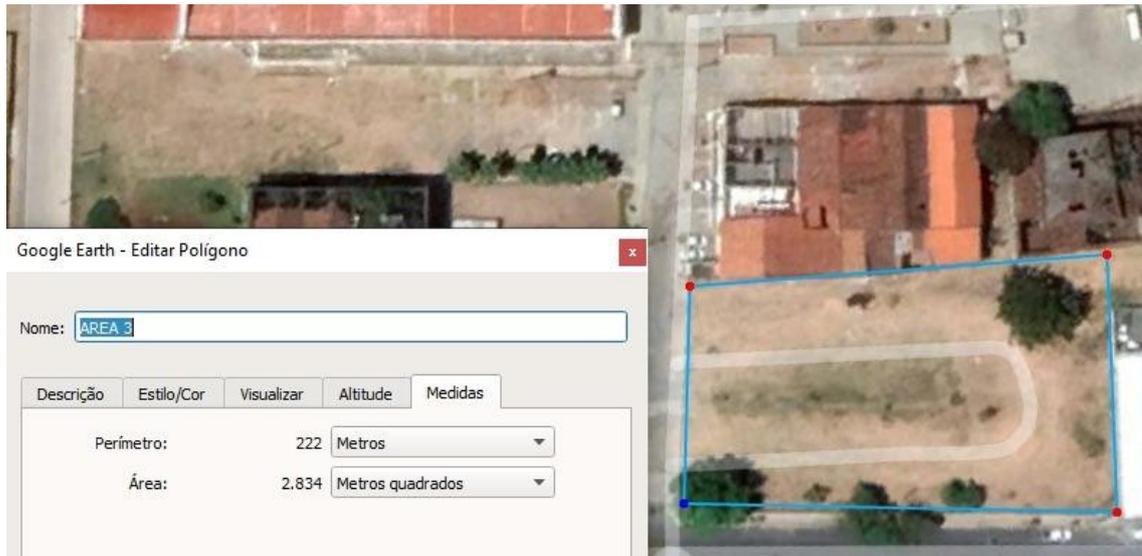
Fonte: Google Earth (2022).

Figura 25 - Área 2 do espaço da UFC em metros quadrados.



Fonte: Google Earth (2022).

Figura 26 - Área 3 do espaço da UFC em metros quadrados.



Fonte: Google Earth (2022).

Diante do espaço disponível no momento, para os cenários de estudo só será considerado o espaço da área 3, pois é o local onde o ônibus universitário (intracampus) atual já é estacionado e a dimensão dessa área de 2.834 m² já é mais que o suficiente para o projeto.

3.2 Considerações realizadas

Para realização do estudo foram feitas algumas considerações para obtenção dos resultados.

3.2.1 Veículos Elétricos Utilizados

Serão levados em considerações apenas os veículos elétricos puros, chamados de Veículos Elétricos à Baterias – VEB. A energia primária desse tipo de veículo é originária do seu banco de baterias e é direcionada à alimentação do motor do automóvel. Foi demonstrado por Gray e Morsi (2015), por meio de estudos relacionados a VEB, são obtidos resultados mais correlacionados a demanda utilizada para o carregamento das baterias, exatamente pelo fato de depender 100% da rede elétrica para o seu carregamento.

3.2.2 Fluxo dos Veículos Elétricos relacionados a Universidade

O intracampus, é o ônibus universitário que realiza o embarque e desembarque dos alunos dentre os *campus* da UFC Sobral, ele realiza um trajeto específico o qual sua

quilometragem chega a cerca de 7,38 km, isso dentro do percurso entre o campus Mucambinho e a Faculdade de Medicina - FAMED, inclusas também as paradas realizadas nesse percurso para embarque e desembarque de alunos.

O ônibus universitário funciona dentre os horários de 7 horas da manhã até as 19:00 horas da noite, onde sua primeira rota é feita as 7 horas e dura cerca de 40 minutos até voltar para o seu ponto inicial (campus Mucambinho), logo após são aguardados 20 minutos para desembarque de alunos e a espera para a nova remessa. Assim, seu próximo horário de rota geralmente fica em torno de 8 horas da manhã, dessa maneira segue sendo todas as outras rotas, totalizando um total de 12 rotas feitas por dia dentro do horário de funcionamento do ônibus.

Utilizando uma média arredondada de 8km por trajeto do ônibus, no fim do dia o consumo total em quilômetros é: $12 \times 8 = 96\text{km}/\text{dia}$. Com esse valor podemos já mensurar o consumo semanal e mensal, levando em consideração que o intracampus não funciona aos fins de semana, totalizando o uso em 5 dias na semana e 4 semanas por mês. Ficando conforme expresso na tabela 2:

Tabela 2 – Média de consumo semanal e mensal em km do ônibus elétrico.

Consumo Semanal (km)	Consumo Mensal (km)
480	1920

Fonte: Autoria Própria (2022).

O modelo escolhido de veículo elétrico para suprir as necessidades do intra campus é o Marcopolo Viaggio 1050, com chassi D9A 20.410. A decisão de escolha desse modelo está ligada ao fato dele já ser utilizado no Rio Grande do Sul desde 9 de novembro de 2020, segundo dados da própria Marcopolo, e tendo ótimos *feedbacks* relacionados ao transporte público. Nas figuras 27, 28 e 29 se encontram ângulos desse veículo elétrico tanto externo quanto interno.

Figura 27 - Parte externa do ônibus elétrico, vista frontal.



Fonte: Marcopolo (2020).

Figura 28 - Parte externa do ônibus elétrico, vista traseira.



Fonte: Marcopolo (2020).

Figura 29 - Parte interna do ônibus elétrico.



Fonte: Marcopolo (2020).

Esse veículo conta com seis *packs* de bateria, que garantem uma autonomia de 300 quilômetros, transmissão automática, que proporciona mais conforto e segurança para o motorista e passageiros, além de ser equipado com sistema de ar-condicionado, total acessibilidade e tomadas USB em todas as poltronas. Além dessa gama de vantagens ele ainda possui capacidade para 44 passageiros em poltronas executivas, além do motorista, assim suprimindo a demanda de alunos e proporcionando conforto e segurança.

Além do fluxo do ônibus universitário, nesse estudo será levado em consideração outro tipo de veículo elétrico, o carro Nissan Leaf, puramente elétrico e que servirá como exemplo para o uso cotidiano de cidadãos já que ele se encaixa dentro um dos veículos elétricos mais vendidos atualmente e com uma ótima autonomia.

Diante disso, se faz necessário o cálculo da distância média percorrida pelo veículo, pois é a partir dela que será determinada a demanda energética necessária para a recarga desses veículos. Pelo escasso conteúdo relacionado a mobilidade urbana em todas as regiões do país, se faz necessária a utilização de métodos para estimar os valores aproximados dessa distância.

A Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano (NTU), órgão incumbido de coletar os dados de pesquisas referentes a mobilidade rodoviária da população urbana do

Brasil, fez um estudo onde mostra que a distância média diária percorrida pelos brasileiros é de 42,6 km (NTU, 2017). A Figura 30 logo a seguir demonstra as parcelas diárias percorridas e a Tabela 3 mostra o valor do total percorrido.

Figura 30 - Distância média diárias parciais percorrida pela população urbana.

1. TRABALHAR	
Distância	Média
Distância do trajeto de casa até o trabalho	13,3 km
Tempo	Média
Tempo que gasta no trajeto para a atividade trabalho	37,7 min
2. ESTUDAR	
Distância	Média
Distância do trajeto de casa até a escola	9,5 km
Tempo	Média
Tempo que gasta no trajeto para a atividade estudar	33,4 min
3. TRATAMENTO DE SAÚDE	
Distância	Média
Distância do trajeto de casa até o tratamento de saúde	11,4 km
Tempo	Média
Tempo que gasta no trajeto para o tratamento de saúde	38,7 min
4. OUTROS MOTIVOS	
Distância	Média
Distância do trajeto	8,4 km
Tempo	Média
Tempo que gasta	31,1 min

Fonte: NTU (2017).

Tabela 3 - Resumo das distâncias médias parciais percorridas e a distância média total percorrida.

Distância Percorrida	Média (km)
Até o trabalho	13,3
Até a escola	9,5
Até o tratamento de saúde	11,4
Outros motivos	8,4
Total	42,6

Fonte: NTU (2017).

Diante dos dados apresentados, para realização dos cálculos e simulações desse

projeto, é considerado que a distância percorrida por um veículo elétrico é de 43 km, utilizando o arredondamento.

3.3 Demanda Energética do Veículo Elétrico

O cálculo da parcela da demanda energética requerida por cada veículo elétrico ao sistema elétrico da edificação será definido pelo método utilizado por Sausen (2017), que destaca a multiplicação da distância percorrida pelo consumo energético do veículo baseado em um perfil de condução estimado. Além disso, outros aspectos técnicos são levados em consideração, como por exemplo a potência e eficiência do carregador embarcado ao próprio veículo. A equação empregada é a seguinte:

$$D_{VE} = DP \cdot CE \cdot EC \quad (1)$$

Onde:

D_{VE} = Demanda do VE (kWh);

DP = Distância Percorrida (km);

CE = Consumo Energético do VE (kWh/km);

EC = Eficiência do Carregador (%).

De acordo com B Bittencourt (2014), para se obter a média de tempo necessário que cada veículo elétrico leva para carregar, utilizasse a seguinte equação:

$$T_c = \frac{D_{VE}}{P_c} \quad (2)$$

Onde:

T_c = Tempo para carregar (horas);

D_{VE} = Demanda do veículo elétrico (kWh);

P_c = Potência do carregador (kW).

Levando em consideração a segurança e a rapidez do carregamento, o tipo de carregador escolhido para alimentar os veículos elétricos é o carregador comercial ou também chamado de carregador parking, que é bem similar ao carregador residencial e geralmente são disponibilizados em totens. Eles são mais vantajosos nesses dois conceitos mencionados anteriormente, principalmente se comparados aos carregadores emergenciais que acompanham a maioria desses tipos de veículo no momento da compra. Eles além de possuírem mais de uma saída para o carregamento, também são inteligentes, pois permitem monitoramento e controle e possuem alta confiabilidade e robustez.

O modelo escolhido foi o carregador VE Smart Wallbox NeoCharge NC3000S com potência até 7,4 kW, cabo tipo 2 incluso, tensão de operação de 220 V, corrente máxima de 32 A e uma tomada para carregar o VE. Na Figura 31 a seguir está a representação desse carregador.

Figura 31 - Carregador VE Smart Wallbox NeoCharge.



Fonte: NeoCharge, 2021.

Considerando que além do ônibus universitário serão carregados outros veículos elétricos diferentes durante o intervalo de tempo de funcionamento da rota do ônibus, para descobrir quantos VE cada carregador contempla nesse período de tempo, usa-se a seguinte equação:

$$n^{\circ}VE = \frac{T_f}{T_c} \quad (3)$$

Onde:

$n^{\circ}VE$ = Número de VE carregados por carregador;

T_f = Tempo de funcionamento (horas);

T_c = Tempo para carregar (horas).

Será considerado (T_f) igual o período de funcionamento da rota do ônibus, que é igual

a 12 horas.

A demanda total diária equivale a multiplicação das equações anteriores (1) e (3) e o número de carregadores utilizados em média, como é demonstrado na equação a seguir:

$$D_{td} = D_{VE} \cdot n^{\circ}VE \cdot n^{\circ}Carregadores \quad (4)$$

Onde:

D_{td} = Demanda total diária (kWh);

D_{ve} = Demanda do VE (kWh);

$n^{\circ}VE$ = Número de VE carregados por carregador;

O valor considerado para o n° de carregadores será equivalente ao total de vagas no estacionamento que serão 5 vagas. Para demanda mensal será considerado que cada mês possui 30 dias. O próximo passo é calcular a potência de geração do sistema de acordo com a equação 5:

$$Pot_{kWp} = \frac{CM}{FD \cdot RF \cdot 30} \quad (5)$$

Onde:

CM – Consumo médio mensal;

RF – Irradiância solar;

FD – Rendimento com perdas.

3.3.1 Consumo Energético do VE

Segundo Bittencourt (2014), em relação ao consumo energético de veículos elétricos, os valores são moderadamente variáveis, podendo chegar a variação entre 0,20 kWh/km (5,0 km/kWh) e 0,0926 kWh/km (10,8 km/kWh), dependendo do tipo de tecnologia empregada no veículo.

Para os veículos considerados puramente elétricos, a *International Energy Agency* (IEA, 2011), estipula valores típicos de autonomia de 125 a 150 km com 30 kWh de energia na carga da bateria, o que se gera valores de 0,20 kWh/km (5,0 km/kWh) a 0,15 kWh/km (6,7 km/kWh). Dessa maneira, serão acolhidas essas considerações para simulações referentes a demanda desse projeto.

A seguir na Tabela 4 estão listadas as especificações do veículo puramente elétrico Nissan Leaf:

Tabela 4 - Especificações técnicas do veículo elétrico Nissan Leaf 2022.

Especificações técnicas	Valores
Autonomia	272 km
Energia total da bateria	40 kWh
Consumo energético	0,147 kWh/km

Fonte: NISSAN (2022).

Já essas mesmas características relacionadas ao ônibus elétrico escolhido para ser trabalhado nesse projeto, o BYD D9F 20.410, estão relacionadas na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Especificações técnicas do ônibus elétrico BYD D9F 20.410.

Especificações técnicas	Valores
Autonomia	300 km
Energia total da bateria	324 kWh
Consumo energético	1,08 kWh/km

Fonte: BYD 2020.

3.3.2 Eficiência do Carregador

O percentual de energia extraída da rede elétrica destinada ao carregamento de um veículo elétrico que é consumido efetivamente pela bateria, é considerada eficiência do carregador (EC).

Por meio de um estudo realizado no período entre junho e novembro de 2013, em Vermont, nos EUA, utilizando 4 veículos elétricos, sendo 2 deles do modelo Nissan Leaf e 2 do modelo Chevrolet Volts, com dois níveis de tensão no carregamento:

- Nível 1 – 120 Volts
- Nível 2 – 240 Volts

Nesse estudo foram realizadas 115 cargas nos veículos elétricos, mapeadas e organizados os dados obtidos, constatou-se uma eficiência média de carregamento de 85,7%. Tendo como dado importante o percentual de 5,6% mais eficiência no carregamento de nível 2 sobre o nível 1, sendo respectivamente 89,4% e 83,8% (SEARS et al. 2014).

Na realização deste estudo será considerado o valor de 85% na eficiência do carregador.

3.4 Sistema de Carregamento Baseado em Energia Fotovoltaica

A simulação para obter os dados de produção de energia elétrica via energia fotovoltaica, assim como analisar e avaliar os dados dessa geração, foram feitos no PVSyst, um *software* que ao serem colocados os dados solarimétricos, dados da placa utilizada, dos inversores e do local, ele consegue entregar resultado precisos de como será a geração daquele sistema fotovoltaico no decorrer dos meses e anualmente também, além de outros dados complementares.

3.4.1 Análise da Capacidade Solar da Região

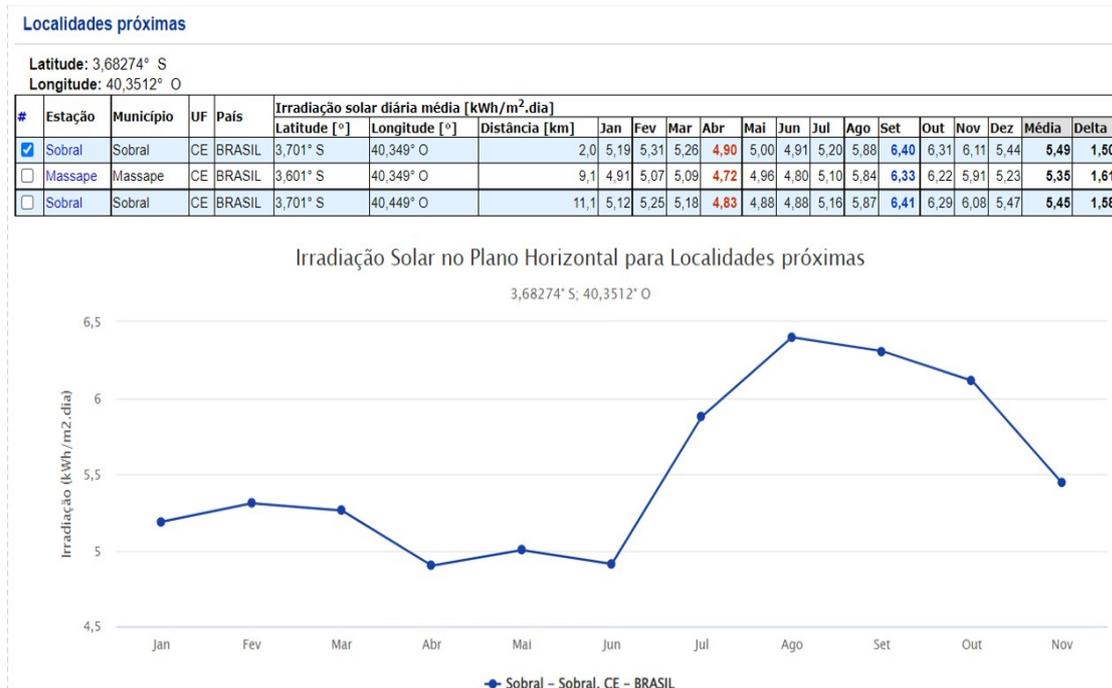
A análise prévia relacionada aos recursos solares da região de Sobral – CE, foi realizada com os dados de irradiação solar obtidos no site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito – CRESESB. Foram necessárias as coordenadas da Universidade, a qual seria o local de montagem dos módulos fotovoltaicos, sua latitude e longitude são as seguintes:

Latitude: 3,68274° S

Longitude: 40,3512° O

Os dados colhidos no site para plano horizontal e plano inclinado estão dispostos nas Figuras 32 e 33 a seguir.

Figura 32 - Irradiação Solar no Plano Horizontal.



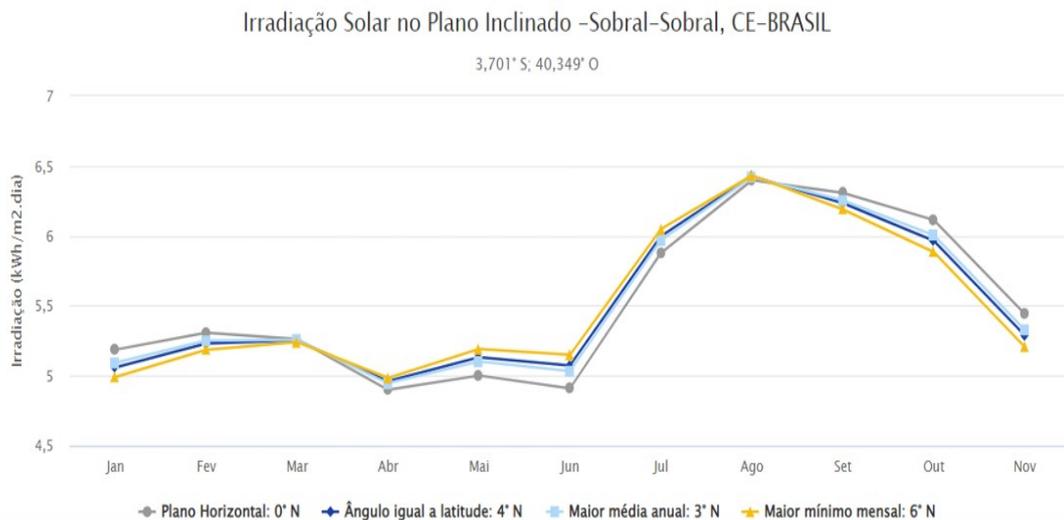
Fonte: CRESESB (2022).

Figura 33 - Irradiação Solar no Plano Inclinado.

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Sobral
Município: Sobral, CE - BRASIL
Latitude: 3,701° S
Longitude: 40,349° O
Distância do ponto de ref. (3,68274° S; 40,3512° O): 2,0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,19	5,31	5,26	4,90	5,00	4,91	5,20	5,88	6,40	6,31	6,11	5,44	5,49	1,50
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	4° N	5,06	5,23	5,25	4,96	5,13	5,07	5,36	6,00	6,43	6,23	5,97	5,29	5,50	1,47
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	3° N	5,09	5,25	5,26	4,95	5,10	5,03	5,32	5,97	6,42	6,25	6,00	5,33	5,50	1,47
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	6° N	4,99	5,19	5,24	4,98	5,19	5,15	5,43	6,05	6,43	6,19	5,88	5,21	5,49	1,45



Fonte: CRESESB (2022).

Para a realização dos cálculos é utilizado o valor da média diária anual de irradiação global horizontal, então de acordo com os dados obtidos da CRESESB como exposto nas figuras anteriores, o valor encontrado é o de 5,49 kWh/m²dia.

3.4.2 Dimensionamento da Instalação

Para realizar o dimensionamento correto dos módulos fotovoltaicos e do respectivo estacionamento, o primeiro passo é estimar a demanda necessária para realização do recarregamento dos veículos elétricos ali beneficiados.

Para realizar esse cálculo, serão levadas em consideração as equações mencionadas anteriormente, relacionadas a multiplicação entre a demanda do veículo elétrico (D_{ve}), número de VE carregados por carregador ($n^{\circ}VE$) e o número de carregadores ($n^{\circ}Carreg$). Dessa forma será possível descobrir a demanda total diária dos VEs.

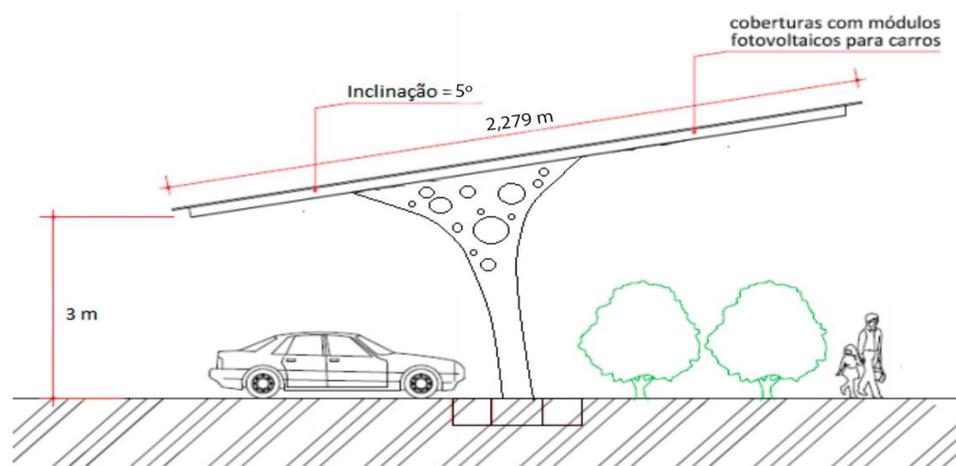
4 RESULTADOS

Os resultados foram obtidos propondo 3 cenários distintos, onde são divididos pelas seguintes características:

- I. Cenário 1: 100% das vagas preenchidas, onde 4 são destinadas a carros elétricos (segundo como modelo o Nissan Leaf 2022) e 1 vaga exclusiva para o ônibus elétrico escolhido para esse estudo;
- II. Cenário 2: 60% das vagas preenchidas, onde teremos 2 vagas direcionadas para os carros elétricos e 1 vaga exclusiva para o ônibus elétrico escolhido para este estudo;
- III. Cenário 3: 40% das vagas preenchidas, onde teremos 1 vaga direcionada aos carros elétricos e 1 vaga exclusiva para o ônibus elétrico escolhido para este estudo.

Foram decididas essas particularidades de no máximo 5 vagas (4 para carros elétricos e 1 exclusiva para o ônibus elétrico) pois a demanda de carros elétricos na cidade não é muito expressiva no momento, assim começando com pequenos planejamentos para que no futuro haja ajustes e implementações para crescimento desse tipo de estacionamento solar. Em relação a estrutura do estacionamento foi levado em consideração nas simulações ela sendo de fibrocimento já que terá espaço para serem colocados os demais carros que não sejam elétricos ou que não necessitem da recarga do estacionamento, mas que serão beneficiados pela sombra e conforto do espaço. Além disso, também para a simulação foi considerada uma inclinação de 5° para favorecer em relação a problemática da sujeidade. A figura 33 ilustra a ideia de estrutura para o estacionamento.

Figura 34 - Desenho ilustrativo dos pilares com furos, para suporte das coberturas do estacionamento. Ilustração modificada com os valores deste projeto.



Fonte: CUSTÓDIO (2018).

4.1 Cenário 1

Este cenário foi idealizado para suprir a demanda de 100% das vagas estipuladas anteriormente, das quais são 4 vagas para carros elétricas e 1 vaga exclusiva para o ônibus elétrico, totalizando 5 vagas.

Seguindo as fórmulas propostas por Sausen (2017), como já expostas nos tópicos anteriores, o primeiro dado a ser descoberto é o da demanda do veículo elétrico, assim, primeiramente será calculada a demanda do ônibus elétrico.

Para isso, seguindo a ficha técnica do VE, ele possui uma autonomia de 300 km e uma energia total na bateria de 324 kWh, dessa forma conseguindo um Consumo Energético (CE) de 1,08 kWh/km. Além disso, como destacado no tópico referente ao fluxo do ônibus pela universidade, ele realiza uma Distância Percorrida (DP) diária de 96 km. E para último dado referente a demanda do VE temos a eficiência do carregador escolhido, que nesse estudo será adotada de 80%.

Com todos os dados referentes ao cálculo de demanda do VE, a solução da equação (1) fica:

$$\begin{aligned} D_{VE} &= DP \cdot CE \cdot EC \\ &= 96 \cdot 1,08 \cdot 0,8 \\ &= 82,944 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Usando em sequência a equação (2) para descobrir o Tempo para Carregar (TC) o veículo e tendo como base a Potência do Carregador (PC) sendo 7,4 kW como mencionado nos tópicos anteriores, temos:

$$T_C = \frac{D_{VE}}{P_C} = \frac{82,944}{7,4} = 11,2086 \text{ horas}$$

O próximo passo é encontrar o Número de Veículos por Carregador (N°_{VE}) de acordo com a equação (3), levando em consideração que o Tempo de Funcionamento (TF) da Universidade e do Estacionamento é estimado em 12 horas, temos:

$$N^{\circ}_{VE} = \frac{T_F}{T_C} = \frac{12}{11,2086} = 1,07 \cong 1 \text{ veículo}$$

Tendo todos esses valores finalmente é possível calcular a Demanda Total Diária (Dtd) do VE, utilizando a equação (4) e o Número de Carregadores (n° Carregadores) nesse caso será considerado sendo 1 pois será uma vaga exclusiva para o ônibus elétrico. Assim, temos:

$$D_{TD} = D_{VE} \cdot N^{\circ}_{VE} \cdot N^{\circ}_{carregadores}$$

$$= 82,94 \cdot 1 \cdot 1$$

$$= 82,94 \text{ kWh}$$

O processo será repetido para a demanda dos veículos elétricos que ocuparão o restante das vagas tendo como base o carro Nissan Leaf 2022. De acordo com a ficha técnica desse VE, retirada diretamente da Nissan, ele possui uma autonomia de 272 km e a energia total de sua bateria é de 40 kWh, assim nos entregando um Consumo Energético (CE) de 0,147 kWh/km. Além disso, como visto anteriormente será adotada uma distância percorrida de 42 km.

Dando sequência com as equações (1), (2), (3) e (4) teremos:

I. Demanda do Veículo (D_{VE}):

$$D_{VE} = DP \cdot CE \cdot EC$$

$$= 42 \cdot 0,1470 \cdot 0,8$$

$$= 4,9392 \text{ kWh}$$

II. Tempo para Carregamento (T_C):

$$T_C = \frac{D_{VE}}{P_C} = \frac{4,9392}{7,4} = 0,6674 \text{ horas}$$

III. Número de Veículos por Carregador (N°_{VE}):

$$N^{\circ}_{VE} = \frac{T_F}{T_C} = \frac{12}{0,6674} = 17,98 \cong 18 \text{ veículos}$$

IV. Demanda Total Diária (D_{TD}), utilizando 4 carregadores das vagas restantes:

$$D_{TD} = D_{VE} \cdot N^{\circ}_{VE} \cdot N^{\circ}_{carregadores}$$

$$= 4,9392 \cdot 18 \cdot 4$$

$$= 355,6224 \text{ kWh}$$

Assim, somando as duas demandas totais diárias em questão temos uma demanda diária final de 438,5624 kWh. Diante disso as demandas finais, mensal (considerando o mês com 30 dias) e anual serão respectivamente 13157 kWh e 157884 kWh.

Será considerado um rendimento de 80% do sistema fotovoltaico, já levando em consideração as perdas por sombreamento, sujidades, temperatura, inversor e etc. Assim, para obter a potência de geração do projeto utiliza-se a equação (5):

$$Pot_{kWp} = \frac{13156,872}{0,8 \cdot 5,49 \cdot 30} = 99,8548 \text{ kWp}$$

4.1.1 Quantidade de Painéis Cenário 1

Para definir qual painel será utilizado no projeto, primeiramente deve-se avaliar determinados pontos que são considerados importantes nessa parte, como: eficiência, garantia, potência máxima do painel, dentre outros. Para esse dimensionamento foram selecionadas 3 opções de painéis solares disponível no mercado com o intuito de ser realizada uma comparação entre os mesmos seguindo esses parâmetros importantes, como por exemplo no parâmetro eficiência que trará um retorno de dados que podem resultar em uma menor área do módulo escolhido e sua potência.

A Tabela 6 a seguir contém 3 modelos de painéis fotovoltaicos de marcas com grande destaque no mercado atualmente, onde por meio delas é possível realizar um comparativo de acordo com fabricantes, tipo, potência, eficiência e garantia.

Tabela 6 - Comparativo entre painéis solares.

PAINÉIS SOLARES						
Nº	FABRICANTE	MODELO	TIPO	POTÊNCIA	EFICIÊNCIA	GARANTIA
1	SUNOVA	SS-50066-MDH SS-50066-MTF	Mono	500W	21,10%	15 anos
2	JINKO	JKM450M-60HL	Mono	450W	20,85%	12 anos
3	RISEN	RSM144-7-450M	Mono	450W	20,4%	12 anos

Fonte: Sunova, Jinko e Risen (2022).

Examinando as principais informações do comparativo anterior, é possível verificar que o ponto de decisão pela escolha dos mesmos é na garantia e principalmente na eficiência, já que as demais informações são similares. Diante disto, o modelo de painel fotovoltaico escolhido foi o de número 1 da Sunova, pois o mesmo possui uma eficiência de 21,10%. O ANEXO A apresenta as especificações técnicas do módulo escolhido.

Após a escolha do tipo de painel a ser utilizado é possível calcular a quantidade de painéis necessários de acordo com a equação (6) do manual de dimensionamento segundo (SAMPAIO, 2021), resultando na seguinte quantidade:

$$N^{\circ} \text{ de painéis} = \frac{Pot_{kWp}}{Pot_{\text{painéis}}} \quad (6)$$

$$N^{\circ} \text{ de painéis} = \frac{99,8548}{0,5} = 199,7096 \cong 200 \text{ painéis}$$

Outro ponto para levar em consideração em projetos desse tipo de grande quantidade de placas é a área ocupada pelos painéis, assim, de acordo com o datasheet da placa utilizada, foram retiradas as dimensões do painel para dimensionar a área que o sistema irá ocupar no espaço destinado na universidade. A Tabela 7 contém as dimensões da placa e a devida área que o quantitativo final irá ocupar.

Tabela 7 - Área ocupada pelos painéis solares.

DIMENSÕES			Quantidade	Área Ocupada (m ²)
Altura (m)	Largura (m)	Área (m ²)		
2,094	1,134	2,3746	200	474,9192

Fonte: Autoria própria (2022).

4.1.2 Inversor Cenário 1

O primeiro passo para se definir a potência total na saída do inversor adequado, de acordo com o manual de dimensionamento, é ter definido o fator de *overload* e aplicar o mesmo no cálculo para que o inversor definido, consiga trabalhar em uma boa faixa de operação, logo para esse projeto o valor utilizado para o fator de *overload* é o valor típico de 20%.

Dessa forma, a potência do inversor (PI) escolhido é dado pela equação (7):

$$PI = \frac{Potencia_{total\ CC}}{fator\ overload} \quad (7)$$

$$PI_{\text{cenário 1}} = \frac{99,8548}{1,2} = 83,2123 \text{ kW}$$

Comercialmente e também levando em consideração o número de placas utilizadas nesse cenário, a potência do inversor escolhido foi de 50kW. Neste cenário serão utilizados dois inversores de 50kW da marca Growatt, com uma eficiência de 98,8%. O ANEXO B contém o *datasheet* do inversor escolhido.

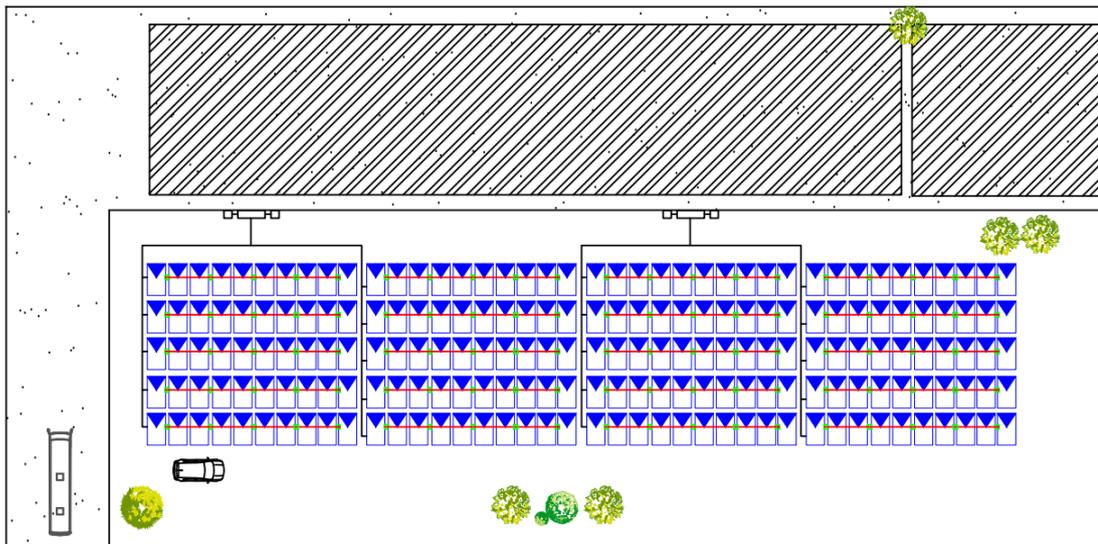
Com o inversor escolhido e o sistema dimensionado, é possível elaborar a planta baixa

de situação do local, bem como a disposição das placas na superfície do estacionamento. Para obter um arranjo mais eficiente da disposição das placas, é de grande importância consultar o datasheet do inversor e analisar quantas entradas o mesmo possui.

Assim, com o auxílio do datasheet do inversor escolhido, disponível no anexo A, é possível constatar que o inversor possui 3 entradas independentes, na qual uma entrada possui 4 *strings* e duas entradas possuem 3 *strings* cada, ou seja, entradas para módulo em série. Totalizando assim, até possíveis 10 seqüências de placas em série no total.

Diante desses dados, optou-se por dimensionar utilizando todas as entradas, logo, como a quantidade de placas são 200 unidades, cada inversores ficará ligado a 100 placas, e cada *string* do inversor ficou com uma associação de 10 placas em série.

Figura 35 - Representação da vista aérea do estacionamento da UFC e a disposição dos módulos.



Fonte: Autoria Própria (2022).

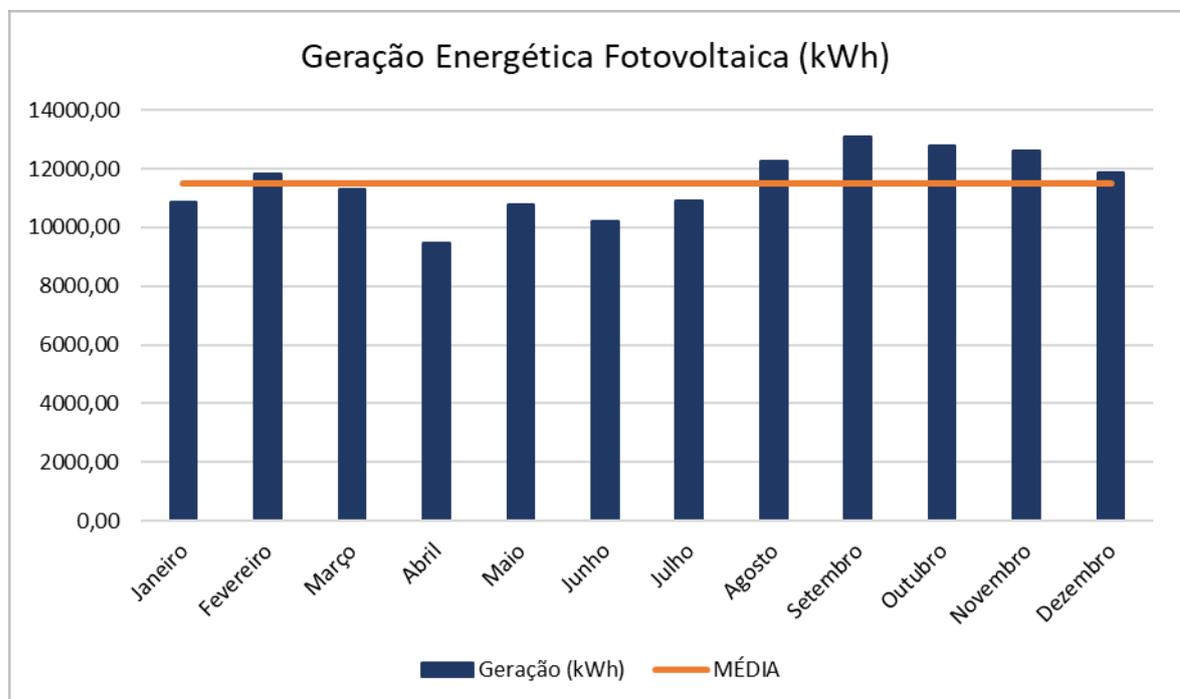
4.1.3 Geração Energética Fotovoltaica Cenário 1

Para a realização da estimativa de geração mensal pelo sistema fotovoltaico foi utilizado o Software PVSyst, de acordo com todas as características e equipamentos propostos, foram descritos no programa todas as variáveis e valores com ajuda dos datasheets dos equipamentos pode ser observada na tabela 8 e no gráfico 2. Além disso, no ANEXO C está o Diagrama Unifilar do sistema fotovoltaico.

Tabela 8 - Valores de geração médio mensal e a geração anual média do cenário 1.

Mês	Geração (kWh)
Janeiro	10890,00
Fevereiro	11840,00
Março	11290,00
Abril	9480,00
Maio	10760,00
Junho	10200,00
Julho	10900,00
Agosto	12270,00
Setembro	13090,00
Outubro	12770,00
Novembro	12610,00
Dezembro	11870,00
Média	11497,50

Fonte: Adaptado do PVSyst pelo autor (2022).

Gráfico 2 - Estimativa de geração energética mensal pelo sistema FV do cenário 1 a ser instalado no estacionamento da UFC.

Fonte: PVSyst (2022).

Após a simulação, o *software* estimou uma geração energética anual de 137,98 MWh, com um índice de performance de 72,58%. Não houve perdas consideráveis por sombreamento. De acordo com os dados apresentados tanto na tabela quanto no gráfico

anteriores, nota-se que os meses de maior geração do sistema fotovoltaico seriam setembro, outubro e novembro, com gerações de 13,09 MWh, 12,77 MWh e 12,610 MWh, respectivamente. Tal resultado é condizente com o recurso solar apresentado no local, onde os meses com maior disponibilidade solar são setembro (6,40 kWh/m².dia), outubro (6,31 kWh/m².dia) e novembro (6,11 kWh/m².dia).

4.1.4 Contribuição Energética Cenário 1

A potência do estacionamento do cenário 1 mostrou ser capaz de atender a geração necessária para suprir o consumo referente ao fluxo médio de veículos e referente a rota do ônibus elétrico no horário estipulado de funcionamento do campus, que é de 7 às 19 horas, de acordo com as vagas disponíveis para este cenário. Este cenário mostrou ser capaz de gerar excedentes de energia nos meses de maior índice de irradiação e utilizá-los nos meses que a geração das placas não abate o consumo dos VEs, pois são meses de menor irradiação.

Realizando a soma de todos os excedentes e os consumos não abatidos, o saldo é de 22.189,53 kWh, sendo considerada uma boa carga de excedente que pode ser usada para abater no consumo de energia relacionada a demanda da UFC ou até mesmo do Restaurante Universitário. Com a geração anual deste cenário sendo de 137,970 MWh o excedente chega a ser cerca de 16,08% da geração anual.

De acordo com o caderno temático da ANEEL (2016), através do sistema de compensação para unidades consumidoras do grupo A, “Para as unidades consumidoras que dispõe de tarifa horária, a energia injetada deve ser utilizada, prioritariamente, para abater o consumo mensal no mesmo período (ponta ou fora ponta).” Se ocorrer alguma sobra e seja necessário utilizar um fator de ajuste, que de ponta para fora da ponta aumenta o valor e ao contrário esse valor é reduzido.

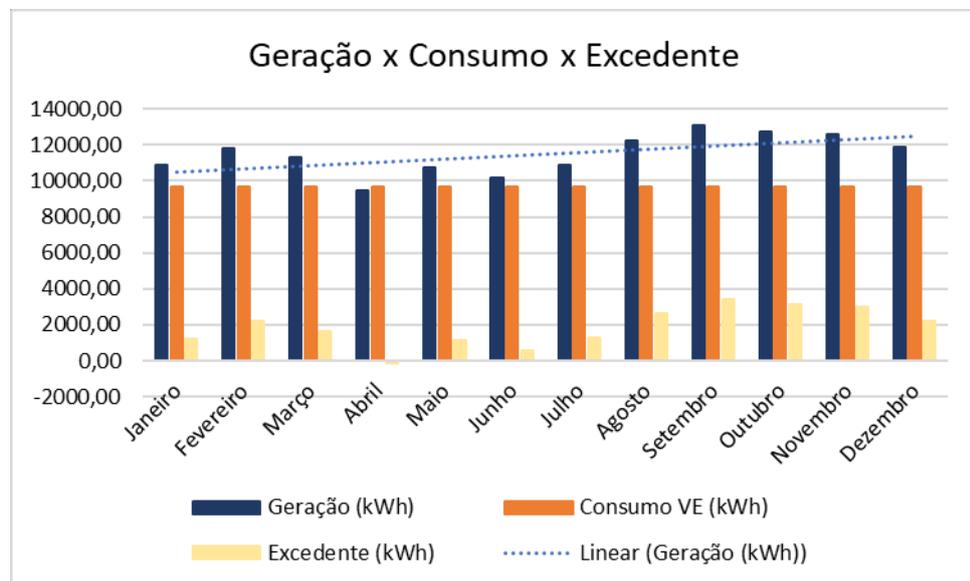
A Tabela 9 e no Gráfico 3 são apresentadas as três referências que geram os resultados satisfatórios da configuração do cenário 1, que são a geração do sistema fotovoltaico, o consumo tido pela demanda estimada de carros e do ônibus elétrico, e o excedente da subtração desses dois primeiros. O consumo nesse caso ele será considerado diante de 22 dias que é a média de dias úteis mensais durante o ano inteiro, já que os carros e principalmente o ônibus elétrico, que é o maior foco desse trabalho, só irão utilizar do estacionamento nesses dias úteis, já que nos fins de semana ele não funciona.

Tabela 9 - Excedente de energia de cada mês e os respectivos excedentes em relação ao consumo do Cenário 1.

Mês	Geração (kWh)	Consumo VE (kWh)	Excedente (kWh)
Janeiro	10890,00	9648,37	1241,63
Fevereiro	11840,00	9648,37	2191,63
Março	11290,00	9648,37	1641,63
Abril	9480,00	9648,37	-168,37
Mai	10760,00	9648,37	1111,63
Junho	10200,00	9648,37	551,63
Julho	10900,00	9648,37	1251,63
Agosto	12270,00	9648,37	2621,63
Setembro	13090,00	9648,37	3441,63
Outubro	12770,00	9648,37	3121,63
Novembro	12610,00	9648,37	2961,63
Dezembro	11870,00	9648,37	2221,63
ANUAL	137970,00	Balanco de Excedentes	22189,53

Fonte: Próprio Autor (2022).

Gráfico 3 - Comparação da geração do sistema com o consumo e o excedente do cenário 1.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Para produção de energia pelo sistema fotovoltaico instalado ao estacionamento foram considerados os 30 dias no dimensionamento, exatamente para ter uma quantidade significativa de excedentes levando em consideração a utilização do estacionamento apenas nos dias úteis.

4.2 Cenário 2

Neste cenário serão ofertadas 60% das vagas do projeto do cenário 1, ou seja, serão destinadas 3 vagas, onde 1 é direcionada ao ônibus elétricos e as outras 2 são para os carros elétricos diários. Os cálculos e valores tanto do ônibus quanto dos carros elétricos utilizados serão os mesmos do cenário anterior, o único valor divergente será o de demanda total diária dos carros elétricos pois seu número de carregadores é reduzido para 2 para ser proporcional ao número de vagas, assim tendo o valor de:

$$\begin{aligned} D_{TD} &= D_{VE} \cdot N^{\circ}_{VE} \cdot N^{\circ}_{carregadores} \\ &= 4,9392 \cdot 18 \cdot 2 \\ &= 177,8112 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Assim, conseguindo uma demanda diária final de 260,7512 kWh, além de demanda mensal e anual respectivamente 7822,536 kWh e 93870,432 kWh.

Em posse desses valores e utilizando a mesma fórmula (5) de potência de geração como no cenário 1 obtemos:

$$Pot_{kWp} = \frac{7822,536}{0,8 \cdot 5,49 \cdot 30} = 59,36958 \text{ kWp}$$

4.2.1 Quantidade de Painéis Cenário 2

Utilizando o mesmo tipo de painéis escolhidos para o cenário 1 e utilizando ainda a equação (6), obtemos a quantidade de painéis necessários para esse cenário.

$$N^{\circ} \text{ de painéis} = \frac{Pot_{kWp}}{Pot_{painéis}} \quad (6)$$

$$N^{\circ} \text{ de painéis} = \frac{59,36958}{0,5} = 118,74 \cong 120 \text{ painéis}$$

O número de placas foi arredondado para 120 para obter uma melhor entrega e uma adequação as *strings* do inversor escolhido. Em seguida, com as dimensões da Tabela 5 e as unidades de painéis necessários é possível calcular a área necessária para a instalação desse quantitativo que é:

$$\text{Área necessária} = 2,374596 \cdot 120 = 284,95152 \text{ m}^2$$

4.2.2 Inversor Cenário 2

Realizando o cálculo com o fator de *overload* como realizado no cenário 1, temos:

$$PI_{\text{cenário 2}} = \frac{59,36958}{1,2} = 49,47 \text{ kW}$$

Assim, confirmando que para este cenário pode ser utilizado o mesmo inversor do cenário anterior, de 50kW da Growatt, só que desta vez apenas uma unidade. Nesse caso, de acordo com os dados de *strings* do datasheet desse inversor a divisão das placas ligadas ao inversor será 12 placas em cada *string*.

4.2.3 Geração Energética Fotovoltaica Cenário 2

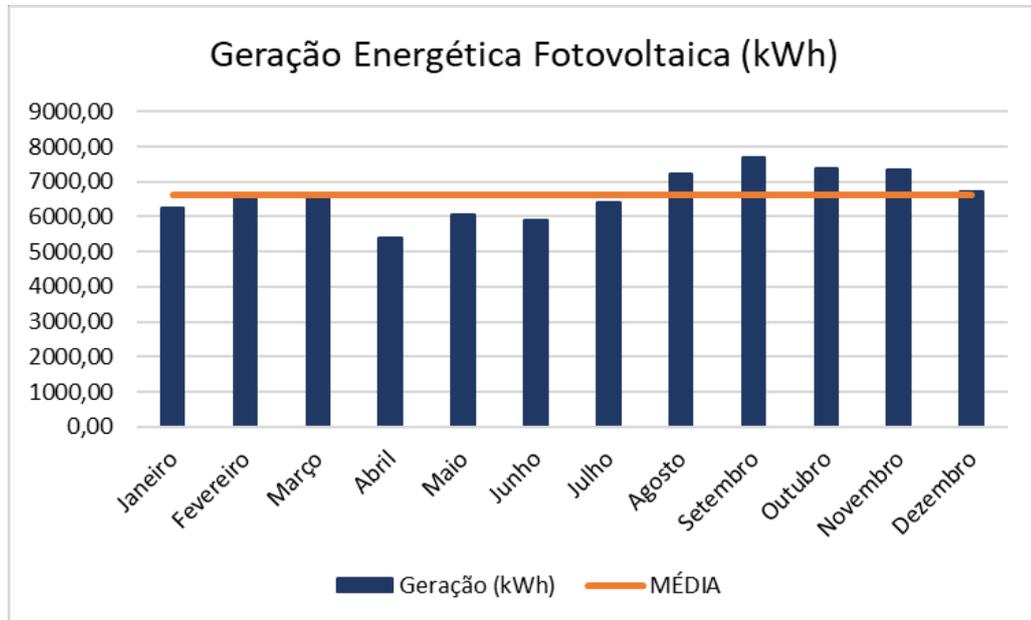
A configuração deste cenário também foi simulada no PVSyst, após a simulação o software estimou uma geração energética anual de 79,60 MWh, com um índice de performance de 69,39%. A estimativa de geração mensal pelo sistema fotovoltaico pode ser observada na tabela 10 em conjunto com o gráfico 4.

Tabela 10 - Valores de geração médio mensal e a geração anual média do cenário 2.

Mês	Geração (kWh)
Janeiro	6231,00
Fevereiro	6675,00
Março	6609,00
Abril	5380,00
Maiο	6038,00
Junho	5899,00
Julho	6399,00
Agosto	7232,00
Setembro	7689,00
Outubro	7386,00
Novembro	7329,00
Dezembro	6735,00
Média	6633,50

Fonte: Adaptado do PVSyst pelo autor (2022).

Gráfico 4 - Estimativa de geração energética mensal pelo sistema FV do cenário 2 a ser instalado no estacionamento da UFC.



Fonte: PVSyst

4.2.4 Contribuição Energética Cenário 2

A geração fotovoltaica ficou equilibrada, gerando apenas um excedente negativo no mês de abril, o qual diante os dados de irradiância do local é considerado o mês de menor valor, assim justificando esse valor reduzido de excedente. Somando todos os excedentes e os consumos não abatidos, teve um balanço anual de 10763,68 kWh, sendo considerado um ótimo cenário de implementação do estacionamento dando um resultado de excedentes que pode ser aplicado na demanda da UFC ou do próprio Restaurante Universitário como já mencionado no cenário anterior. Esses dados podem ser observados tanto na Tabela 11 quanto no Gráfico 5.

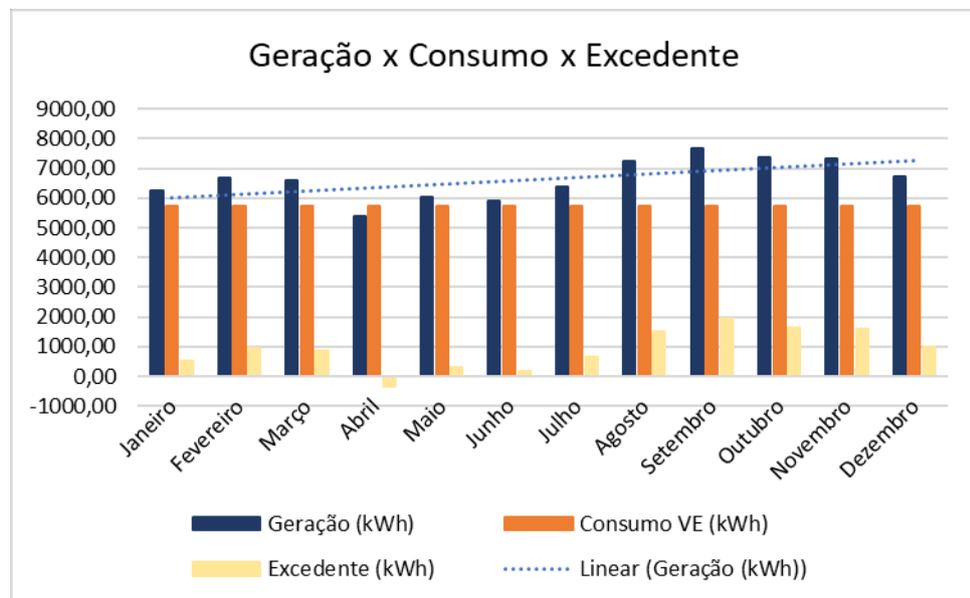
Tabela 11 - Excedente de energia de cada mês e os respectivos excedentes em relação ao consumo do Cenário 2.

Mês	Geração (kWh)	Consumo VE (kWh)	Excedente (kWh)
Janeiro	6231,00	5736,53	494,47
Fevereiro	6675,00	5736,53	938,47
Março	6609,00	5736,53	872,47

Abril	5380,00	5736,53	-356,53
Maio	6038,00	5736,53	301,47
Junho	5899,00	5736,53	162,47
Julho	6399,00	5736,53	662,47
Agosto	7232,00	5736,53	1495,47
Setembro	7689,00	5736,53	1952,47
Outubro	7386,00	5736,53	1649,47
Novembro	7329,00	5736,53	1592,47
Dezembro	6735,00	5736,53	998,47
ANUAL	79602,00	Balanco de Excedentes	10763,68

Fonte: Próprio Autor (2022).

Gráfico 5 - Comparação da geração do sistema com o consumo e o excedente do cenário 2.



Fonte: Próprio Autor (2022).

4.3 Cenário 3

Neste cenário serão ofertadas 40% das vagas do projeto do cenário 1, ou seja, serão destinadas 2 vagas, onde 1 é direcionada ao ônibus elétricos e a outra para os carros elétricos diários. Os cálculos e valores tanto do ônibus quanto dos carros elétricos utilizados serão os mesmos do cenário anterior, o único valor divergente será o de demanda total diária dos carros elétricos pois seu número de carregadores é reduzido para 1 para ser proporcional ao número de vagas, assim tendo o valor de:

$$\begin{aligned}
 D_{TD} &= D_{VE} \cdot N^{\circ}_{VE} \cdot N^{\circ}_{carregadores} \\
 &= 4,9392 \cdot 18 \cdot 1
 \end{aligned}$$

$$= 88,9056 \text{ kWh}$$

Assim, conseguindo uma demanda diária final de 171,8456 kWh, além de demanda mensal e anual respectivamente 5155,368 kWh e 61864,416 kWh.

Utilizando a mesma equação (5) de potência de geração como no cenário 1 e 2 obtemos:

$$Pot_{kWp} = \frac{5155,368}{0,8 \cdot 5,49 \cdot 30} = 39,126958 \text{ kWp}$$

4.3.1 Quantidade de Painéis Cenário 3

Utilizando o mesmo tipo de painéis escolhidos para o cenário 1 e 2 realizando o mesmo processo de cálculo com a equação (6) e da área necessária para ocupação dos painéis, temos:

$$N^{\circ} \text{ de painéis} = \frac{Pot_{kWp}}{Pot_{painéis}} \quad (6)$$

$$N^{\circ} \text{ de painéis} = \frac{39,126958}{0,5} = 78,2538 \cong 80 \text{ painéis}$$

$$\text{Área necessária} = 2,374596 \cdot 80 = 189,96768 \text{ m}^2$$

O número de placas foi arredondado para 80 unidades para obter uma melhor entrega e uma adequação as *strings* do inversor escolhido.

4.3.2 Inversor Cenário 3

Realizando o cálculo com o fator de *overload* como realizado no cenário 1 e 2, temos:

$$PI_{\text{cenário 2}} = \frac{39,1269}{1,2} = 32,6057 \text{ kW}$$

Dessa forma, o inversor adequado para esse caso seria o de 40kW da marca Growatt, com 99% de eficiência. De acordo com o *datasheet* do mesmo, que se encontra no Anexo B, ele possui um total de 8 *strings*, onde nesse cenário serão todas utilizadas, definindo 10 placas para cada *string*. O ANEXO C contém o *datasheet* do inversor escolhido.

4.2.3 Geração Energética Fotovoltaica Cenário 3

A configuração deste cenário também foi simulada no PVSyst, após a simulação o

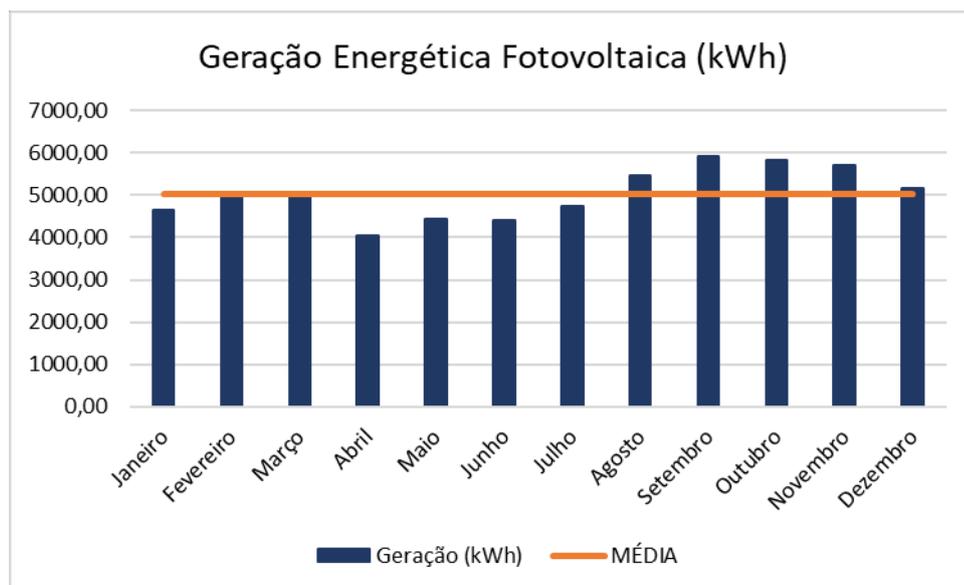
software estimou uma geração energética anual de 60,41 MWh, com um índice de performance de 78,99%. A estimativa de geração mensal pelo sistema fotovoltaico pode ser observada na Tabela 12 em conjunto com o Gráfico 6.

Tabela 12 - Valores de geração médio mensal e a geração anual média do cenário 3.

Mês	Geração (kWh)
Janeiro	4640,00
Fevereiro	5014,00
Março	5006,00
Abril	4053,00
Mai	4432,00
Junho	4414,00
Julho	4730,00
Agosto	5476,00
Setembro	5934,00
Outubro	5835,00
Novembro	5705,00
Dezembro	5168,00
Média	5033,92

Fonte: Adaptado do PVSyst pelo autor (2022).

Gráfico 6 - Estimativa de geração energética mensal pelo sistema FV do cenário 3 a ser instalado no estacionamento da UFC.



Fonte: PVSyst (2022)

4.2.4 Contribuição Energética Cenário 3

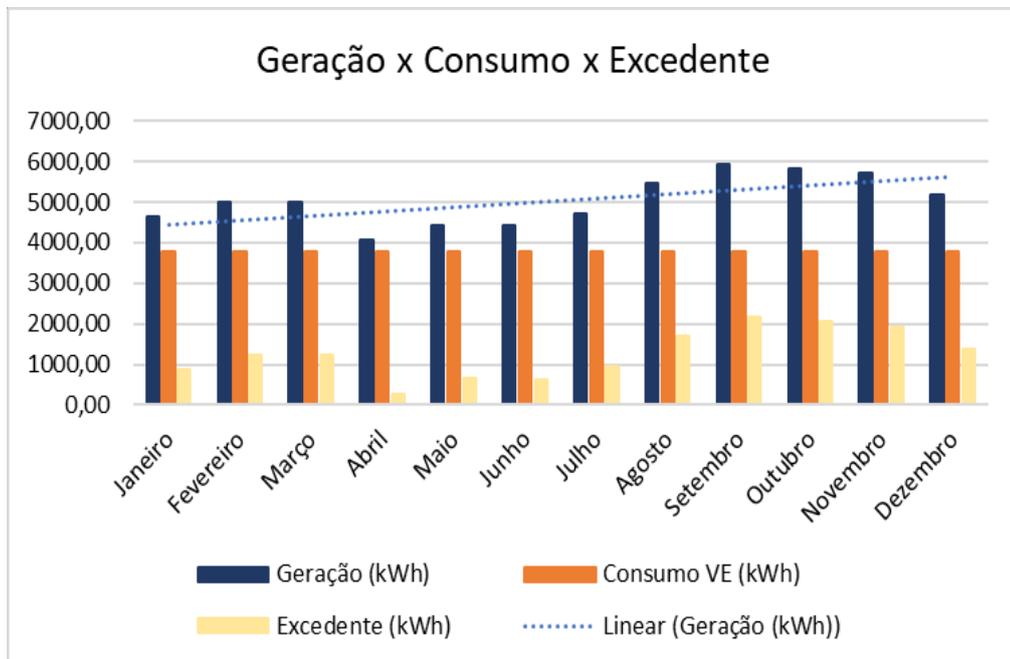
A geração fotovoltaica ficou equilibrada, não gerando nenhum excedente negativo para este cenário, mesmo no pior mês de irradiância (abril), gerou um excedente de 272,40 kWh, assim tendo uma performance melhor do que o cenário anterior. Um dos responsáveis por esse resultado é o índice de performance desse cenário, que no PVSyst foi registrado com a porcentagem de 78,99%, além disso sua demanda reduzida em relação a menor quantidade de vagas de carros também está ligada pois foi encontrada uma geração expressiva de energia pelo sistema fotovoltaico e foi subtraída da demanda reduzida do estacionamento. Somando todos os excedentes e os consumos não abatidos, teve um balanço anual de 15039,76 kWh, sendo considerado um cenário bastante favorável para a implementação do estacionamento dando um resultado excelente de excedentes os quais podem ser utilizados para abater as demandas da provenientes da UFC. Esses dados podem ser observados tanto na Tabela 13 quanto no Gráfico 7.

Tabela 13 - Excedente de energia de cada mês e os respectivos excedentes em relação ao consumo do Cenário 3.

Mês	Geração (kWh)	Consumo VE (kWh)	Excedente (kWh)
Janeiro	4640,00	3780,60	859,40
Fevereiro	5014,00	3780,60	1233,40
Março	5006,00	3780,60	1225,40
Abril	4053,00	3780,60	272,40
Mai	4432,00	3780,60	651,40
Junho	4414,00	3780,60	633,40
Julho	4730,00	3780,60	949,40
Agosto	5476,00	3780,60	1695,40
Setembro	5934,00	3780,60	2153,40
Outubro	5835,00	3780,60	2054,40
Novembro	5705,00	3780,60	1924,40
Dezembro	5168,00	3780,60	1387,40
ANUAL	60407,00	Balanço de Excedentes	15039,76

Fonte: Próprio Autor (2022).

Gráfico 7 - Comparação da geração do sistema com o consumo e o excedente do cenário 3.



Fonte: Próprio Autor (2022).

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma hipótese e análise de um projeto de uma possível implementação de um estacionamento fotovoltaico, por meio de simulações e critérios necessários para tomada de decisões. De acordo com os 3 cenários propostos que são equivalentes a 100%, 60% e 40% das vagas do estacionamento para carregamento de carros elétricos e em específico do ônibus universitário, o intracampus que de acordo com essas perspectivas se tornaria um veículo elétrico, saindo do tradicional que atualmente se encontra.

Como o local onde a Universidade está instalada possui muita área livre e já utilizada para estacionamento, é possível projetar para ampliação e tornar uma dessas áreas um estacionamento a base de energia fotovoltaica para uma maior quantidade de veículos e do intracampus reformulado, podendo disponibilizar mais vagas e assim instalar mais módulos, abatendo a demanda de ainda mais VEs caso seja necessário em demandas futuras.

Em todos os cenários a demanda de VEs é suprida, assim, não alterando o consumo normal da Universidade e ainda gerando uma quantidade significativa de excedentes, os quais podem ser destinados ao abatimento da conta e demanda oriunda da UFC pelo método de compensação de energia regulada pela ANEEL, já que o estacionamento não iria necessitar de energia vinda da rede ligada a instituição pois ele conseguiria gerar a energia necessária para o seu funcionamento.

O sistema fotovoltaico acoplado a estrutura do estacionamento torna o projeto prático pois não demanda área nova como seria em casa de uma usina de solo, assim, além da vantagem ecológica de diminuir a poluição vinda dos carros tradicionais pois iria incentivar a população a adesão e troca dos seus veículos pelos VEs também estaria ligada com a geração com energia limpa, conforto e acessibilidade dos alunos e da população que usufruir desse recurso, melhoria do local de estacionamento para sombrear os carros ali alocados e mitigar a o possível problema de sobrecarga da rede elétrica com a inserção dos veículos elétricos no cenário brasileiro já que toda energia necessária para o carregamento dos VE será gerada pela própria usina, principalmente nos meses de verão que não depende da energia da rede elétrica de distribuição.

5.1 Sugestões de Trabalhos Futuros

Este trabalho instiga e abre portas para pesquisas futuras complementares, além de análises em diferentes pontos não abordados, que podem acrescentar e melhorar o desenvolvimento da temática e resultados amplos referentes a geração fotovoltaica e veículos elétricos, tanto para o espaço em estudo (UFC – Campus Sobral) quanto outra localização, sendo alguns deles:

- Análise financeira e viabilidade para os projetos propostos neste trabalho;
- Ampliação da rota do IntraCampus para aumentar a quantidade de alunos/cidadãos beneficiados;
- Pesquisa de possíveis adesões a carros elétricos na cidade de Sobral com a ajuda do incentivo da implementação do estacionamento na cidade para uso comunitário.

REFERÊNCIAS

- ABVE. **Eletrificados batem todas as previsões em 2021**. 2022. Disponível em: <<https://www.abve.org.br/eletrificados-batem-todas-as-previsoes-em-2021/>>. Acesso em 05 jan. 2022.
- ANDERSON, J.; ANDERSON, C. **Electric and Hybrid Cars: A History**. McFarland Co., London, UK, 2015.
- ANEEL. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**. ANEEL, 2005. Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>>. Acesso em: 25 dez. 2021.
- ANEEL. **Geração Distribuída**. 2015. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 25 dez. 2021.
- ANTUNES, P. **Veículos Elétricos, Funcionamento e seus Benefícios**. 2018. 73f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário UNIFACVEST, 2018.
- Atlas brasileiro de energia solar** / Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; André Rodrigues Gonçalves; Rodrigo Santos Costa; Francisco J. Lopes de Lima; Ricardo Rütther; Samuel Luna de Abreu; Gerson Máximo Tiepolo; Silvia Vitorino Pereira; Jefferson Gonçalves de Souza -- 2.ed. -- São José dos Campos : INPE, 2017. 88p.: il. (E-BOOK) ISBN 978-85-17-00089-8
- AXSEN, J.; KURANI, S.K. Anticipating plug-in hybrid vehicle energy impacts in California: constructing consumer-informed recharge profiles. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**. Issue 4, v. 15, p. 212-219, 2010.
- BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectiva no Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: Biblioteca Digital BNDES – BNDES Setorial, n. 33, p 207-224, março 2011.
- BASSO, C. **O impacto dos veículos elétricos plug-in no sistema elétrico de potência**. Alegrete: Autor, 2011.
- BIEKER, G. **A GLOBAL COMPARISON OF THE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF COMBUSTION ENGINE AND ELECTRIC PASSENGER CARS**. 2021. Disponível em: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-LCA-passenger-cars-jul2021_0.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- BIOENERGIA, U. N. da. **Frota de veículos elétricos cresce em 2018**. 2019. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1176432>>. Acesso em: 06 dez. 2021.
- BITTENCOURT, A. H. **Estratégia para o gerenciamento do balanço da geração fotovoltaica de energia elétrica integrada à edificação e veículos elétricos em rede inteligente**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. 226 p. Florianópolis, 2014.
- BNEF. **Electric Transport Revolution Set To Spread Rapidly Into Light and Medium Commercial Vehicle Market**. 2019. Disponível em: <<https://about.bnef.com/blog/>>. Acesso

em: 06 dez. 2021.

BORBA, B. S. M. C. **Metodologia de Regionalização do Mercado de Combustíveis Automotivos no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.

BRASÍLIA, A. **“VEM DF”: tire suas dúvidas sobre o projeto de carros elétricos compartilhados**. 2019. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2019/10/07/vem-df-tire-suas-duvidas-sobre-o-projeto-de-carros-eletricos-compartilhados/>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

BRASÍLIA, A. **GDF vai isentar de IPVA os carros elétricos**. 2019. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2019/10/07/gdf-vai-isentar-de-ipva-os-carros-eletricos/>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

CABRAL, Isabelle de Souza Cabral; TORRES, Adriana Cazalgrandi; SENNA, Pedro Rocha. **ENERGIA SOLAR – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE BRASIL E ALEMANHA**. IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Salvador/BA – 25 a 28 de novembro de 2013.

CANALTECH. **O Brasil está preparado para lidar com a crescente frota de carros elétricos?** 2016. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/carros/>>. Acesso em: 06 dez 2021.

CASTRO, E. S. D. **Impacto de veículos elétricos na operação em regime permanente de sistemas de distribuição**. [S.l.]: Autor, 2015.

CHEVROLET. **Bolt EV**. Chevrolet, 2021. Disponível em: <<https://www.chevrolet.com.br/totem/carros/bolt>>. Acesso em: 15 jan. 2022.

CONNEXION, T. **Introducing the French inventor of the electric car**. 2017. Disponível em: <<https://www.connexionfrance.com/Mag/French-Facts/Introducing-the-French-inventor-of-the-electric-car>>. Acesso em: 14 dez. 2021.

Cowan, R., 1990, “**Nuclear Power Reactors: A Study in Technological Lock-in**”, The Journal of Economic History, v .50 n. 3, pp. 541-567.

Cowan, R., Hultén, S., 1996, “**Escaping Lock-in: The Case of Electric Vehicle**”. Technological Forecasting and Social Change, v. 53, pp. 61-79.

CPQD, F. **Elétrico puro, híbrido ou plug-in?** 2015. Disponível em: <<https://www.cpqd.com.br/insight/eletrico-puro-hibrido-ou-plug-in/>>. Acesso em: 20 nov. 21.

CRESESB. **Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em 10 mar. 2022.

CUSTÓDIO, Isadora Pauli; ZOMER, Clarissa Debiazi; SCHNEIDER, Kathlen; RÜTHER, Ricardo. **CRITÉRIOS E SOLUÇÕES ADOTADOS EM PROJETO DE ESTACIONAMENTO SOLAR DE 1 MW_p EM FLORIANÓPOLIS - SC**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018.

ECONÔMICO, V. **EPE VÊ carros elétricos com fatia de 2,5% dos veículos leves em 2026**.

2017. Disponível em: <<https://valor.globo.com/empresas/noticia/2017/05/24/>>. Acesso em: 06 dez. 2021.

EICHENBERGER, A. D. A. A. **Inserção de veículos elétricos - análise dos impactos no sistema elétrico de potência na subestação central/batel em Curitiba**. [S.l.]: Autor, 2015.

EL PAÍS. **Europa propõe para 2035 o fim da venda de carros a combustão**. 2021. Disponível em: <<https://brasil.elpais.com/economia/2021-07-15/europa-propoe-para-2035-o-fim-da-venda-de-carros-a-combustao.html>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

ELÉTRICA, M. da. **Carros elétricos, tipos e características**. 2018. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/carros-eletricos-tipos-e-caracteristicas/>> Acesso em: 20 nov. 2021.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2020: Ano base 2019**. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2021: Ano base 2020**. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado. (Texto para Discussão no 166, 2012. Disponível em:<https://www.vario.com.br/T1/guilsinglrightDownloads/T1/guilsinglrightNT_EnergiaSolar>. Acesso em: 25 dez. 2021.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2019 (Relatório Final)**. 2019. Disponível em:<<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2019 (Relatório Síntese)**. 2019. Disponível em:<<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

ÉPOCA. **A disparada do carro elétrico**. 2017. Disponível em: <<https://epoca.globo.com/tecnologia/noticia/2017/10/disparada-do-carroeletrico.html>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

ÉPOCA. **Carro elétrico no Brasil: do zero aos bilhões em 10 anos**. 2019. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/09/carro-eletrico-no-brasil-do-zero-aos-bilhoes-em-10-anos.html>>. Acesso em: 16 nov. 2021.

ÉPOCA. **Carro elétrico: estamos vendo o início do fim do carro a gasolina?** 2017. Disponível em: <<https://epoca.oglobo.globo.com/ciencia-e-meio-ambiente/blog-do-planeta/noticia/2017/07/carro-eletrico-estamos-vendo-o-inicio-do-fim-do-carro-gasolina.html>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

ÉPOCA. **Weg anuncia parceria para converter veículos à combustão em carros elétricos**. 2019. Disponível em:

<<https://epocanegocios.globo.com/Empresa/noticia/2019/09/weganunciaparceria-para-converter-veiculos-combustao-em-carros-eletricos.html>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

ESTADÃO. **Frotas de ônibus elétricos podem ser ampliadas no Brasil**. Disponível em: <<https://summitmobilidade.estadao.com.br/sustentabilidade/frotas-de-onibus-eletricos-podem-ser-ampliadas-no-brasil/#:~:text=Na%20Am%C3%A9rica%20Latina%2C%201.962%20%C3%B4nibus,6%25%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%202019.>>>. Acesso em: 06 dez. 2021.

ESTADÃO. **Governo lança nesta sexta programa de investimentos de R\$ 200 mi para setor automotivo**. 2019. Disponível em: <[https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,governo-lanca-amanhaprograma-de-investimentos-de-r-200-mi-para-setor-automotivo,70003017127](https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,governo-lanca-amanhaprograma-de-investimentos-de-r-200-mi-para-setor-automotivo,70003017127>)>. Acesso em: 25 dez. 2021.

ESTADÃO. **JAC Motors divulga preço do carro elétrico mais barato do País**. 2019. Disponível em: <<https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/jac-motors-preco-eletrico-mais-barato/>>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

FORTALEZA, P. de. **Prefeitura de Fortaleza comemora dois anos de atividades dos carros elétricos compartilhados**. 2018. Disponível em: <<https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-comemora-dois-anos-de-atividades-dos-carros-compartilhados>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

FORTALEZA, P. de. **Prefeitura de Fortaleza entrega 10 novos carros elétricos do VAMO Fortaleza**. 2019. Disponível em: <<https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-entrega-10-novos-carros-eletricos-do-vamo-fortaleza>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

FREITAS, B. **Análise do Potencial de Geração Fotovoltaica Usando Metodologia BIM**. 2018. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará (UFC), 2018.

G1. **Reino Unido vai banir carros movidos a gasolina e diesel até 2040**. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2017/07/reino-unido-vai-banir-carros-movidos-gasolina-e-diesel-ate-2040.html>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

G1. **Postos em Fortaleza já repassam aumento nos preços dos combustíveis e gasolina chega a R\$ 7,99**. 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2022/06/18/postos-em-fortaleza-ja-repassam-aumento-nos-precos-dos-combustiveis-e-gasolina-chega-a-r-789.ghtml>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

GARCIA, F. R. **Harmônicos em Sistemas Elétricos de Potência**. INEPAR. [S.l.]. 2014.

GARCIA, J.; OLIVEIRA, L.; JOHN, V. M. **Emissões de gases do efeito estufa e conteúdo energético de placas fotovoltaicas na América Latina**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió, Alagoas. 2014.

GRAY, M. K.; MORSE, W. G. **Power Quality Assessment in Distribution Systems Embedded With Plug-in Hybrid and Battery Electric Vehicles**. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 30, no. 2, pp. 663-371, 2015

Hoyer, K. G., 2008. **“The History of alternative Fuels in Transportation: The Case of Electric and Hybrid Cars”**, Utilities Policy, v. 16.

IEA. Global E.V. Outlook 2019. BloombergNEF, 2019.

IEA. Global EV Outlook 2021. BloombergNEF, 2021.

Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) – **O que é geração distribuída**. Disponível em: < http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso 02 mar. 2022.

Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) – **Sobre veículos elétricos**. Disponível em: < http://www.inee.org.br/veh_sobre.asp?Cat=veh >. Acesso 20 nov. 2021.

JACINTO, T. D. P. **Proposta de controle do impacto da inserção de veículos elétricos no custo marginal de operação em estudos de planejamento energético**. Juiz de Fora: Autor, 2017.

JUNIOR, L. C. P. **A interação entre geradores solares fotovoltaicos e veículos elétricos conectados à rede elétrica pública**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC. Florianópolis, 2011

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão**. Revista Virtual de Química, 2014. Disponível em:< <http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664>>. Acesso em: 25 dez. 2021

MARCOPOLO. **MARCOPOLO VIAGGIO 1050 BYD 100% ELÉTRICO INOVA TRANSPORTE GAÚCHO**. 2020. Disponível em: <https://www.marcopolo.com.br/marcopolo_sa/noticias/marcopolo-viaggio-1050-byd-100-eletrico-inova-transporte-gaucha>. Acesso em: 10 abril. 2022.

MENEZES, L. **Estações de carregamento de baterias para carros elétricos com uso de plantas fotovoltaicas**. 2019. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará (UFC), 2019.

MIRAGAYA, F. **Adeus, gasolina! 10 montadoras que têm data para o fim do motor a combustão**. UOL, 2021. Disponível em: < <https://autopapo.uol.com.br/noticia/10-montadoras-anuncio-carro-eletricos/#:~:text=A%20maioria%20das%20marcas%20anunciou,tamb%C3%A9m%20das%20chamadas%20montadoras%20generalistas.>>. Acesso em 15 abr. 2022.

MIRANDA, M. M. D. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 164. 2012.

MOBILITY NOW. **Após banir carros a combustão, Fernando de Noronha ganhará 12 eletropostos**. Disponível em: <<https://automotivebusiness.com.br/pt/posts/mobility-now/apos-banir-carros-a-combustao-fernando-de-noronha-ganhara-12-eletropostos/>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

MPPT SOLAR. **Ligação em série de mais painéis solares, 2015.** Disponível em: <<https://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-serie.html>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

MPPT SOLAR. **Painéis Solares: Ligação em Paralelo, 2015.** Disponível em: <<https://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-paralelo.html>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

NEOCHARGE. 2021. Disponível em: <<https://loja.neocharge.com.br/carregador-carro-eletrico-smart-wallbox-nc3000s-7-4kw-32a.html>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

NETA, R. M. D. L. **Análise dos impactos do carregamento de veículos elétricos na qualidade de energia em redes de distribuição.** Recife: [s.n.], 2014.

NISSAN. **Novo Nissan Leaf, autonomia e recarga.** Nissan, 2021. Disponível em: <<https://www.nissan.com.br/veiculos/modelos/leaf/conheca/autonomia-recarga.html>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

NTU. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. **Pesquisa mobilidade da população urbana 2017.** Confederação Nacional do Transporte. Brasília: CNT: NTU, 96 p. 2017.

OLIVEIRA, Tião. **Elétrico BMW i3 Full tem a autonomia ampliada e preço de carro de luxo.** Estadão, 2019. Disponível em: <<https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/eletrico-bmw-i3-full-teste/#:~:text=A%20novidade%20do%20hatch%20%C3%A9,e%20285%20km%20no%20WLTP.>>>. Acesso em: 15 jan. 2022.

PARANÁ, A. de Notícias do. **Eletrovia Copel completa um ano com mais de 300 recargas.** 2019. Disponível em: <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Eletrovia-Copel-completa-um-ano-com-mais-de-300-recargas>>. Acesso em: 06 dez. 2021.

PAULO, C. de S. **Devolução do IPVA para veículos elétricos.** 2019. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/inspecao_veicularold/index.php?p=246711_>. Acesso em: 25 dez. 2021.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar.** INPE, 2006. Disponível em: <ftp.cptec.inpe.br/T1\guilsingrightlabren\T1\guilsingrightpubl\T1\guilsingrightlivros\T1\guilsingrightbrazil_solar_atlas_R1>. Acesso em: 25 dez. 2021.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel- Cresesb, 2014.

PORTAL SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

QUARTZ. **Researchers have no idea when electric cars are going to take over.** 2019. Disponível em: <<https://qz.com/1620614/electric-car-forecasts-are-all-over-the-map/>>. Acesso em: 06 dez. 2021.

QUINTANILHA, Sergio. **Avaliação: Fiat 500e é um elétrico realmente econômico.** Terra, 2021. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/parceiros/guia-do-carro/avaliacao-fiat-500e-e-um-eletrico-realmente-economico,0a884cdbac68e2705de219c9fb99fedf34f1711.html#:~:text=A%20bateria%20tem%20capacidade%20de,est%C3%A1%20homologado%20para%20320%20km.>>. Acesso em: 15, jan. 2022.

RENAULT, 2019. **Brasília recebe projeto de carsharing com 16 renault twizy.** Disponível em: <<https://imprensa.renault.com.br/release/item/brasilia-recebe-projeto-de-carsharing-com-16-renault-twizy/pt>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

SAMPAIO, Emanuelle. **Metodologia e estudo de viabilidade de implantação de uma mini usina de microgeração fotovoltaica em um consumidor grupo A no interior do Piauí.** Orientador: Rômulo Nunes de Carvalho Almeida. 2021. 86 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2021.

SAUSEN, J. P. **Análise do carregamento de veículos elétricos na curva de carga do transformador de distribuição.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria- UFSM. Santa Maria, 2017.

SCA, boletim. **Revolução do carro elétrico já é realidade.** Disponível em: <<https://www.udop.com.br/noticia/2021/10/05/revolucao-do-carro-eletrico-ja-e-realidade.html>>. Acesso em: 06 dez. 2021.

SENADO, A. **Carro elétrico ainda espera incentivos para crescer no Brasil.** 2019. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/especial-cidadania/carro-eletrico-ainda-espera-incentivos-para-crescer-no-brasil>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

SENADO, A. **Projeto de Lei do Senado n 304, de 2017.** 2019. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/130612>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

SENADO, A. **Projeto de Lei do Senado n 454, de 2017.** 2019. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/131656>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

SOLAR ENERGY. **Estacionamento Solar.** Solar Energy do Brasil. Disponível em: <http://solarenergy.com.br/2015/08/tenha-seu-proprio-estacionamento-solar-e-economizeenergia/>. Acesso em: nov. 2021.

STARTSE. **Volkswagen lança WeShare, serviço de compartilhamento de carros elétricos.** 2019. Disponível em: <<https://www.startse.com/noticia/nova-economia/66158/volkswagen-we-share-compartilhamento-carros-eletricos>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

TECNOBLOG. **Todos os carros da Mercedes-Benz terão versões elétricas até 2022.** 2017. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/223141/mercedes-benz-tudo-eletrico-2022/>>. Acesso em: 11 dez. 2021.

TECNOBLOG. **Volvo lançará apenas carros elétricos e híbridos a partir de 2019**. 2018. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/218266/volvo-carros-eletricos-hibridos-2019/>>. Acesso em: 11 dez. 2021.

Tolmasquim, Mauricio Tiomno Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016 452p.

UOL. **BMW anuncia eletrovia RJ-SP na próxima semana: "Maior da América Latina"**. 2018. Disponível em: <[mhttps://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2018/07/13/bmw-anuncia-eletrovia-rj-sp-na-proxima-semana-maior-da-america-latina.htm](https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2018/07/13/bmw-anuncia-eletrovia-rj-sp-na-proxima-semana-maior-da-america-latina.htm)>. Acesso em: 05 jan. 2022.

UOL. **Uruguai, o campeão de eletrovias na América do Sul**. 2018. Disponível em: <<https://uolcarros.blogosfera.uol.com.br/2018/07/14/uruguai-o-campeao-de-eletrovias-na-america-do-sul/>>. Acesso em: 07 jan. 2022.

VASCONCELOS, Yuri. **A ascensão dos elétricos**. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/a-ascensao-dos-eletricos/>>. Acesso em: 06 dez. 2021.

VEÍCULO ELÉTRICO, BLOG. **Opel lança carro elétrico Ampel**. 2011. Disponível em: <<https://veiculoeltrico.blog.br/2011/07/opel-lanca-carro-eletrico-ampera.html>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

VOLKSWAGEN, 2019. **Volkswagen lança programa “We Share” de compartilhamento de carros elétricos em Berlim**. Disponível em: <<https://www.vwnews.com.br/news/14>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

WEBMOTORS. **França quer proibir os carros a combustão até 2040**. 2019. Disponível em: <<https://www.webmotors.com.br/wm1/noticias/franca-quer-proibir-carros-acombustao-ate-2040>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

YONG, J. Y.; RAMACHANDARAMURTHYAM V. K.; TANA, K. M.; MITHULANANTHAN, N. **A review on the state-of-the-art Technologies of electric vehicle, its impacts and prospects**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 49: 365-385. 2015.

ANEXOS

ANEXO A – MÓDULO E SUAS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

SUNOVA SOLAR
Leading one stop PV Supplier

HI-MiLO
490-505W
High Efficiency Half-Cell Mono PERC Module

Excellent low irradiance performance.

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

Fonte: Sunova Solar (2022).

132 cells

ELECTRIC CHARACTERISTICS

Model of modules	SS-490-66MDH SS-490-66MTF		SS-495-66MDH SS-495-66MTF		SS-500-66MDH SS-500-66MTF		SS-505-66MDH SS-505-66MTF	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum power – P_{mp} (W)	490	365	495	369	500	373	505	376
Open-circuit voltage – V_{oc} (V)	45.25	42.54	45.34	42.61	45.43	42.71	45.54	42.79
Short-circuit current – I_{sc} (A)	13.71	11.11	13.78	11.17	13.85	11.24	13.95	11.31
Maximum power voltage – V_{mp} (V)	37.27	34.66	37.34	34.72	37.41	34.79	37.53	34.86
Maximum power current – I_{mp} (A)	13.15	10.54	13.26	10.63	13.37	10.73	13.46	10.79
Module efficiency – η_m (%)	20.6%		20.8%		21.1%		21.3%	
Power tolerance (W)	(0,+5)							
Maximum system voltage (V)	1500							
Maximum rated fuse current (A)	25							
Current operating temperature (°C)	-40~+85°C							

STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25 °C, Spectra at AM1.5

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/s

STRUCTURAL CHARACTERISTICS

Module dimensions (L*W*H)	2094 x 1134 x 35 mm
Weight	26.3 kg
Number of cells	132 cells
Cell	PERC Monocrystalline 182x91 mm
Glass	Tempered, 3.2 mm AR, High transmittance, Low iron
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP68
Output wire	4.0 mm ² , wire length: 300 mm or Customized Length
Connector	MC4 Compatible
Mechanical load	Snow load: 5400 Pa / Wind load: 2400 Pa

TEMPERFORMANCE RATINGS

Temperature coefficient (P_{mp})	-0.35 %/°C
Temperature coefficient (V_{oc})	-0.28 %/°C
Temperature coefficient (I_{sc})	+0.045 %/°C
Nominal operating cell temperature	45±2 °C

PACKAGING CONFIGURATION

Container	40HQ
Quantity/pallet	31
Pallets/container	22
Quantity/container	682

Fonte: Sunova Solar (2022).

ANEXO B – DATASHEET INVERSOR 50KW GROWATT



Fonte: Growatt (2022).

Ficha de dados	MAC 50KTL3-X LV	MAC 50KTL3-X MV	MAC 60KTL3-X LV	MAC 60KTL3-X MV	MAC 70KTL3-X MV
Dados de entrada					
Máx. potência CC	75000W	75000W	90000W	99000W	105000W
Máxima tensão de CC			1100V		
Tensão de partida			250V		
Tensão nominal	600V	700V	600V	700V	700V
Faixa de tensão FV			200V-1000V		
Tensão CC de carga total	600V-850V	650V-850V	600V-850V	650V-850V	650V-850V
Máx. corrente de entrada por MPPT	50A/37,5A/37,5A	50A/37,5A/37,5A	50A/50A/50A	50A/50A/50A	50A/50A/50A
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	3/4 + 3+3	3/4 + 3+3	3/4 + 4+4	3/4 + 4+4	3/4 + 4+4
Dados de saída (CA)					
Potência nominal de saída CA	50000W	50000W	60000W	60000W	70000W
Potência aparente máxima de CA	55500VA	55500VA	66600VA	66600VA	77700VA
Tensão nominal de saída	220V/380V	277V/480V	220V/380V	277V/480V	277V/480V
Frequência de rede CA			50/60 Hz		
Corrente máxima de saída	80,5A	66,9A	96,6A	80,2A	93,6A
Fator de potência			0,8+0,8c		
THDI			< 3%		
Tipo de conexão da rede CA	3W+N+PE	3W+PE	3W+N+PE	3W+PE	3W+PE
Eficiência					
Máxima eficiência			98,8%		
Eficiência europeia			98,5%		
Eficiência MPPT			99,9%		

Fonte: Growatt (2022).

ANEXO C – DATASHEET INVERSOR 40KW GROWATT



Growatt 30000TL3-S/33000TL3-S/ 40000TL3-NS/50000TL3-S

Leading - edge Technology

- ▶ Maximum efficiency of 99%
- ▶ Multi MPP controller and MTL string
- ▶ 8 strings intelligent monitoring and Fuse protection
- ▶ Leading IPM (Intelligent Power Module), more reliable
- ▶ Internal DC switch and Transformerless
- ▶ Type II surge arresters for both DC and AC
- ▶ Anti-PID for PV module
- ▶ Optional AFCI function
- ▶ Supporting AC power supply
- ▶ Compact design and easy installation
- ▶ Comprehensive warranty program



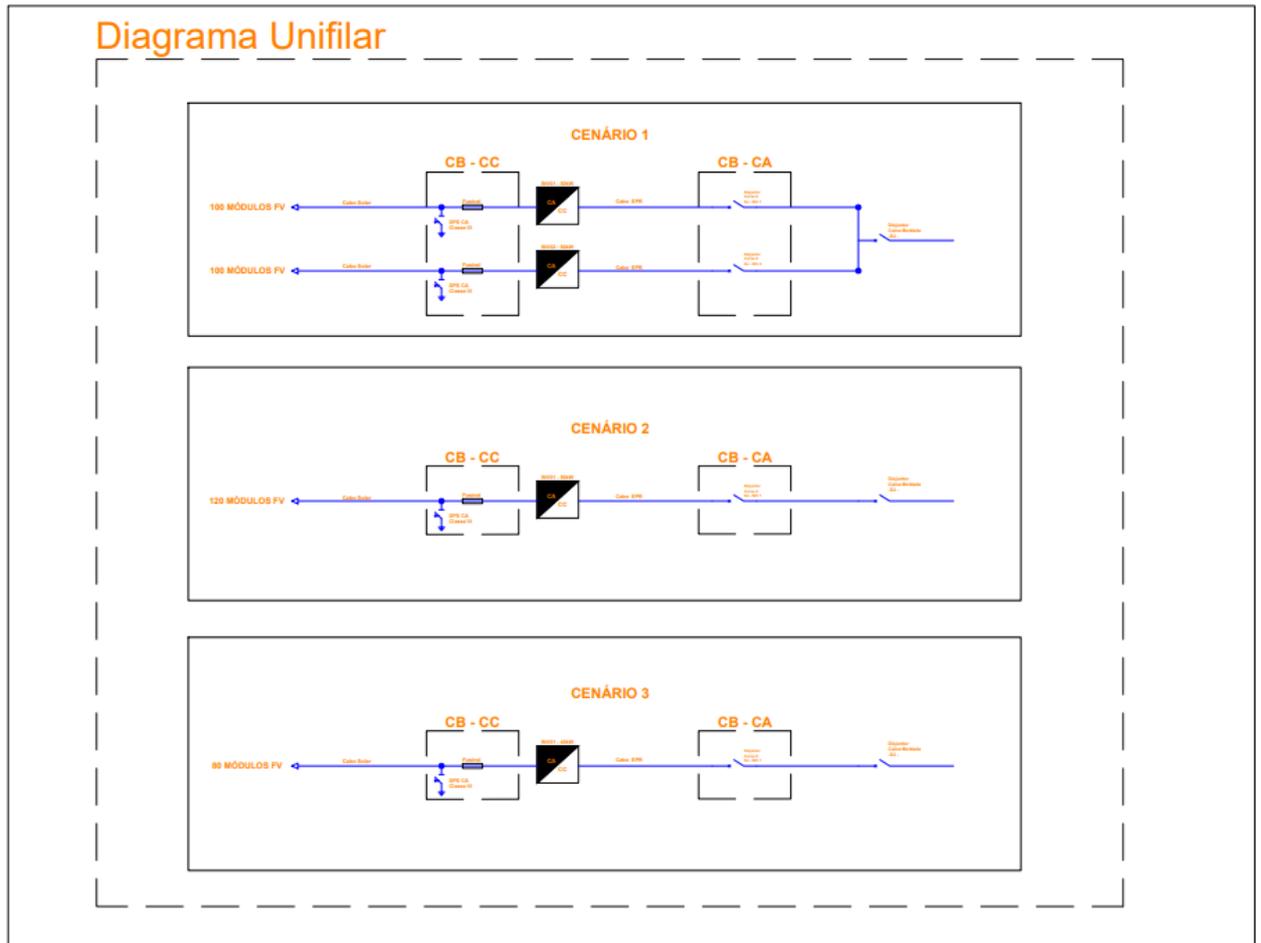
Fonte: Growatt (2022).



Datasheet	Growatt 30000TL3-S	Growatt 33000TL3-S	Growatt 40000TL3-NS	Growatt 50000TL3-S
Input Data				
Max recommended PV Power (for module STC)	37500W	41250W	50000W	60000W
Max DC voltage	1000V	1000V	1000V	1000V
Start Voltage	250V	250V	250V	250V
PV voltage range	200V - 1000V	200V - 1000V	200V - 1000V	200V - 1000V
Nominal voltage	580V	580V	580V	695V
Full load MPP voltage range	450V - 800V	450V - 800V	540V - 800V	645V - 850V
Max. input current	34A/34A	38A / 38A	38A / 38A	38A / 38A
Max. input current per string	12A	12A	12A	12A
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	2/4	2/4	2/4	2/4
Output (AC)				
Rated AC output power	30kW	33kW	40kW	48kW
Max. AC apparent power	33.3kVA	36.6kVA	44.4kVA	53.3kVA
Max. output current	48.3A	53A	64.5A	64.5A
AC nominal voltage	230V/400V	230V/400V	230V/400V	277V/480V
AC grid frequency	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz
Power factor	0.8 leading - 0.8 lagging			
THDi	<3%	<3%	<3%	<3%
AC grid connection type	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE/3W+PE
Efficiency				
Max. efficiency	98.9%	98.9%	99%	99%
Euro - eta	98.4%	98.4%	98.5%	98.5%
MPPT efficiency	99.5%	99.5%	99.5%	99.5%

Fonte: Growatt (2022).

ANEXO D – DIAGRAMA UNIFILAR



Fonte: Autoria Própria (2022).