



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LUCAS DE CASTRO PEREIRA

**ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO PARA CARROS ELÉTRICOS ALIMENTADAS
POR USINAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

FORTALEZA

2019

LUCAS DE CASTRO PEREIRA

ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO PARA CARROS ELÉTRICOS ALIMENTADAS POR
USINAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho

Coorientador: Eng. Breno Bezerra Freitas

FORTALEZA

2019

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)

P492e Pereira, Lucas de Castro.
ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO PARA CARROS ELÉTRICOS ALIMENTADAS POR USINAS DE
MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA / Lucas de Castro Pereira. – 2019.
71 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.
Coorientação: Prof. Eng. Breno Bezerra Freitas.

1. Geração fotovoltaica. 2. Estações de carregamento. 3. Veículos elétricos. 4. Eletrovias. I. Título.
CDD 621.3

LUCAS DE CASTRO PEREIRA

ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO PARA CARROS ELÉTRICOS ALIMENTADAS POR
USINAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de
Carvalho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Breno Bezerra Freitas (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Raphael Amaral da Camara
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha mãe, Rosa Célia.

Ao meu pai, Francisco.

Ao meu irmão, David.

À minha família.

À todos aqueles que fizeram a diferença na minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Rosa Célia, meu pai, Francisco, e meu irmão, David, por serem minha base e meu alicerce para enfrentar todos os desafios que a vida apresenta.

Ao meu tio Itamar, por sempre ter sido uma referência de quem eu gostaria de me tornar quando adulto.

Aos meus irmãos, sobrinhos, primos, primas, tios, tias avôs e avós, por terem participado da minha formação como ser humano. Àqueles que já partiram, desejo que estejam em um lugar melhor, descansando em paz.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho, por me orientar neste trabalho de maneira tão dedicada e paciente.

Ao coorientador e amigo, Eng. Breno Bezerra Freitas, que sempre me ajudou não apenas durante o presente trabalho, mas também ao longo da graduação.

Ao membro da banca, Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara, pelas várias contribuições, sugestões e críticas construtivas referentes ao presente trabalho.

Aos colegas de curso que atravessaram a jornada da graduação comigo, seja por menor ou maior parte dela, com os quais estive tanto nos períodos difíceis – mas que tanto contribuíram para o nosso amadurecimento – quanto nos momentos bons, de longas conversas e boas risadas. Em especial, agradeço aos membros do grupo "High Voltage", com os quais estive durante maior parte dos anos da graduação.

Aos amigos que fiz ao longo da vida, seja dos colégios pelos quais passei, dos que eu conheci através de outras pessoas e dos que encontrei por aí, mas que mesmo seguindo jornadas diferentes da minha, nunca deixaram a distância e o tempo esfriarem a amizade, tornando especiais todos os momentos em que estivemos juntos e que sempre me apoiaram quando precisei. Em particular, agradeço às pessoas que fizeram meu ano 2019 ser bem melhor: Delziane, Ednara, Gisela, Marília e Monalisa.

Às pessoas que foram importantes para mim durante algum período da minha trajetória, mas que a vida nos colocou em caminhos diferentes.

Ao Movimento Empresa Júnior, por ter me proporcionado momentos, experiências e conhecimentos tão ricos e que tanto me fizeram amadurecer nos âmbitos pessoal e profissional. Em particular, agradeço aos amigos que estiveram comigo durante minha passagem pela empresa júnior do curso de engenharia elétrica da UFC, a Tecsys Jr, especialmente Davi, Élcio, Gabriel, Mayane, Melissa, Sabrina e Valdery.

À equipe do setor de Operação e Manutenção Metropolitana da Enel Distribuição Ceará, com a qual estive o período de estágio em que tanto cresci e amadureci. Em especial, agradeço aos amigos Ariany, Íris, Jerry, Letícia, Maísa e Mateus, além dos gestores Alan, Lidiane, Rodrigo e Valdeilson.

Aos professores que proporcionaram seu tempo e dedicação para transmitir seus conhecimentos e estimular minha visão crítica. Em especial, agradeço aos professores Dr. Abraão Freires Saraiva Júnior, Dr. Bruno de Athayde Prata, M.Sc. Carlos Gustavo Castelo Branco, Ph.D. Fernando Luiz Marcelo Antunes e Dr^a. Laurinda Lúcia Nogueira dos Reis.

Ao Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira, por me apresentar a plataforma *ShareLaTeX*, e ao aluno de graduação em engenharia elétrica e amigo, Claudivan Domingos de Freitas, por me motivar a produzir esse trabalho na usando o \LaTeX através da plataforma *OverLeaf*.

Ao Doutorando em Engenharia Elétrica, Ednardo Moreira Rodrigues, a seu assistente, Alan Batista de Oliveira, aluno de graduação em Engenharia Elétrica, os membros da Biblioteca do Centro de Tecnologia e a todos os demais envolvidos na adequação do *template* utilizado neste trabalho para que o mesmo ficasse de acordo com as normas da biblioteca da Universidade Federal do Ceará (UFC).

“O sonho é que leva a gente para frente. Se a gente for seguir a razão, fica aquietado, acomodado.”

(Ariano Suassuna)

RESUMO

O setor de transportes é um dos maiores responsáveis pela emissão de poluentes à atmosfera. Sendo assim, os veículos elétricos (VEs) surgem como uma alternativa limpa para a mobilidade, desde que a energia utilizada para abastecer esse tipo de veículo tenha uma fonte também não poluente. Aliado ao fato da qualidade da infraestrutura ser um dos fatores mais relevantes para a popularização dos VEs, o presente trabalho apresenta o projeto de Estações de Carregamento (ECs) para VEs alimentados por usinas de microgeração fotovoltaica (FV) para estradas no Ceará. Os capítulos iniciais abordam a geração FV no Brasil e no Ceará – e caracterizam os VEs sob perspectivas históricas e mercadológicas. Além disso, são analisadas diversas projeções que tratam de como os VEs podem se estabelecer nas próximas décadas. Sob critérios de quantidade de recargas possíveis de serem realizadas, foram definidas as potências instaladas das ECs – 50, 62,5 e 75 kWp, que são capazes de atender, diariamente, 5, 7 e 8 VEs em um cenário em que cargas completas – de 0 a 100% – são realizadas, chamado de C1, e que oferecem uma autonomia para os VEs de 300 km. No cenário em que apenas cargas de 20% são realizadas, chamado de C2, é possível realizar 27, 34 e 40 recargas, respectivamente. Também foi analisado o uso das ECs nas rodovias cearenses que ligam Fortaleza a destinos turísticos para a formação de eletrovias, bem como em alguns itinerários dentro e fora da capital cearense.

Palavras-chave: Geração fotovoltaica. Estações de carregamento. Veículos elétricos. Eletrovias.

ABSTRACT

The transport sector is one of the biggest responsible for the emission of pollutants to the atmosphere. Thus, electric vehicles (EVs) appear as a clean alternative to mobility, provided that the energy used to fuel this type of vehicle has a non-polluting source as well. Combined with the fact that the quality of the infrastructure is one of the most relevant factors for the popularization of EVs, this paper presents the project of Charging Stations (CSs) for EVs powered by photovoltaic (PV) microgeneration plants for roads in Ceará. The opening chapters deal with PV generation in Brazil and Ceará - and characterize EVs from historical and market perspectives. In addition, several projections are analyzed that deal with how EVs can be established in the coming decades. According to the number of recharges possible, the installed powers of the CSs - 50, 62.5 and 75 kWp were defined, which are capable of meeting daily 5, 7 and 8 EVs in a scenario where full loads - from 0 to 100 % - are realized, called C1, and that offer a range for EVs of 300 km. In the scenario where only 20% loads are performed, called C2, it is possible to perform 27, 34 and 40 reloads, respectively. It was also analyzed the use of the CSs in Ceará highways that connect Fortaleza to tourist destinations for the formation of electrified roads, as well as in some itineraries within and from the capital of Ceará.

Keywords: Photovoltaic generation. Charging stations. Electric vehicles. Electrified roads.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Emissões totais em Mt CO ₂ no ano de 2018.	17
Figura 2 – Consumo de energia nos transportes no ano de 2018.	18
Figura 3 – Irradiância solar no Ceará, no ano de 2008.	22
Figura 4 – Matriz energética do Ceará no ano de 2018.	23
Figura 5 – Ilustração do primeiro veículo elétrico, criado por Gustave Trouvé	25
Figura 6 – Número de emplacamentos e frotas percentuais anuais de carros elétricos no Brasil e em outros países até 2017	28
Figura 7 – Metas de oferta de VEs pelas montadoras para os próximos anos (Adaptado)	30
Figura 8 – Perspectivas de banimento de carros à combustão pelo mundo	32
Figura 9 – Nissan Leaf em exposição.	36
Figura 10 – Renault Zoe em exposição.	37
Figura 11 – Chevrolet Bolt em exposição.	38
Figura 12 – Uma das estações do VAMO, em Fortaleza	39
Figura 13 – Veículo modelo Renault Twizy, caracterizado como um dos automóveis do VEM DF	40
Figura 14 – Um dos eletropostos da eletrovia da Copel, no Paraná	42
Figura 15 – Mapa de cobertura dos eletropostos que a EDP pretende ter até 2022	42
Figura 16 – Ponto de recarga da Incharge em Holambra (SP)	43
Figura 17 – Ponto de recarga do sistema Save, no Uruguai	44
Figura 18 – Representação da estrutura das ECs	45
Figura 19 – Mapa com o trajeto Fortaleza - Canoa Quebrada.	59
Figura 20 – Mapa com o trajeto Fortaleza - Jericoacoara.	59
Figura 21 – Mapa com o trajeto Fortaleza - Sobral.	60
Figura 22 – Zonas de atendimentos das ECs com e sem sobreposição no C1.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre os tipos de veículos elétricos e à combustão	24
Tabela 2 – Valores de FC medidos pelo LEA	46
Tabela 3 – Valores de FC medidos pelo LEA	47
Tabela 4 – Capacidade de recarga para ECs de diferentes potências instaladas.	48
Tabela 5 – Especificações do modulo MaxPower CS6U-330	48
Tabela 6 – Número de módulos por tipo de EC	49
Tabela 7 – Potência instalada e EGD das ECs.	49
Tabela 8 – Capacidade de atendimento efetiva das ECs.	50
Tabela 9 – Especificações da EC EVlink Parking EVF2S22P02	50
Tabela 10 – Especificações do controlador modelo Tracer10420AN.	51
Tabela 11 – Quantidade de controladores em cada EC.	52
Tabela 12 – Tempo de carregamento das ECs em diferentes cenários.	52
Tabela 13 – Especificações da bateria UP12200.	53
Tabela 14 – Capacidade do banco e número de baterias de cada EC.	53
Tabela 15 – Especificações do Inversor String SIW500H - ST022.	54
Tabela 16 – Quantidade de inversores por EC.	55
Tabela 17 – Áreas ocupadas pelos módulos em cada tipo de EC	56
Tabela 18 – Áreas ocupadas pelas ECs	56
Tabela 19 – Estimativas dos custos de implementação de cada EC	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
C10	Descarga Contínua de 10h
C20	Descarga Contínua de 20h
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
Copel	Companhia Paranaense de Energia
EC1	Estações de Carregamento Tipo 1
EC2	Estações de Carregamento Tipo 2
EC3	Estações de Carregamento Tipo 3
ECs	Estações de Carregamento
EDP	Energia de Portugal
EGD	Energia Gerada por Dia
FC	Fator de Capacidade
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
FV	Fotovoltaica
GDF	Governo do Distrito Federal
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i>
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
LEA-UFC	Laboratório de Energias Alternativas da UFC
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PTI	Parque Tecnológico de Itaipu
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
Save	<i>Sistema de Alimentación de Vehículos Eléctricos</i>
VEs	Veículos Elétricos

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>TW</i>	Terawatts
<i>kWh</i>	Kilowatt-Hora
<i>m</i>	Metro
<i>m²</i>	Metro quadrado
<i>Mt</i>	Milhões de toneladas
<i>CO₂</i>	Dióxido de carbono
<i>%</i>	Porcentagem
<i>R\$</i>	Real
<i>3F</i>	Trifásico
<i>N</i>	Neutro
<i>PE</i>	Proteção
<i>Hz</i>	Hertz
<i>V</i>	Volts
<i>A</i>	Ampères
<i>MW</i>	Megawatts
<i>t</i>	Tempo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	16
1.2	Justificativa	17
1.3	Estrutura do texto	18
2	CARACTERIZAÇÃO E PANORAMA GERAL	19
2.1	Geração fotovoltaica	19
2.2	Características do local de projeto	21
2.2.1	<i>Aspectos geográficos</i>	21
2.2.2	<i>Matriz energética</i>	21
2.3	Carros elétricos	22
2.3.1	<i>Tipos de veículos elétricos</i>	23
2.3.2	<i>História dos Veículos Elétricos</i>	24
2.3.2.1	<i>Os primeiros anos (1880-1929)</i>	24
2.3.2.2	<i>Anos intermediários (1930-1989)</i>	26
2.3.2.3	<i>Anos recentes (1990-Atualmente)</i>	26
2.3.3	<i>Frota e volume de vendas de veículos elétricos</i>	27
2.3.3.1	<i>Cenário atual</i>	27
2.3.3.2	<i>Projeções para o futuro</i>	29
2.3.4	<i>Cenário mercadológico</i>	29
2.3.5	<i>Políticas públicas de incentivo à utilização de veículos elétricos</i>	31
2.3.5.1	<i>Europa</i>	32
2.3.5.2	<i>Ásia</i>	33
2.3.5.3	<i>Chile</i>	33
2.3.5.4	<i>Brasil</i>	33
2.4	Eletrovias	35
3	ESTADO DA ARTE	36
3.1	Veículos elétricos estabelecidos no mercado	36
3.1.1	<i>Nissan Leaf</i>	36
3.1.2	<i>Renault Zoe</i>	37
3.1.3	<i>Chevrolet Bolt</i>	37

3.1.4	<i>JAQ iEV20</i>	37
3.2	Conversão de carros à combustão em elétricos	38
3.3	Programas de carros compartilhados	38
3.3.1	<i>Programa VAMO</i>	38
3.3.2	<i>Programa VEM DF (Veículo para Eletromobilidade)</i>	39
3.3.3	<i>Programa WeShare</i>	40
3.3.4	<i>Startup BeepBeep</i>	40
3.4	Eletificação de vias públicas	41
3.4.1	<i>Eletrovia da Copel</i>	41
3.4.2	<i>Eletrovia RJ-SP e o projeto de eletrificação da região sudoeste</i>	41
3.4.3	<i>Pontos de recarga da Incharge</i>	43
3.4.4	<i>Eletrovias do Uruguai</i>	43
4	METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO	45
4.1	Introdução	45
4.2	Potência instalada de cada tipo de EC	46
4.3	Dimensionamento fotovoltaico	48
4.3.1	<i>Capacidade de atendimento das ECs</i>	49
4.3.2	<i>Dimensionamento do carregador</i>	50
4.4	Dimensionamento do controlador	51
4.5	Dimensionamento das baterias	52
4.6	Dimensionamento dos inversores	54
4.7	Dimensionamento arquitetônico	55
4.8	Dimensionamento arquitetônico	56
4.9	Estimativa do custo de implementação das ECs	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
6	CONCLUSÕES	62
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

O progresso e a evolução da sociedade, de suas tecnologias e de toda sua dinâmica se liga intimamente com a energia. Ao longo de nossa história como espécie, houveram vários pontos de inflexão em termos evolucionários pautados na descoberta, domínio e utilização de novas formas de energia.

Nossos ancestrais, provavelmente na era paleolítica, tiveram como grande passo a utilização do fogo, o que abriu caminho para a espécie migrar de um estilo de vida nômade para sedentário, e posteriormente permitiu o surgimento de civilizações (TUDO, 2012).

No século XVIII, a primeira revolução industrial e suas etapas subsequentes mudaram radicalmente a forma como as sociedades funcionavam, formando os primeiros grandes centros urbanos e retirando grupos de pessoas do campo e da manufatura. O protagonista deste processo histórico foi a máquina a vapor, que por sua vez só foi possível a partir da utilização de fontes de energia como o carvão. Mais tarde, essa tecnologia foi migrando para ser utilizada na geração de energia elétrica, o que configurou outro passo monumental na história das civilizações (HISTÓRIA, 2018).

Contudo, a utilização de energia proveniente de combustíveis fósseis tem cobrado seu preço, seja nos danos ao meio ambiente e na saúde pública ou na perspectiva de oferta cada vez mais reduzida, visto que tais combustíveis não são renováveis. Vale salientar que a utilização dos mesmos traz, inerentemente, a emissão de diversos poluentes à natureza e à atmosfera, contribuindo lentamente para a destruição das condições propícias para a convivência.

Sendo assim, tem sido cada vez mais discutido a forma com que se produz e se utiliza a energia.

1.1 Objetivos

O objetivo geral desse TCC é apresentar uma solução sustentável para a mobilidade, aliando a preocupação com a emissão de poluentes na atmosfera com a utilização de uma fonte de energia limpa e renovável – a Fotovoltaica (FV) – em forma do projeto de três Estações de Carregamento (ECs) para Veículos Elétricos (VEs). Como objetivos específicos, pode-se enumerá-los:

- Fazer um resumo geral da geração FV no Brasil e o seu potencial;
- Caracterizar os VEs quanto à história, aos tipos e às tecnologias;

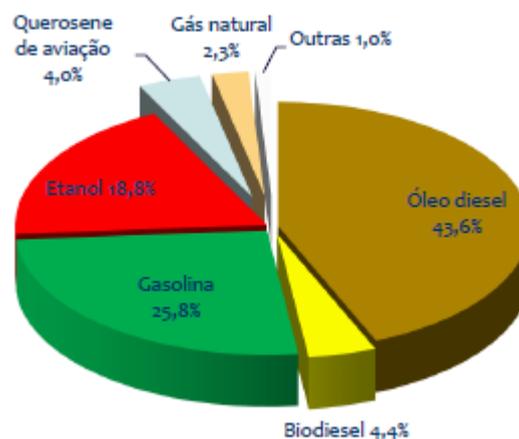
- Analisar os panoramas de utilização e de vendas de VEs no presente e as projeções para o futuro;
- Analisar como estão se comportando os poderes público e privado para se adaptarem à crescente utilização dos VEs;
- Analisar o estado da arte em VEs e suas tecnologias;
- Projetar três tipos de estações de carregamento para VEs, de diferentes potências instaladas, área e infraestrutura;
- Analisar os resultados obtidos com os projetos e analisar a capacidade de atendimento dos mesmos.

1.2 Justificativa

Segundo (European Society of Cardiology, 2019), a poluição atmosférica causou a morte de 7,2 milhões de mortes no mundo em 2015, o que representou uma taxa de 120 mortes por 100.000 habitantes. Para efeito de comparação, a mortalidade por poluição é cerca de 20 vezes maior que a taxa de homicídios no mundo no ano de 2017 (G1, 2019).

Nesse contexto, a emissão de poluentes na atmosfera possui bastante influência dos transportes. Segundo (EPE, 2019b), o setor representou 46,3% das emissões totais de CO₂ no Brasil no ano de 2018, o que representou 192,7 Mt CO₂ lançados à atmosfera. A Figura 1 mostra as emissões totais por setor.

Figura 1 – Emissões totais em Mt CO₂ no ano de 2018.

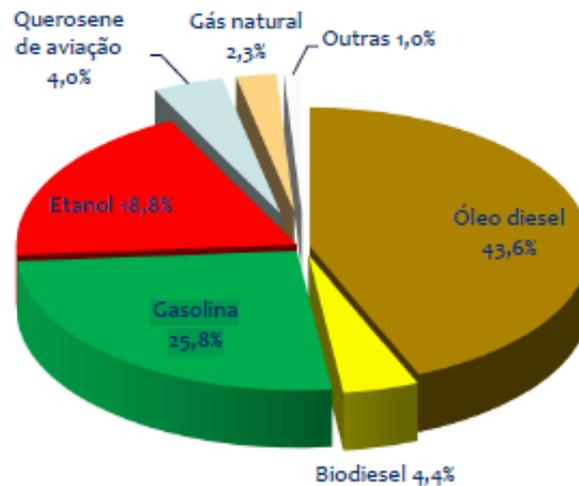


Fonte: (EPE, 2019b)

Segundo (MME, 2013), veículos "de passeio" representaram, no ano de 2012, 38% de todas as emissões de CO₂ por automóveis terrestres. Essa quantidade elevada de emissão

de poluentes nos transportes se deve à matriz energética predominantemente preenchida por combustíveis fósseis, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Consumo de energia nos transportes no ano de 2018.



Fonte: (EPE, 2019b)

Assim sendo, faz-se necessário buscar alternativas em relação ao consumo de energia, posto que o cenário atual é muito preocupante em relação às emissões de poluentes.

1.3 Estrutura do texto

De maneira a construir todos os cenários até chegar ao objetivo principal, este TCC foi dividido em capítulos. No Capítulo 2, são caracterizados e dados os panoramas dos principais temas em questão. No Capítulo 3, é exposto o estado da arte no que diz respeito a carros elétricos, programas de carros compartilhados e eletrovias. No Capítulo 4, é realizado o dimensionamento e o projeto das ECs. No Capítulo 5, são discutidos os resultados obtidos com o projeto das ECs e suas possíveis aplicações. No Capítulo 6, são discutidas as conclusões do trabalho. No Capítulo 7, são sugeridos temas para trabalhos futuros.

2 CARACTERIZAÇÃO E PANORAMA GERAL

Antes de adentrar-se mais especificamente nos temas, faz-se necessário definir, caracterizar e fazer uma revisão acerca de geração fotovoltaica, carros elétricos e eletrovias.

2.1 Geração fotovoltaica

A quantidade de energia que o Sol fornece todos os dias à Terra é suficiente para alimentar toda demanda energética diária do planeta diversas 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 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 apresenta médias anuais relativamente altas. O valor mínimo, de 4,25 kWh/m²/dia, ocorre no litoral norte do estado de Santa Catarina, enquanto o máximo, que chega a 6,5 kWh/m²/dia, acontece no 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 Européia, como Alemanha (900-1250 kWh/m²), França (900-1650 kWh/m²) e Espanha (1200-1850 kWh/m²) (PEREIRA *et al.*, 2006).

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico. O primeiro se caracteriza 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. O efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se 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).

A relação entre o potencial fotovoltaico e o consumo residencial no Brasil, para o ano de 2013, é de 230%, em que o potencial de geração fotovoltaica considerando apenas residências era de 287 TW/ano e o consumo residencial era de 124 TW/ano. Individualmente, os estados com maior relação foram o Piauí, com 366%, Alagoas, com 361% e Paraíba, com 358%. O Ceará, por sua vez, apresentava uma relação de 334% (SILVA, 2015).

Apesar de todo o potencial, o país tem ganho o devido respaldo regulatório apenas nos últimos anos. Em vista 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, finalizada em 09 de novembro de 2010, e da Audiência Pública nº 042/2011, finalizada em 14 de outubro de 2011, eventos estes que propiciaram à 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).

Como resultado desse processo, foi publicada a Resolução Normativa nº 482, de 17/04/2012, estabelecendo as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Ela visa a reduzir as barreiras regulatórias existentes para conexão de geração de pequeno porte disponível na rede de distribuição, a partir de fontes de energia incentivadas, bem como introduzir um sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*), além de estabelecer adequações necessárias nos Procedimentos de Distribuição (PRODIST). Simultaneamente, foi publicada pela ANEEL a Resolução Normativa nº 481, de 17/04/2012, pela qual ficou estipulado, para a fonte solar com potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição menor ou igual a 30 MW, o desconto de 80% (oitenta por cento) para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31/12/2017, aplicável nos 10 (dez) primeiros anos de operação da usina, nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição – TUST e TUSD, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada. Esse desconto será reduzido para 50% (cinquenta por cento) após o décimo ano de operação da usina. Os empreendimentos que entrarem em operação comercial após 31/12/2017 farão jus ao desconto de 50% (cinquenta por cento) nas referidas tarifas. Na avaliação de alguns agentes importantes de mercado, o arranjo *net metering* e as alterações propostas no PRODIST são suficientes para viabilizar, do ponto de vista regulatório, a geração distribuída em unidades consumidoras da baixa tensão, residenciais e comerciais (EPE, 2012).

Além disso, surgiram outras resoluções que trouxeram definições importantes, destacando-se a Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL (2015), a qual define 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 unidades consumidoras" e a Resolução Normativa nº 786/2017 da ANEEL (2017), que por sua vez define minigeração distribuída como "central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW 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 unidades consumidoras".

2.2 Características do local de projeto

Nessa seção, o local para onde as ECs serão projetados para atuar, o Ceará, será caracterizado quanto aos aspectos que evidenciam o seu potencial de geração FV e o tornam fértil para receber projetos como o abordado neste TCC.

2.2.1 Aspectos geográficos

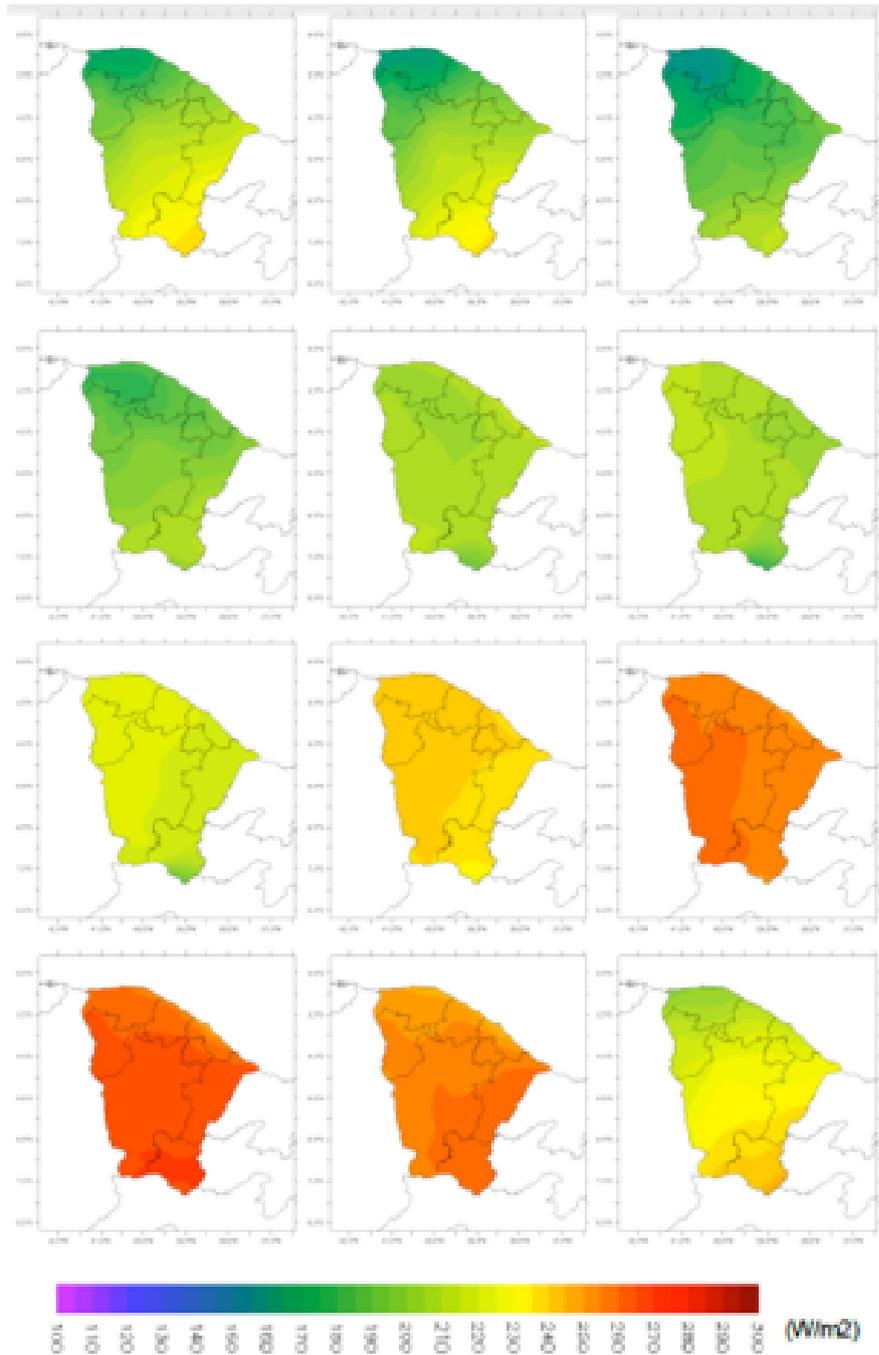
O estado do Ceará é muito propício para a operação de tecnologia de geração FV. Segundo (RIBEIRO; SILVA, 2010), a região apresenta como características um clima com temperaturas médias anuais entre 26 e 28°C, insolação superior a 3.000 horas/ano, umidade relativa em torno de 65% e precipitação pluviométrica anual abaixo de 800 mm. E, de acordo com (SILVA, 2015), o Ceará é o quinto estado do Brasil com maiores índices de irradiância solar, apresentando valores entre 200 W/m² e 300 W/m² ao longo do ano de 2008, segundo (FUNCEME, 2010). A Figura 3 apresenta os dados de irradiância solar no Ceará para o ano de 2008.

2.2.2 Matriz energética

Apesar do potencial, o Ceará possui menos de 1% de sua matriz energética composta pela fonte solar, tendo o predomínio quase absoluto da fonte térmica – altamente poluente – e da eólica. A Figura 4 mostra um gráfico representando a matriz cearense.

Ainda assim, Fortaleza é a cidade com a maior capacidade instalada do nordeste e a

Figura 3 – Irradiância solar no Ceará, no ano de 2008.



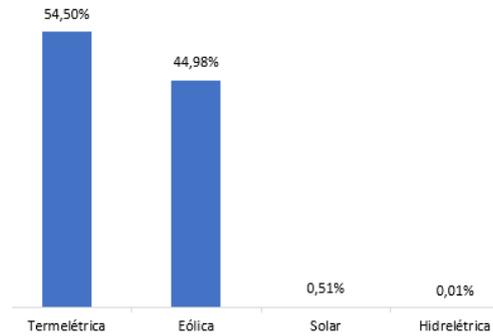
Fonte: (CAVALCANTE, 2018), utilizando dados de (FUNCEME, 2010).

sexta considerando todas as cidades do Brasil, com 8,1 MW. O Ceará, por sua vez, é o oitavo no ranking dos estados com maior capacidade instalada – 22,9 MW (OPOVO, 2019).

2.3 Carros elétricos

Um VE é aquele que é tracionado – movido – por pelo menos um motor elétrico, e são classificados conforme alguns tipos (ELÉTRICA, 2018), descritos na seção seguinte.

Figura 4 – Matriz energética do Ceará no ano de 2018.



Fonte: (EPE, 2019a).

2.3.1 Tipos de veículos elétricos

O primeiro tipo de VE é o *Battery Electric Vehicle* (BEV), que não usa outro combustível além da energia elétrica das baterias. Estes automóveis são os mais caros do mercado, principalmente por dependerem de baterias de alta capacidade. No entanto, os veículos tipo BEV possuem manutenção mais barata quando comparados aos veículos à combustão, além de emitirem nenhum tipo de poluente à atmosfera. O custo com esse tipo de veículo impede que ele tenha uma maior presença no mercado, o que abre caminho para outros tipos de VEs (ELÉTRICA, 2018). Os BEVs possuem a desvantagem de possuírem uma autonomia inferior a de veículos à combustão e a dos híbridos.

Outro tipo é o *Hybrid Electric Vehicle* (HEV), que possui dois motores, um à combustão e outro elétrico, sendo abastecido exclusivamente via combustível e possui um conjunto de baterias, que são carregadas apenas pelo próprio motor à combustão ou pela frenagem do veículo (freio regenerativo). O motor elétrico é acionado para tornar o carro mais eficiente ou para aumentar o torque do mesmo, dependendo do modelo e da proposta da fabricante. Os veículos tipo HEV têm autonomia maior que os BEVs e consomem menos combustível que os carros à combustão. Em contrapartida, os custos com manutenção são mais elevados, visto que sua mecânica é composta por uma parte à combustão e por outra elétrica, que inclui a necessidade de trocar o conjunto de baterias a cada certo período (ELÉTRICA, 2018).

O terceiro tipo de veículo elétrico é o *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV), bastante similar ao HEV, mas com a diferença de poder ser abastecido diretamente com energia elétrica, combinação que permite o usuário usar o tanque de combustível para trajetos mais longos e a eletricidade nos trajetos mais curtos e repetitivos (trajetos urbanos envolvendo casa, trabalho e etc.). Esse tipo de veículo tem como característica a maior economia de combustível

por distância percorrida por demandar bem menos do motor à combustão, o que torna, também, os custos com manutenção mais baratos (ELÉTRICA, 2018).

Há, também, uma sigla para caracterizar os veículos à combustão, *Internal Combustion Engine* (ICE).

Na Tabela 1 consta um comparativo entre os veículos à combustão e os três tipos principais de VEs.

Tabela 1 – Comparativo entre os tipos de veículos elétricos e à combustão

SIGLA	ICE	BEV	HEV	PHEV
MOTOR	COMBUSTÃO	ELÉTRICO	COMBUSTÃO + ELÉTRICO	COMBUSTÃO + ELÉTRICO
BATERIAS	–	MUITAS	SIM, CAPACIDADE MENOR	SIM, CAPACIDADE MENOR
PREÇO POR KM	ALTO	MUITO BAIXO	BAIXO	BAIXO
ABASTECIMENTO	COMBUSTÍVEL	CARREGADOR	COMBUSTÍVEL	COMBUSTÍVEL + CARREGADOR
CUSTO DE MANUTENÇÃO	MÉDIO	MUITO BAIXO	MUITO ALTO	ALTO
TEMPO DE ABASTECIMENTO	MINUTOS	3 A 10 HORAS	MINUTOS	1 A 3 HORAS
EMITE GASES ?	SIM	NÃO	SIM	SIM
EXIGE TROCA DE ÓLEO ?	SIM	NÃO	SIM	SIM

Fonte: Adaptado de (ELÉTRICA, 2018)

A eficiência energética de cada veículo depende do seu tipo e do seu grau de eletrificação. Os BEVs são os mais eficientes por serem totalmente eletrificados, variando entre 90 e 100%. Depois vem o PHEV, que utiliza o motor elétrico com maior frequência do que o HEV, que vem em seguida. A eficiência dos híbridos varia de 40 a 50%, bem superiores aos 25%, em média, dos ICE. Em termos de redução do consumo de combustível, os HEVs apresentam uma economia de 25 a 40%, enquanto os PHEVs chegam de 40 a 65%. (CPQD, 2015).

2.3.2 História dos Veículos Elétricos

A história dos VEs pode ser dividida em três partes (ANDERSON; ANDERSON, 2015), nos quais a intensidade do desenvolvimento dessa tecnologia se dá de maneiras bem distintas.

2.3.2.1 Os primeiros anos (1880-1929)

Os primeiros registros de VEs datam de meados do século XIX, intimamente ligados à história das baterias elétricas. Alessandro Volta, em 1800, demonstrou a possibilidade de armazenar quimicamente a energia elétrica, enquanto Michael Faraday, 21 anos depois, demonstrou os princípios de funcionamento do motor elétrico a partir dos trabalhos de Volta. Em 1859, Gaston Planté formulou a bateria de chumbo-ácido e, poucos anos depois, em 1861, Antonio Pacinotti

inventou o dínamo – gerador elétrico de corrente contínua. Todas essas invenções serviram de base para Gustave Trouvé, em 1881, criar o primeiro VE: um triciclo, alimentado por baterias de chumbo, representado na Figura 5. Ao longo do fim do século XIX, há vários registros de outros veículos similares – geralmente triciclos –, principalmente nos Estados Unidos e no Reino Unido (HOYER, 2008).

Figura 5 – Ilustração do primeiro veículo elétrico, criado por Gustave Trouvé



Fonte: (CONNECXION, 2017)

O período entre 1895 e 1905 foi o mais intenso em termos de desenvolvimento tecnológico e de popularização dos VEs (HOYER, 2008). Eles ficaram bastante populares durante essa "Era de Ouro", porque os maiores concorrentes, os carros à combustão e à vapor, eram muito difíceis de utilizar (a passagem de marchas não era suave, demandava muita força do usuário) e de dar partida (alguns veículos da época eram dados a ignição a partir de uma manivela operada pelo usuário (HOYER, 2008)). Além disso, os VEs eram mais limpos, silenciosos e pouco vibravam (ANDERSON; ANDERSON, 2015), mas possuíam as desvantagens de preço, por serem bem mais caros que os concorrentes, e de autonomia, por conseguirem percorrer apenas pequenas distâncias.

As grandes cidades do mundo detinham frotas consideráveis de carros elétricos. A cidade de Nova York, por exemplo, possuía 20% de seus automóveis sendo elétricos em 1903,

além de ter uma frota pública de táxis alimentados por energia elétrica (HOYER, 2008).

No entanto, o mercado automobilístico mudou drasticamente a partir da década de 1910 com o Fordismo e seu sistema de produção em série, que reduziu os preços de carros à gasolina para, em média, metade do pago pelos VEs. Além disso, os veículos à combustão se tornaram bastante atraentes para o público com a invenção da partida elétrica, o que os tornava bem mais fáceis de manusear. Na década de 1920, as rodovias dos Estados Unidos já interligavam várias cidades e era necessário que os veículos tivessem uma autonomia elevada. Esses fatores, aliados à queda de preços da gasolina em decorrência do desenvolvimento setor petrolífero americano, deixaram os VEs em uma situação de subutilização (BARAN; LEGEY, 2011).

2.3.2.2 *Anos intermediários (1930-1989)*

Esse período é marcado por uma intensa estagnação do mercado de VEs, sendo produzidos em escala cada vez menor. Durante a primeira e a segunda guerra mundial, os Estados Unidos e o Reino Unido tiveram uma crescente na produção de VEs devido ao racionamento de combustíveis como a gasolina e o diesel, situação à do Japão no período pós-guerra. Nos três casos, a produção voltou a cair logo após terminados os racionamentos (BARAN; LEGEY, 2011).

Nos anos 1960, o mundo começou a se preocupar com questões ambientais (ANDERSON; ANDERSON, 2015), e as emissões de gases tóxicos pelos automóveis estavam entre as principais fontes de poluição. Os VEs, então, voltaram a atrair a atenção do público. A Ford e a General Motors chegaram a desenvolver protótipos de VEs, mas que nunca foram produzidos em larga escala. Nas décadas de 1970 e 1980, com a intensificação do debate público sobre questões ambientais e com a crise do petróleo de 1973, os VEs tiveram uma oportunidade grande de entrarem no mercado, mas os veículos à combustão eram muito mais competitivos e viáveis (BARAN; LEGEY, 2011).

2.3.2.3 *Anos recentes (1990-Atualmente)*

Somente a partir de 1990 o mercado de VEs começou a reagir. O mundo estava cada vez mais preocupado com as questões ambientais e de emissão, evidenciado pelas primeiras políticas públicas de emissão zero de poluentes e por conferências internacionais para debater o clima, como a ECO-92, o que aqueceu o mercado dos VEs. No fim da década de 1990, as

montadoras começaram a lançar VEs que se revelaram viáveis de competir com alguns setores do ramo automobilístico.

A fabricante japonesa Toyota, por exemplo, lançou o Prius, veículo híbrido sedã lançado em 1997 no Japão e chegando ao mercado americano três anos depois. O sucesso desse modelo impulsionou o lançamento de diversos outros modelos de VEs das concorrentes, como o Insight, da Honda, primeiro veículo híbrido lançado no mercado americano, o Duo, da 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, preocupados com a dependência da economia em relação ao petróleo importado, 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).

2.3.3 Frota e volume de vendas de veículos elétricos

Na maioria dos países, os VEs têm obtido cada vez mais relevância quanto ao volume de carros na frota e ao número de vendas.

2.3.3.1 Cenário atual

Em 2019, os VEs representam 0,4% da frota de carros em utilização no planeta, enquanto configuram 2,1% de todos os automóveis vendidos (QUARTZ, 2019).

A China se manteve com o maior mercado, tendo 1,1 milhões de unidades vendidas em 2018 e chegando a ter 50% da frota mundial de VEs (com 2,3 milhões de unidades). A Europa chegou a uma frota de 1,2 milhões e os Estados Unidos chegou a 1,1 milhão, totalizando com os demais mercados a frota mundial de 5,1 milhões. A Noruega possui a maior fatia de mercado em vendas de VEs, em que 46% de todos os automóveis vendidos no país em 2018 foram de carros elétricos, mais da metade do percentual da segunda maior fatia de mercado, a Islândia, com 17%, e seis vezes maior que a terceira colocada, Suécia, com 8% (IEA, 2019).

Enquanto isso, a frota de veículos de dois e três rodas passou de 300 milhões, os quais grande parte se localizam na China, que tem superado a marca de mais de 10 milhões de unidades vendidas nos últimos anos. No cenário de ônibus elétricos, a frota global saltou de quase 100.000 em 2017 para mais de 460.000 em 2018. Na mesma tendência, veículos de carga (como caminhões) eram apenas 80.000 em 2017, chegando a 250.000 unidades em 2018 (IEA,

2.3.3.2 *Projeções para o futuro*

Para 2030, a previsão é que 10% de toda a frota de veículos leves no mundo deve ser composta por carros elétricos. Alguns países, europeus em sua maioria, já possuem como meta banir os carros movidos a combustíveis fósseis. (PARANÁ, 2019)

A frota de VEs em utilização do mundo será de 548 milhões até 2040, o que representaria um percentual de 32% de todos os automóveis do planeta. No mesmo ano, 57% de todas as vendas de veículos leves no mundo serão de VEs, enquanto a previsão de 2018 era que esse percentual chegasse a 55%, revelando um ritmo de crescimento exponencial para esse nicho. No caso do transporte público, ônibus elétricos são previstos para ocupar 81% de todas as vendas de ônibus municipais no mundo. Por outro lado, veículos de carga, como os caminhões, possuem uma projeção mais tímida: 19% das vendas globais, e é previsto que esses automóveis serão mais frequentemente utilizados, a princípio, para transporte em menores distâncias. No cenário de serviços de transporte por aplicativo e em sistemas de carros compartilhados, 5% de toda a distância percorrida por automóveis dessa categoria são elétricos em 2019, e saltarão para 19% em 2040 (BNEF, 2019).

Tanto a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) como a Exxon-Mobil – organizações que possuem o petróleo como seu principal produto – também fizeram projeções, ainda em 2018, mesmo sendo menos otimistas que demais órgãos de estudo, reforçando a inevitabilidade da popularização os VEs. Enquanto a (IEA, 2019) projeta uma frota de 548 milhões de VEs no mundo até 2040, OPEP prevê 300 milhões destes veículos rodando pelas estradas do mundo, enquanto a Exxon estima uma frota de 162 milhões (QUARTZ, 2019).

No cenário brasileiro, a expectativa é que 2,5% de todos os licenciamentos de veículos leves em 2026 serão de carros elétricos ou híbridos, o que totalizaria 100.000 unidades licenciadas (ECONÔMICO, 2017). Isso totalizaria 360 mil VEs na frota nacional (BIOENERGIA, 2019).

2.3.4 *Cenário mercadológico*

Com o crescimento da utilização de VEs, o mercado (composto por exemplo, por montadoras, revendedoras, seguradoras) têm sido obrigado a se adaptar.

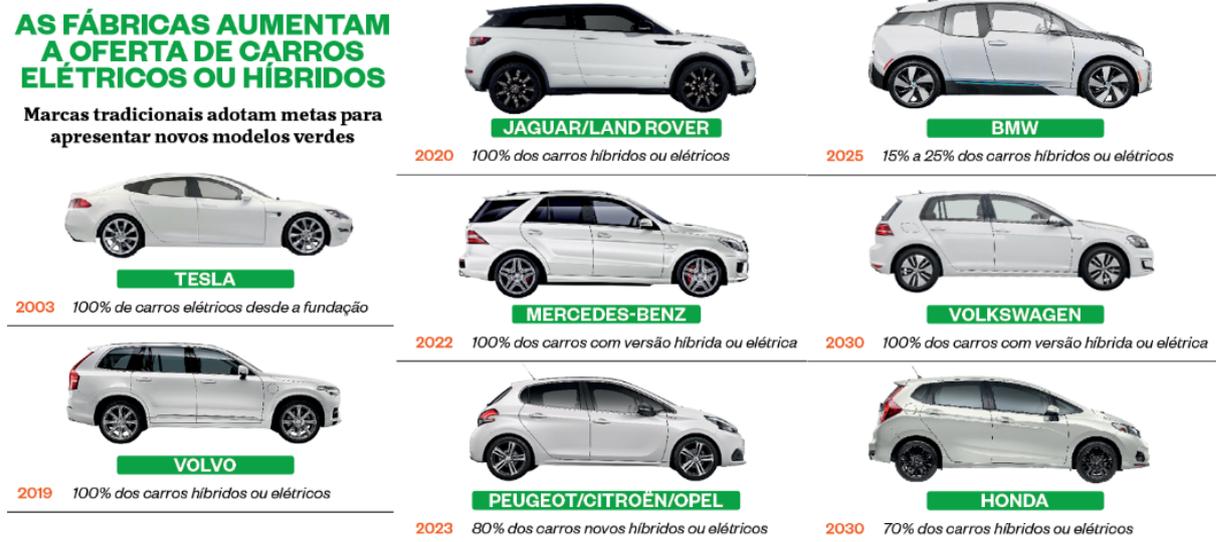
A Volvo, montadora Sueca de veículos, passou a lançar apenas automóveis elétricos ou híbridos a partir de 2019, planejando lançar cinco modelos novos e totalmente elétricos entre

2019 e 2021. Além disso, a empresa tem como meta vender 1 milhão de carros elétricos até 2025. (TECNOBLOG, 2018)

Concorrente da Volvo, a Mercedes-Benz prometeu, através do diretor Dieter Zetsche ainda em 2017, que comercializará versões elétricas de todos os seus veículos até 2022, o que totalizariam 50 modelos de automóveis elétricos disponíveis no mercado. No mesmo evento de anúncio, o CFO Frank Lidenberg afirmou que a empresa trocaria parte dos lucros no curto prazo para alavancar as vendas de carros elétricos, se preparando para o iminente banimento definitivo dos motores à combustão no mundo. Além disso, a Daimler AG, detentora da marca Mercedes-Benz, afirmou que o custo de compra de um carro elétrico alcançará a paridade com os carros à combustão em 2025, ponto a partir da qual a migração se dará de maneira bem mais rápida. (TECNOBLOG, 2017)

Estes dois exemplos demonstram uma tendência entre as montadoras de automóveis de integrarem os VEs nas suas linhas de produção, e demais casos similares constam na Figura 7. É importante quando uma montadora publica seu planejamento em relação à porcentagem de VEs que disponibilizarão em seu catálogo, pois pressiona as concorrentes a fazerem o mesmo e isso, por sua vez, leva todo o mercado automobilístico a desenvolver a tecnologia e popularizá-la cada vez mais. Na Figura 7, é mostrado o que planejam as principais montadoras em relação à oferta de VEs.

Figura 7 – Metas de oferta de VEs pelas montadoras para os próximos anos (Adaptado)



Fonte: Adaptado de (ÉPOCA, 2017)

Ainda sim, os VEs precisam enfrentar certos desafios para se tornarem economi-

camento competitivos. Colin McKerracher, chefe de uma das divisões de transporte da BNEF (Bloomberg New Energy Finance), empresa que presta serviços de tecnologia e de dados para o mercado financeiro, afirma que dois fatores contribuirão para impulsionar a utilização de VEs no mundo: O preço e o segmento de demanda. Quanto ao primeiro fator, McKerracher informa que os custos de aquisição de VEs alcançará a paridade com os de veículos à combustão no meio de 2020, impulsionados pelos decrescentes custos envolvendo armazenamento de energia, que caíram em mais de 85% desde 2010, e pela crescente capacidade produtiva das montadoras (QUARTZ, 2019). É importante ressaltar que as baterias custam, em média, um terço do custo total de se produzir um VE, e a trajetória de queda observada dos preços das mesmas (ECONÔMICO, 2017) reforça a afirmação de McKerracher. Quanto ao segmento de demanda, é afirmado que a maioria dos donos de VEs tendem a ser pessoas de classe alta e que já possuem mais de um carro. Quando esse segmento saturar, ou seja, quando a venda de VEs para esse tipo de comprador estagnar ou diminuir, as empresas e os gestores públicos serão pressionados a tornar o produto atrativo para as demais classes, e então mais investimentos serão feitos em infraestrutura (pontos de carregamento, por exemplo), educação pública, campanhas, *marketing* e em diminuição de custos. (QUARTZ, 2019)

No caso do Brasil, carregar um VE em casa pode custar cerca de 6 vezes menos que um carro à combustão. Considerando os modelos tais quais os citados no item 3.1, cujas baterias possuem capacidade média de 40 kWh a 60 kWh e chegam a uma autonomia média de 300 km, pode-se estimar que um VE convencional custe o equivalente a R\$ 0,08 por quilômetro rodado, enquanto veículos à combustão custam, em média, mais de R\$ 0,50 (AUTOESPORTE, 2019a). Essa economia tende a aproximar o público da utilização de VEs, aliado à diminuição dos preços de compra, aumento da infraestrutura e a vigência de políticas de incentivo.

2.3.5 Políticas públicas de incentivo à utilização de veículos elétricos

Diante da crescente preocupação com o meio ambiente e o aquecimento global, diversas entidades governamentais têm promovido políticas de incentivo à utilização e a vendas de VEs no mundo, constatado que os veículos à combustão estão entre os maiores emissores de poluentes à atmosfera. Essas iniciativas têm um papel fundamental para o desenvolvimento e popularização dos VEs. Em (IEA, 2019), são estabelecidos alguns passos são essenciais nesse processo:

- Adoção de padrões de fabricação dos veículos e de entrada dos sistemas de

carregamento;

- Incentivos econômicos para atenuar 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 8 mostra as metas de banimento de veículos à combustão em alguns países, e os subtópicos a seguir citam alguns exemplos de políticas públicas que estão em processo de implantação.

Figura 8 – Perspectivas de banimento de carros à combustão pelo mundo



Fonte: (ÉPOCA, 2017)

2.3.5.1 Europa

O conselho federal alemão, em 2016, votou pelo fim da criação de veículos à combustão até 2030, devendo todos os veículos vendidos a partir desse ano utilizar motores que usam energia limpa (eletricidade, hidrogênio e etc.). A iniciativa se mostrou corajosa – e até

mesmo impactante – vindo de um país cuja indústria automobilística se configura como um dos mais fortes setores de sua economia. Além disso, já existia, no país, a meta de ter uma frota de 1 milhão de carros elétricos até 2020. (TECMUNDO, 2016)

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

O governo francês, em agosto de 2019, anunciou através da ministra dos Transportes Elizabeth Borne que pretende dar fim às vendas de carros movidos à combustão a partir de 2040, bem como tornar o país neutro em emissões de carbono em 2050. Dentre as iniciativas do governo para alcançar tal feito, estão os incentivos fiscais às montadoras nacionais e isenção de impostos para funcionários de empresas que utilizam bicicletas ou carros compartilhados. (WEBMOTORS, 2019)

2.3.5.2 *Ásia*

A China tem restringido os investimentos para as fábricas de veículos à combustão, bem como vem oferecendo incentivos baseados no tipo de bateria (maiores benefícios para os que menos poluem). No Japão, a estratégia do poder público tem sido buscar, em cooperação com o setor industrial, reduzir em 80% as emissões de poluentes de veículos leves produzidos em solo japonês até 2050, o que passa por progressivamente aumentar a frota de VEs (IEA, 2019).

2.3.5.3 *Chile*

Atrás apenas da China, o Chile possui uma das maiores frotas de ônibus elétricos do mundo. A meta do poder público chileno é de até 2040 ter 100% de sua frota de transporte público de VEs e, no caso dos carros particulares, 40% (IEA, 2019).

2.3.5.4 *Brasil*

O GDF (Governo do Distrito Federal) anunciou, através do Governador Ibaneis Rocha em outubro de 2019, um projeto de lei a ser encaminhado à Câmara Legislativa do DF (CLDF) para garantir a isenção do IPVA aos VEs por um prazo de cinco 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, o prefeito Fernando Haddad sancionou um projeto de lei para incentivar a utilização de carros elétricos e movidos a hidrogênio na cidade de São Paulo (SP). O incentivo consiste na restituição da cota municipal do IPVA (Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores) por cinco anos após a data da compra do automóvel, limitado a um valor de até R\$ 10.000, para os automóveis que custam até R\$ 150.000. A lei sancionada também exclui o veículo do rodízio de carros que ocorre na capital paulista. A solicitação da devolução do imposto é feita de forma digital (PAULO, 2019).

Também há projeto de lei de incentivos à utilização de VEs nos estados do Paraná e do Rio de Janeiro.

No Senado Federal, tramitam dois projetos de leis que, seguindo a tendência europeia, visam determinar o fim da circulação e venda de carros à combustão.

O primeiro deles é o PLS 304/2017 (Projeto de Lei do Senado), que altera 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. A proposta, atualmente, está em tramitação, aguardando ser colocado em pauta na relatoria da CCJ (Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania) do Senado Federal (SENADO, 2019b).

Já o PLS 454/2017 acrescenta à Lei nº 8.723/1993, que dispõe sobre 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, excluindo aqueles abastecidos exclusivamente por biocombustíveis. Além disso, 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).

Em 2019, passou a vigorar no Brasil o Rota 2030, programa de inovação do setor automotivo, que deverá receber R\$ 200 milhões por ano, aporte que se consolidará na forma de incentivos fiscais para a indústria. No programa, está incluso 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

Diante do aumento da frota de carros elétricos no Brasil e no mundo, é crescente a necessidade de pontos de recarga para carros elétricos, e suas implantações vêm ganhando cada vez mais espaço nos grandes centros urbanos.

No caso, esses pontos de recarga podem se apresentar 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 toda uma estrutura pronta antes de receber pontos de recarga para automóveis elétricos), em que são dispostos vários eletropontos.

Uma eletrovia, por fim, se caracteriza por uma estrada, rua, rodovia ou afins que dispõem de pontos de recarga para VEs a cada certa distância, geralmente 100 km (em média) entre dois deles, visto que a autonomia de um carro elétrico, em 2018, varia entre 160 a 200 km, no mínimo, até 400 km, nos modelos mais modernos e mais econômicos (ANTUNES, 2018).

3 ESTADO DA ARTE

3.1 Veículos elétricos estabelecidos no mercado

No Brasil, há a previsão de lançamento de três modelos de carros elétricos até o final de 2019, inicialmente sem produção em solo brasileiro. Os modelos são o Nissan Leaf, o Renault Zoe e o Chevrolet Bolt. Há, ainda, o planejamento para lançar do JAC iEV40 para 2020, compacto previsto para ser o VE mais barato do país. Ademais, constam outros VEs mais modernos que ainda não chegaram no Brasil ou que já estão estabelecidos no mercado nacional.

3.1.1 *Nissan Leaf*

O Nissan Leaf (mostrado na Figura 9) é o VE mais vendido no mundo, somando mais de 400 mil emplacamentos em todos os mercados em que a montadora atua (AUTOO, 2019). Foi lançado no Brasil em julho de 2019, contando com 150 cv de potência e 32,6 kgfm de torque e com duas opções de autonomia – 240 ou 320 quilômetros. O conjunto de baterias demora oito horas para uma recarga completa. Em 2018, na pré-venda, o Leaf estava sendo vendido a valores a partir de R\$ 178.400 (MINAS, 2018). As versões do Leaf são dotadas com baterias de capacidade de 40 e 62 kWh, respectivamente (Nissan Leaf e Nissan Leaf e+) (NISSAN, 2019).

Figura 9 – Nissan Leaf em exposição.



Fonte: (MINAS, 2018)

3.1.2 *Renault Zoe*

Ainda sem data definida para estrear no Brasil, o Renault Zoe (em exposição na Figura 10) conta com 22,4 kgfm de torque, 92 cv de potência e uma autonomia de 300 quilômetros. Chama a atenção seu tempo de recarga da bateria, podendo ter 80% da capacidade (de 41 kWh, ao total) recuperada em 1h40. O preço de pré-venda custa R\$ 149.990, o que o torna um dos VEs mais baratos do mercado brasileiro (UOL, 2019).

Figura 10 – Renault Zoe em exposição.



Fonte: (UOL, 2019)

3.1.3 *Chevrolet Bolt*

O Chevrolet Bolt (Figura 11), por sua vez, tem um torque de 36,8 kgfm, 200 cv de potência e uma autonomia de 380 quilômetros – graças à sua bateria de 60 kWh de capacidade. Em carregadores rápidos, o Bolt pode ser 80% de sua capacidade de bateria restaurada em uma hora, enquanto em tomadas comuns de 220V ele ganha uma autonomia de 10 quilômetros por hora. (MINAS, 2018).

3.1.4 *JAC iEV20*

A fabricante chinesa JAC divulgou, em setembro, a sua linha de VEs e o cronograma de chegada no Brasil. Dentre eles, está o iEV20, que terá um preço inicial sugerido de R\$ 119.900, tornando-o, até o lançamento, o VE mais barato do país. Ele conta com uma bateria com 41 kWh de capacidade, o que lhe oferece 320 km de autonomia, segundo a fabricante. A sua potência máxima é de 68 cv e 21,9 mkgf (ESTADÃO, 2019b).

Figura 11 – Chevrolet Bolt em exposição.



Fonte: (MINAS, 2018)

3.2 Conversão de carros à combustão em elétricos

A fabricante de motores WEG, em 2019, anunciou uma parceria com a FuelTech (empresa especializada em injeção eletrônica de veículos) para oferecer serviços de conversão de veículos à combustão em elétricos, processo que consiste em substituir peças dos automóveis e em instalar baterias recarregáveis. O serviço é similar ao da empresa californiana EV West, que vende kits de conversão para modelos clássicos por preços de US\$ 7 mil a US\$ 16 mil (ÉPOCA, 2019b). Este serviço tende a se popularizar rapidamente porque os preços dos VEs de fábrica e seus custos com manutenção são muito elevados em comparação aos veículos à combustão, embora o custo benefício em termos de preço por quilômetro rodado dos VEs seja bem maior, o que tornará a aquisição dos kits de conversão bem viáveis para quem quer economizar com combustíveis e, ainda, colaborar com a redução das emissões de poluentes.

3.3 Programas de carros compartilhados

3.3.1 Programa VAMO

A Prefeitura de Fortaleza, em 2016, lançou o VAMO, primeiro programa de carros 100% elétricos da América Latina. A iniciativa teve como objetivo "ofertar à população de Fortaleza mais uma opção de mobilidade urbana sustentável", segundo a própria Prefeitura. O sistema conta com quinze modelos do compacto Zhidou EEC L7e-80 e cinco do SUV BYD e6, podendo ser tomados ou deixados em doze estações com recarga como espalhadas pela cidade (como a mostrada na Figura 12) ou em outros seis pontos sem conexão a uma estação

de carregamento. Em dois anos, o VAMO contou com 3.753 viagens, 1.367 *test-drives* e 3.823 cadastros. Um ponto interessante do programa é que o usuário pode, após realizado o seu cadastro, sincronizar seus dados de pagamento com o Bilhete Único, passe recarregável do sistema de transporte público de Fortaleza, obtendo descontos nas tarifas do VAMO. Além disso, os usuários não pagam para utilizar as vagas de Zona Azul pela cidade e nem em estacionamentos de alguns *shoppings*, bem como têm a vantagem de utilizar a função "carona", em que os custos podem ser divididos entre mais de um passageiro. Segundo dados da Prefeitura de Fortaleza, 61% da poluição do ar na cidade são devidos à emissão de CO₂ por veículos à combustão, ressaltando a importância de investir em tecnologias que não emitem poluentes. (FORTALEZA, 2018)

Figura 12 – Uma das estações do VAMO, em Fortaleza



Fonte: (FORTALEZA, 2018)

3.3.2 Programa VEM DF (Veículo para Eletromobilidade)

Em outubro de 2019, o Governo do Distrito Federal (GDF) lançou o projeto VEM DF, programa de veículos elétricos compartilhados para a frota de carros oficiais – aqueles utilizados por servidores públicos a serviço do GDF. A iniciativa foi da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) em parceria com o Parque Tecnológico de Itaipu (PTI), e tem como objetivo estimular a cadeia produtiva de veículos elétricos no país, bem como divulgar soluções de eletromobilidade. O VEM DF consiste em 16 veículos do modelo Renault Twizy (Figura 13) – VE com capacidade para dois passageiros, autonomia de até 100 Km e velocidade máxima de 80 Km/h – à disposição de servidores previamente cadastrados, e em 35 eletropostos para carregamento e estacionamento, onde demais usuários de VEs podem recarregar seus

carros gratuitamente. O gerenciamento do VEM DF fica por conta de um software – o MoVE, desenvolvido pelo PTI –, que monitora a velocidade, a carga da bateria, as rotas percorridas e a quantidade de poluentes deixadas de serem emitidas (BRASÍLIA, 2019b).

Figura 13 – Veículo modelo Renault Twizy, caracterizado como um dos automóveis do VEM DF



Fonte: (BRASÍLIA, 2019b)

3.3.3 Programa WeShare

A fabricante alemã Volkswagen lançou, em Berlim, o programa WeShare, serviço de compartilhamento de carros elétricos, contando com 1.500 versões elétricas do Golf. No programa, os clientes podem encontrar os carros em diversos locais, sem lugar específico para estacionar desde que o veículo esteja dentro da área de atuação. Inicialmente, o serviço está disponível em uma área de 150 km² no centro da capital alemã, mas os planos da fabricante são de expandir o serviço na cidade com mais 500 veículos da versão elétrica do Up!. Para 2020, a Volkswagen planeja levar o WeShare para outra cidade alemã, Hamburgo, e para Praga, a capital Checa. A tarifa custa apenas 19 centavos de euro por minuto (STARTSE, 2019).

3.3.4 Startup BeepBeep

Na capital paulista, a startup BeepBeep iniciou suas operações com um serviço de carros elétricos compartilhados, inicialmente com uma frota de 10 veículos modelo Renault Zoe e com perspectiva de chegar a 300 até o fim de 2020. A reserva, a liberação e a ligação dos automóveis são realizadas a partir de um aplicativo, por onde o usuário também efetua o

pagamento. Os VEs devem ser pegos e deixados em estacionamentos habilitados e a startup possui postos de carregamento próprios e conveniados (AUTOESPORTE, 2019b).

3.4 Eletrificação de vias públicas

No Brasil e no mundo, há exemplos de implantação de eletrovias e de eletrificação de cidades que valem a pena a serem analisadas.

3.4.1 *Eletrovia da Copel*

Em março de 2018, a Companhia Paranaense de Energia (Copel) inaugurou a primeira eletrovia do Brasil, em parceria com a Itaipu Binacional, a prefeitura de Curitiba e o governo estadual. Situada da BR-227, a Eletrovia Paranaense BR 277 corta o estado do Paraná de leste a oeste, de Paranaguá até Foz do Iguaçu, passando por Curitiba e outras cidades importantes. Com um investimento de R\$ 5,5 milhões, a eletrovia possui 11 eletropostos de abastecimento ligados à rede elétrica local (como o da Figura 14, em que os motoristas podem carregar seus veículos gratuitamente, cada um contando com uma potência de 50 kVA e com três tipos de conectores, os quais são compatíveis com a maior parte dos carros elétricos comercializados no mundo até o fim de 2018. Após um ano em operação, foram feitos 330 abastecimentos, consumindo 2914 kWh de energia no total, média de aproximadamente 9 kWh por abastecimento. Além disso, em março de 2019, o governo paranaense zerou a alíquota de Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) sob veículos elétricos, visando estimular o setor. (PARANÁ, 2019)

3.4.2 *Eletrovia RJ-SP e o projeto de eletrificação da região sudoeste*

Em agosto de 2018, a BMW do Brasil, em conjunto com a rede de postos Ipiranga e a Energia de Portugal (EDP), inaugurou uma eletrovia na rodovia Presidente Dutra (BR-116), ligando as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. A via conta com 6 eletropostos – 3 em cada sentido (São Paulo-Rio e Rio-São Paulo) – e cobre 430 km em cada trecho, sendo a maior eletrovia da América Latina. Nos primeiros 6 meses, a recarga era gratuita para os motoristas. O investimento foi de R\$ 1 milhão. (UOL, 2018)

A eletrificação da Via Dutra pela EDP faz parte de um planejamento da empresa de eletrificar a região sudeste do Brasil, partindo de São Paulo. O estado paulista detém metade de

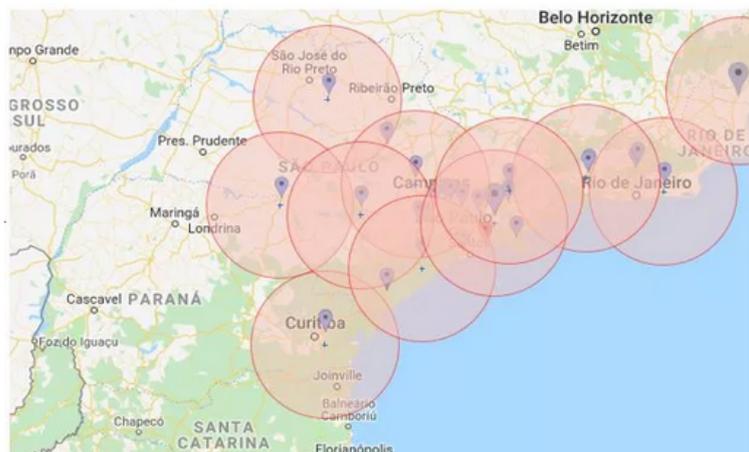
Figura 14 – Um dos eletropostos da eletrovia da Copel, no Paraná



Fonte: (PARANÁ, 2019)

toda a frota de VEs do país e 30% do mercado de automóveis, tornando-o um território bastante promissor para o estabelecimento das tecnologias em questão. A EDP pretende investir R\$ 32,9 milhões para inaugurar 30 eletropostos no sudeste até 2022, com distância entre cada um de 150 quilômetros, menor que a autonomia da maioria dos VEs do mercado brasileiro. Na disposição dos eletropostos, a EDP prevê a eletrificação das principais estradas que partem da capital paulista e a criação de uma eletrovia que ligue Vitória (ES) até Joinville (SC), passando por Rio de Janeiro (RJ) e Curitiba (PR). ”Será um corredor atlântico ligando os dois maiores eixos do país”, afirmou Miguel Setas, CEO da EDP do Brasil. A Figura 15 ilustra a área de cobertura desse projeto (ÉPOCA, 2019a).

Figura 15 – Mapa de cobertura dos eletropostos que a EDP pretende ter até 2022



Fonte: (ÉPOCA, 2019a)

3.4.3 Pontos de recarga da Incharge

A Rodovia Fernão Dias, em Extrema (MG), e a cidade de Santa Rita do Sapucaí (MG) receberam um ponto de recarga para veículos elétricos cada, por iniciativa da empresa Incharge. Os planos são de instalar ao todo 10 pontos de recarga – como os da Figura 16, que ligariam Belo Horizonte (MG) a São Paulo (SP), com o objetivo de melhorar e ampliar a infraestrutura das regiões para atender a crescente demanda por VEs. A empresa já havia instalado pontos de recarga em Jardins (SP). As recargas estarão gratuitas até meados de 2020 (EPTV, 2018).

Figura 16 – Ponto de recarga da Incharge em Holambra (SP)



Fonte: (FOLHA, 2018)

3.4.4 Eletrovias do Uruguai

O Uruguai possui forte política de incentivo para veículos elétricos, como o benefício de isenção fiscal. Essa política fez com que o país renovasse sua frota de veículos do transporte público e de táxis para automóveis movidos a energia elétrica. Concomitantemente, o Uruguai em muito se desenvolveu em termos de eletrovias, para suportar a frota de veículos elétricos. O *Sistema de Alimentación de Vehículos Eléctricos* (Save) – sistema de abastecimento de veículos elétricos – foi um programa inaugurado para implantar pontos de carregamento em todo o país (um deles está ilustrado na Figura 17, principalmente na capital, Montevidéu, e em demais cidades importantes, mas tendo como principal trajeto a eletrovia que abarca o principal roteiro turístico uruguaio, passando por pontos importantes como Montevidéu, Punta Del Este, Maldonado, São Luis e o Aeroporto Internacional de Carrasco. Com a conclusão do eletroposto

de Rocha, a eletrovia se estende por 310 km. Em 2019, o país passou a dispor à população postos de aluguel de carros elétricos na via. (CARROS, 2018).

Figura 17 – Ponto de recarga do sistema Save, no Uruguai



Fonte: (CARROS, 2018)

4 METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO

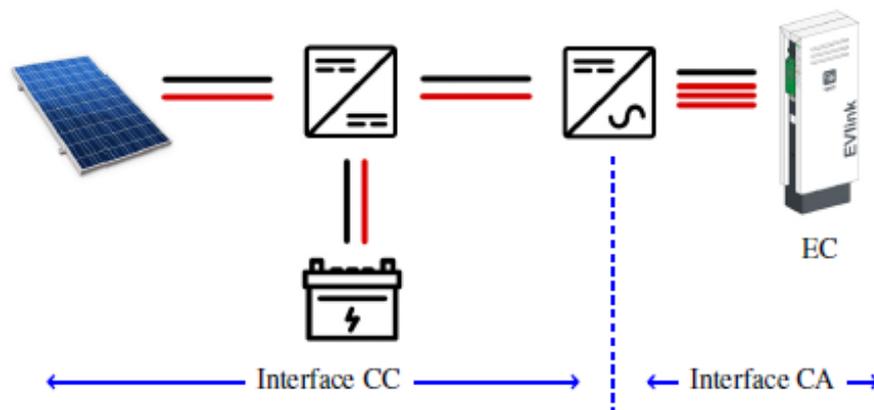
4.1 Introdução

Conforme citado em 2.3.5, um dos mais importantes passos para a popularização dos VEs é a melhoria da infraestrutura para a recarga dos automoveis. Nesse contexto, este TCC se baseia em propor uma alternativa limpa e renovável, através de ECs autossuficientes (não conectados à rede elétrica) e alimentados por microusinas de geração FV, projetados para serem construídos em locais do semi-árido cearense (conforme descrito no Tópico 2.2.1), de terreno plano e desconsiderando o sombreamento dos painéis FV.

A proposta é de projetar e dimensionar três tipos de ECs (classificadas por potência instalada) alimentadas por usinas de microgeração FV, ou seja, cuja potência instalada não ultrapasse 75 kWp (ANEEL, 2015).

Primeiro, serão definidos como serão divididos os três tipos de ECs em termos de potência instalada, a partir do qual serão calculadas a energia gerada por dia e o número de VEs que cada uma poderá atender. Posteriormente, o dimensionamento seguirá a metodologia de (MENEZES, 2019): Cálculo no número de módulos FV, dimensionamento do controlador, dimensionamento do banco de baterias e dimensionamento do inversor (esquemático representado na Figura 18), além do cálculo da área ocupada pelas ECs.

Figura 18 – Representação da estrutura das ECs



Fonte: (MENEZES, 2019).

Vale salientar que o propósito deste TCC é meramente acadêmico. Sendo assim, os critérios para a escolha de cada componente se limitaram a se aproximar, o quanto fosse possível, das especificações elétricas e mecânicas pretendidas, além de procurar aqueles que tivessem uma maior disponibilidade nos *sites* de venda – alguns modelos foram descartados por estarem em

falta em várias lojas virtuais.

4.2 Potência instalada de cada tipo de EC

Define-se que os três tipos de EC serão denominados da seguinte forma:

- Estações de Carregamento Tipo 1 (EC1);
- Estações de Carregamento Tipo 2 (EC2);
- Estações de Carregamento Tipo 3 (EC3).

Em que o EC3 será a de maior potência instalada possível para uma usina de microgeração, ou seja, 75 kWp. Sendo assim, resta definir as potências instaladas de EC1 e EC2. Para tal, calcula-se a quantidade de VEs que as ECs serão capazes de atender por dia, para diferentes porcentagens de carregamento de bateria, e se escolherá outros dois valores de potências instaladas.

No caso da EC3, é possível calcular a Energia Gerada por Dia (EGD), dada em kWh, através da expressão a seguir:

$$EGD = P_{inst} \cdot t \cdot FC \quad (4.1)$$

Em que:

- P_{inst} = Potência instalada, em kW;
- t = Intervalo, em h;
- FC = Fator de Capacidade.

O Fator de Capacidade (FC) é um termo que representa a razão entre a energia elétrica gerada, para um período, e a quantidade máxima possível de geração deste mesmo período. O valor de FC será definido levando em consideração um estudo feito pelo Laboratório de Energias Alternativas da UFC (LEA-UFC) em 2017, em que foi medido o FC para todos os meses daquele ano na área do laboratório, que se localiza em Fortaleza (CE). A Tabela 3 apresenta os valores cedidos pelo LEA (FREITAS, 2018):

Tabela 2 – Valores de FC medidos pelo
LEA

Mês	Fator de Capacidade (%)
Janeiro	19,23
Fevereiro	17,51

Tabela 2 (continuação)

Mês	Fator de Capacidade (%)
Março	14,48
Abril	15,53
Maio	13,47
Junho	21,03
Julho	16,36
Agosto	24,04
Setembro	25,69
Outubro	20,87
Novembro	21,72
Dezembro	19,29
Média	19,56

Fonte: Adaptado de (FREITAS, 2018).

Será adotado, no presente TCC, o valor de 0,2, conforme já adotado por (MENEZES, 2019). Portanto, calcula-se a EGD na EC3, através da Equação 4.1:

$$EGD = 75kW \cdot 24h \cdot 0,2$$

$$EGD = 360kWh$$

Tomando como base os VEs mencionados em 3.1, é adotado como referência o valor de 40 kWh para a capacidade da bateria do VE a ser recarregado nas ECs a serem tratadas adiante. A Tabela 3 relaciona os VEs mais comuns do Brasil com a capacidade de suas baterias.

Tabela 3 – Valores de FC medidos pelo LEA

Modelo	Capacidade da Bateria (kWh)
Chevrolet Bolt	60
Nissan Leaf	40
Nissan Leaf +	62
Renault Zoe	41
JAQ iEV20	40

Fonte: (MINAS, 2018).

Em posse dessas informações, é possível calcular o número de cargas completas (de 0 a 100% da capacidade da bateria) que a EC3 é capaz de oferecer, bem como ECs de diferentes capacidades instaladas. Os valores calculados estão na Tabela 4:

Tabela 4 – Capacidade de recarga para ECs de diferentes potências instaladas.

Potência Instalada (kWp)	EGD (kWh/dia)	Número de Cargas por Percentual de Carga Completa			
		20%	50%	70%	100%
75	360	45	18	12	9
62,5	300	37	15	10	7
50	240	30	12	8	6
37,5	180	22	9	6	4
25	120	15	6	4	3

Fonte – O próprio autor.

Sendo assim, define-se que EC1 e EC2 terão as potências instaladas de 50 e 62,5 kWp, respectivamente. Valores menores que 50 são capazes de realizar poucas cargas, o que justifica os valores definidos.

4.3 Dimensionamento fotovoltaico

Definidas as potências instaladas de cada EC, se faz possível dimensionar as usinas de geração FV. Define-se que os módulos FV utilizados no projeto são do modelo MaxPower CS6U-330, cujas especificações constam na Tabela 5.

Tabela 5 – Especificações do módulo MaxPower CS6U-330

Parâmetro	Valor
Potência Nominal	330 W
Tensão Nominal	37,2 V
Corrente Nominal	8,88 A
Tensão em Circuito Aberto	45,6 V
Corrente em Circuito Aberto	9,45 A
Temperatura Operacional	-40 °C ~85° C
Tipo da Célula	Policristalina, 6”
Organização das Células	72 (6 x 12)

Tabela 5 (continuação)

Parâmetro	Valor
Dimensões	1960 x 992 x 35 mm
Peso	22,4 kg

Fonte – Adaptado de (SOLAR, 2018).

O número de módulos necessário em cada tipo de EC pode ser calculado através da Equação 4.2:

$$N^{\circ} de \text{Módulos} = \frac{\text{Potência Da Planta}}{\text{Potência Do Módulo}} \quad (4.2)$$

Em que caso o resultado não seja exato, o resultado será o número inteiro imediatamente anterior. Sendo assim, o número de módulos de cada EC consta na Tabela 6:

Tabela 6 – Número de módulos por tipo de EC

EC	Potência Instalada (kWp)	Potência do Módulo (W)	Número de Módulos
EC1	50	330	151
EC2	62,5		189
EC3	75		227

Fonte: O próprio autor.

4.3.1 Capacidade de atendimento das ECs

A premissa do projeto é que EC1, EC2 e EC3 possuam potências instaladas de 50, 62,5 e 75 kWp respectivamente. Contudo, o número de módulos calculado pode não refletir na potência instalada pretendida (ao multiplicar a potência individual dos módulos pela quantidade dos mesmos). A Tabela 7 mostra as potências instaladas efetivas do projeto de cada tipo de EC, bem como as respectivas EGDs.

Tabela 7 – Potência instalada e EGD das ECs.

EC	Nº de Módulos	Potência Instalada Efetiva (kWp)	EGD Efetiva (kWh/dia)
EC1	151	49,83	239,18

Tabela 7 (Continuação)

EC	Nº de Módulos	Potência Instalada Efetiva (kWp)	EGD Efetiva (kWh/dia)
EC2	189	62,37	299,38
EC3	227	74,91	359,57

Fonte: O próprio autor.

Portanto, é possível prever as capacidades de atendimento das ECs para diferentes percentuais de recarga. Para tal será considerada, para efeitos de projeto, uma margem de 10% sobre a EGD de cada EC (o que serve para compensar perdas nos condutores, nos equipamentos e afins, além de garantir que uma quantidade mínima de atendimentos podem ser realizados) e as quantidades de recarga calculadas serão arredondadas para baixo, caso o resultado não seja um número inteiro. Estes dados constam na Tabela 8:

Tabela 8 – Capacidade de atendimento efetiva das ECs.

EC	EGD Efetiva com Margem de 10% (kWh/dia)	Capacidade de Atendimento por Percentual de Recarga			
		20%	50%	70%	100%
EC1	215,26	27	11	8	5
EC2	269,44	34	13	10	6
EC3	323,61	40	16	12	8

Fonte: O próprio autor.

4.3.2 Dimensionamento do carregador

Um fator importante a se considerar no projeto é o tempo de carregamento dos VEs. Para calcular quanto tempo se leva para fazer as recargas, se faz necessário definir previamente a potência do carregador. Sendo assim, define-se que as ECs utilizadas serão do modelo EVlink Parking EVF2S22P02 da fabricante Schneider, cujas especificações se encontram na Tabela 9.

Tabela 9 – Especificações da EC EVlink Parking EVF2S22P02

Parâmetro	Valor/Tipo
Descrição dos Pólos	3P + N para o circuito de força 1P + N para o circuito de controle

Tabela 9 (Continuação)

Parâmetro	Valor/Tipo
Modo de Montagem	De pé, no chão
Tensão do Circuito de Força	230 V AC 50/60 Hz
Tensão do Circuito de Controle	380 ~415 V AC 50/60 Hz
Corrente Máxima de Saída	32 A
Potência Máxima de Saída	22 kW
Dimensões	1146 x 413 x 220 mm
Peso	50 Kg

Fonte: Adaptado de (SCHNEIDER, 2019).

4.4 Dimensionamento do controlador

A conexão dos módulos FV às baterias é feita através de um controlador de carga. Como os módulos operam com tensão nominal de 37,2 V, os controladores deverão ser configurados para operar na mesma faixa de tensão. Por trabalhar em 36 V e por ter uma alta corrente nominal de operação em relação àquela dos módulos, o controlador escolhido para as ECs é o modelo Tracer10420AN. As especificações do mesmo constam na Tabela 10.

Tabela 10 – Especificações do controlador modelo Tracer10420AN.

Parâmetro	Valor/Tipo
Tensão Nominal do Sistema	12/24/36/48 Vdc
Faixa de Tensão de Entrada	8V ~ 68V
Corrente Nominal	100 A
Potência Nominal	3750 W/36 V
Dimensões	394 x 242 x 143 mm

Fonte: Adaptado de (TECHNOLOGY, 2018).

Para calcular a quantidade de controladores necessária para atender cada EC, utiliza-se a Equação 4.3:

$$N^{\circ}DeControladores = \frac{PotênciaInstaladaDaPlantaFV}{TensãoDaPlantaFV \cdot CorrenteNominalDoControlador} \quad (4.3)$$

Por fim, a quantidade de controladores de cada EC consta na Tabela 11, em que estão evidenciadas, também, a tensão da planta FV, as potências instaladas em cada EC e a corrente nominal:

Tabela 11 – Quantidade de controladores em cada EC.

EC	Tensão da Planta FV	Potência Instalada (kWp)	Corrente Nominal (A)	Número de Controladores
EC1	37,2	50	100	14
EC2		62,5		17
EC3		75		21

Fonte: Adaptado de (TECHNOLOGY, 2018).

4.5 Dimensionamento das baterias

As baterias são dimensionadas levando em consideração a tensão de operação, a capacidade de armazenamento e o tempo de descarga. Conforme o mencionado no Tópico 4.4, a tensão de operação dos controladores será de 36 V, valor que no qual devem operar as baterias. Quanto ao tempo de descarga, considerando o cenário em que cada EC atenderá sua capacidade máxima de recargas em um dia, calcula-se quantas horas seriam necessárias para tal. Os resultados estão na Tabela 12:

Tabela 12 – Tempo de carregamento das ECs em diferentes cenários.

EC	EGD Efetiva com Margem de 10% (kWh/dia)	Capacidade de Atendimento por Percentual de Recarga			
		20%	Tempo Necessário	100%	Tempo Necessário
EC1	215,27	27	14h30min	5	12h30min
EC2	269,44	34	17h	7	17h30min
EC3	323,61	40	20h	8	20h

Fonte: O próprio autor.

Ou seja, o tempo de descarga das baterias deve ser considerado de 20 horas. Escolhe-se, então, a bateria Unipower UP12200 da Unipower, cujas características constam na Tabela 13. A bateria possui os regimes de operação em Descarga Contínua de 10h (C10) e em Descarga Contínua de 20h (C20).

Tabela 13 – Especificações da bateria UP12200.

Parâmetro	Valor/Tipo
Modelo	UP12200
Tensão Nominal	12 V
Capacidade (C10)	200 Ah
Capacidade (C20)	220 Ah
Dimensões	524 x 240 x 224 mm
Peso	58 kg
Corrente de Descarga (C10)	20 A
Corrente de Descarga (C20)	11 A

Fonte: Adaptado de (UNIPOWER, 2019).

A capacidade de armazenamento calcula-se através da Equação 4.4 (MENEZES, 2019):

$$CB = \frac{EDG}{V \cdot K_{bat} \cdot K_D} \quad (4.4)$$

Em que K_{bat} é a eficiência da bateria e K_D é a descarga máxima de segurança, CB é a capacidade do banco e V é a tensão da bateria.

Como a tensão da bateria escolhida 12 V, se utilizará células de três unidades em série, formando um bloco com tensão de 36 V. Segundo (MENEZES, 2019), 0,65% e 0,60% são valores usuais, respectivamente, para K_{bat} , por ser típico de baterias de chumbo-ácido, e K_D , para não danificar a bateria. Sendo assim, a CB necessária para cada tipo de EC é calculada e consta na Tabela 14, bem como a quantidade de baterias necessárias em cada caso.

Tabela 14 – Capacidade do banco e número de baterias de cada EC.

EC	EGD Efetiva (kWh/dia)	CB (Ah)	Capacidade da Bateria (Ah)	Quantidade de Baterias
EC1	239,18	17035,90	220	78
EC2	299,38	21323,08		99
EC3	359,57	25610,26		117

Fonte: O próprio autor.

4.6 Dimensionamento dos inversores

São necessários inversores de frequência para converter a interface em Corrente Contínua (CC), já que a energia gerada pelo módulos é nesse formato, para a Corrente Alternada (CA), que é tipo de tensão utilizada para carregar os VEs, como mostrado na Figura 18. O mesmo é dimensionado levando em consideração as tensões máximas de entrada (que deve ser igual à tensão de saída do controlador, ou seja, 36 V, conforme abordado no Tópico 4.4), e de saída (a ser compatível com a tensão de entrada da EC, ou seja, 400 Vac trifásico a 60 Hz, segundo a Tabela 9), as correntes nominais de entrada (o controlador, segundo a Tabela 10, possui corrente máxima de 100 A, mas este valor é limitado pela capacidade de descarga das baterias) e de saída (a ser compatível com a máxima do carregador, de 32 A, segundo a Tabela 9) e a potência nominal (respeitando a potência máxima de saída do carregador, de 22 kW, segundo a Tabela 9). A potência dos controladores, que se ligam ao inversor, variam entre 52,50 kW, no caso da EC1, e 78,75 kW, no caso da EC3). Além disso, é necessário que o inversor opere dentro de uma faixa de fator de potência, levando em consideração que o sistema não é puramente resistivo. Por fim, utiliza-se o inversor String SIW500H - ST022, que é compatível com todos os parâmetros e condições mencionados. As especificações do mesmo constam na Tabela 15.

Tabela 15 – Especificações do Inversor String SIW500H - ST022.

Parâmetro	Valor/Tipo
Tensão de entrada máxima	1.080 V
Corrente máxima de entrada	22 A
Número de entradas	4
Potência ativa CA nominal	22 kW
Tensão de saída nominal	220 V (F-N) 380 V (F-F) 230/400 V (3F+N+PE)
Frequência de rede CA nominal	60 Hz
Corrente de saída máxima	33,5 A
Fator de potência ajustável	0,8 LG ... 0,8 LD
Dimensões	525 x 470 x 262 mm
Peso	25 kg

Tabela 15 (continuação)

Parâmetro	Valor/Tipo
Faixa de temperatura de operação	- 25 °C ~60 °C

Fonte: Adaptado de (WEG, 2019)

O número de inversores depende da quantidade de entradas dos mesmos de baterias de cada EC que, no caso, serão agrupadas em trios, para estabelecer a tensão de 36 V. Na Tabela 16 constam os números de inversores necessários em cada EC.

Tabela 16 – Quantidade de inversores por EC.

EC	Quantidade de baterias	Quantidade de trios de baterias	Nº de entradas do inversor	Quantidade de inversores
EC1	78	26	4	7
EC2	99	33		9
EC3	117	39		10

Fonte: O próprio autor.

4.7 Dimensionamento arquitetônico

Calcula-se, através da Equação 4.5, a área ocupada por um módulo:

$$\text{ÁreaDoMódulo} = \text{Largura} \cdot \text{Altura} \quad (4.5)$$

Com os dados da Tabela 5, calcula-se:

$$\text{ÁreaDoMódulo} = 1,9600m \cdot 0,9920m$$

$$\text{ÁreaDoMódulo} = 1,9443m^2$$

Portanto, a área ocupada apenas pelos módulos é calculada conforme a Equação 4.6, e os valores calculados para cada tipo de EC constam na Tabela 17:

$$\text{ÁreaEfetiva} = \text{NºDeMódulos} \cdot \text{ÁreaDoMódulo} \quad (4.6)$$

Tabela 17 – Áreas ocupadas pelos módulos em cada tipo de EC

EC	Número de Módulos	Área do Módulo (m ²)	Área (m ²)
EC1	151	1,9443	293,59
EC2	189		367,47
EC3	227		441,36

Fonte: O próprio autor.

Para estimar a área de cada EC, se faz necessário calcular a área ocupada pelos demais equipamentos. As Tabelas 10, 13 e 15 trazem as suas dimensões, em que é possível calcular a área em que cada item ocupa individualmente. A Tabela 18 contém os dados das áreas totais ocupadas por cada equipamento, incluindo as áreas efetivas constantes na Tabela 17. Além disso, foram previstas as instalações de 3 ECs, por motivos de comodidade (sendo possível, assim, realizar a carga de três VEs ao mesmo tempo), em que para cada uma está disponível uma vaga para estacionar um carro (cujas dimensões são 2,5m x 5m). Por fim, foi considerada uma margem de 30% sobre as áreas calculadas, o que engloba os espaços entre os módulos, corredores e demais áreas dentro do terreno de cada tipo de EC.

4.8 Dimensionamento arquitetônico

Tabela 18 – Áreas ocupadas pelas ECs

Item	Área Individual (m ²)	Quantidade		
		EC1	EC2	EC3
Módulos	1,94	151	189	227
Carregadores	0,09	3	3	3
Controladores	0,03	14	17	21
Baterias	0,13	78	99	117
Inversores	0,12	7	9	10
Vagas de Estacionamento	12,5	3	3	3
Área Total (m²)		445,27	545,21	644,54

Fonte: O próprio autor.

Assim, consideram-se dimensionados todos os itens dos projetos das ECs. Estão dimensionados os módulos FVs, os controladores, os inversores e as baterias, bem como estão calculadas as capacidades de atendimento para recargas para diferentes cenários (para diferentes porcentagens de recargas) e as áreas a serem ocupadas por cada tipo de EC.

4.9 Estimativa do custo de implementação das ECs

A partir da quantidade de cada equipamento das ECs, estima-se os custos de implementação das ECs considerando apenas os componentes eletrônicos já dimensionados. A Tabela 19 mostra os valores estimados.

Tabela 19 – Estimativas dos custos de implementação de cada EC

Item	Valor Individual	Valor		
		EC1	EC2	EC3
Módulos	R\$ 910,00	R\$ 137.410,00	R\$ 171.990,00	R\$ 206.570,00
Carregadores	R\$ 9679,00	R\$ 29.037,00	R\$ 29.037,00	R\$ 29.037,00
Controladores	R\$ 709,00	R\$ 9.926,00	R\$ 12.053,00	R\$ 14.889,00
Baterias	R\$ 2.689,00	R\$ 209.742,00	R\$ 266.211,00	R\$ 314.613,00
Inversores	R\$ 5500,00	R\$ 38.500,00	R\$ 49.500,00	R\$ 55.000,00
Valor Total (R\$)		R\$ 424.615,00	R\$ 528.791,00	R\$ 620.109,00

Fonte: Google Shopping.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo tem como objetivo discutir os resultados obtidos através do dimensionamento das ECs. Serão analisadas as suas aplicações considerando capacidade de atendimento, trajetos e possíveis aplicações.

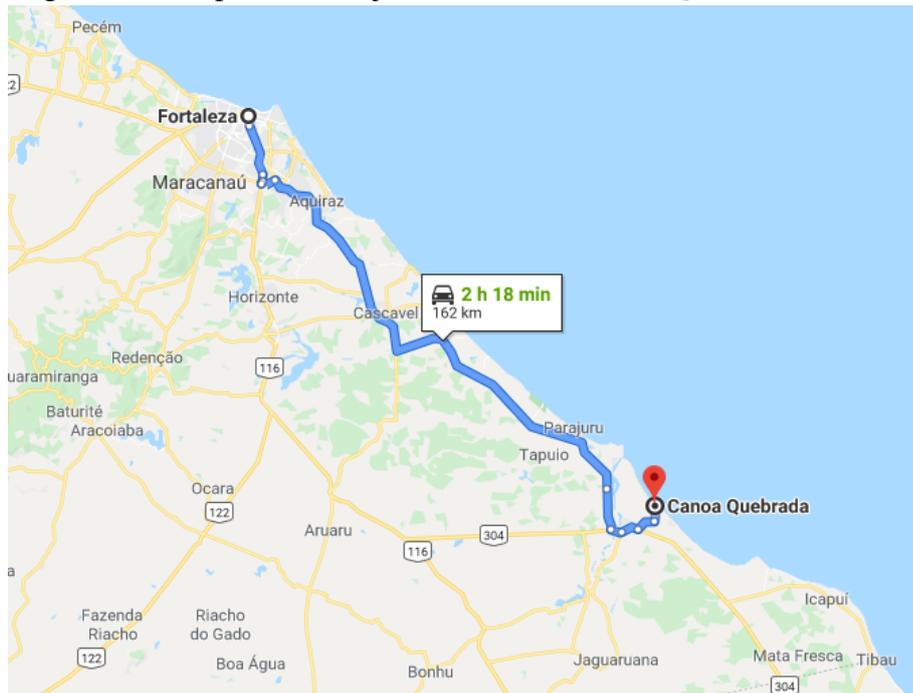
Os VEs mencionados e descritos no Tópico 3.1, possuem, em média, autonomia de 300 km com uma carga completa, considerando uma capacidade média de bateria de 40 kWh. Sendo assim, os resultados serão analisados considerando os cenários para cargas completas (realizadas em cerca de 2h30min, chamado de C1, e em que apenas cargas de 20% seriam realizadas (que levam apenas meia hora), chamado de C2, assim como analisado por (MENEZES, 2019). Nesses dois cenários, as cargas resultam em autonomies de 300 km e 60 km, assumindo que a relação seja linear. Interessante lembrar que, conforme mostrado na Tabela 8, a EC1 consegue atender diariamente 5 VEs no C1 e 27 VEs no C2, enquanto a EC2 atende até 6 VEs no C1 e 34 VEs no C2 e, por fim, a EC3 possui capacidade de recarregar 8 VEs no C1 e 40 VEs no C2.

Considerando alguns destinos turísticos do Ceará e partindo de Fortaleza, as ECs são uma alternativa para a criação eletrovias e viabilizar o acesso de VEs, integrando o turismo com a sustentabilidade. O trajeto Fortaleza - Canoa Quebrada, litoral leste do Ceará, realizado pela rodovia CE-040 (mapa do trajeto na Figura 19) e que dista cerca de 162 km, precisa de apenas duas ECs – um em cada ponto de partida – e ainda sobram 138 km de autonomia para os veículos que fossem transitar no trecho. Nesse caso, se apenas ECs do tipo 1 fossem utilizados, é possível atender 10 carros no C1, enquanto um conjunto de ECs do tipo 3 é capaz de atender 16. Já considerando o C2, são necessárias 4 ECs, em que as combinações dos três tipos são capazes de atender entre 108 e 160 VEs.

O trajeto Fortaleza - Jericoacoara, litoral oeste do Ceará, por sua vez, que dista cerca de 300 km e é feito majoritariamente pela CE-085 (Conforme mostrado na Figura 20, precisa também de apenas duas ECs, um em cada ponto de partida, no C1. Já no C2, cinco ECs são o suficiente. A eletrovias podem ser atender entre 135 e 200 VEs.

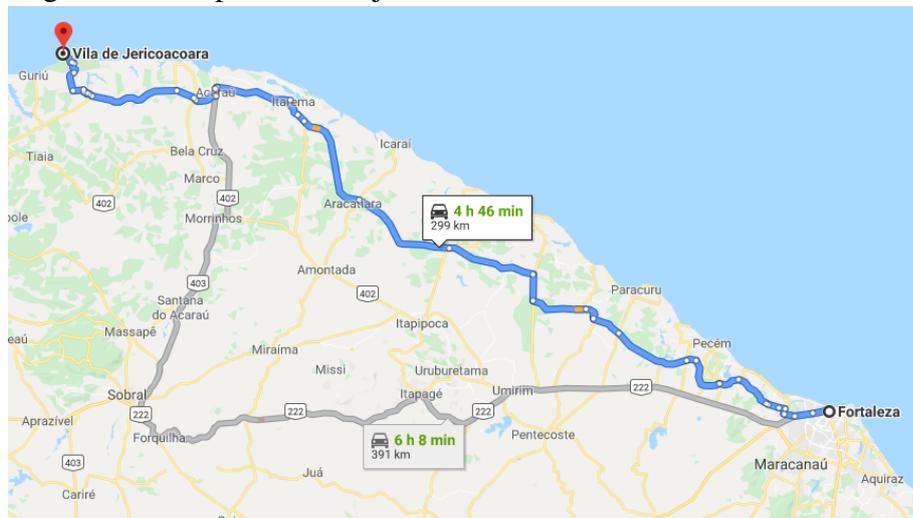
Já para o trajeto Fortaleza - Sobral, cidade da região norte do estado, também precisaria de apenas duas ECs no C1, em que ainda restam 69 km de autonomia, e de quatro no C2, visto que o trecho, feito em sua maior parte pela BR-222, dista 231 km. Assim como no caso do trecho Fortaleza - Canoa Quebrada, a eletrovia é capaz de atender entre 10 e 16 VEs no C1 e entre 108 e 160 no C2.

Figura 19 – Mapa com o trajeto Fortaleza - Canoa Quebrada.



Fonte: Google Maps

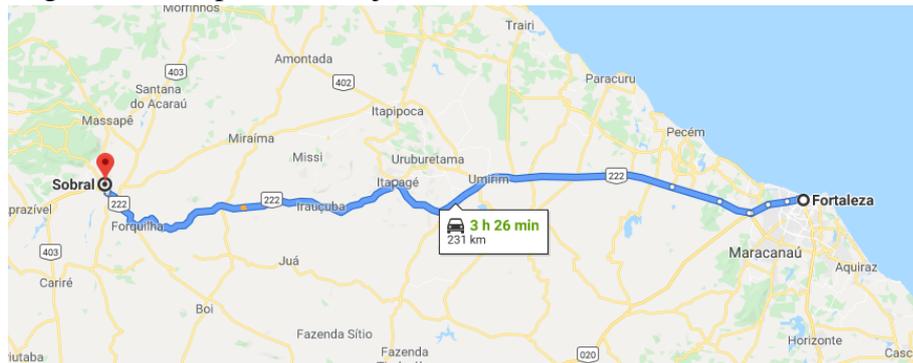
Figura 20 – Mapa com o trajeto Fortaleza - Jericoacoara.



Fonte: Google Maps

Nesses três casos, é economicamente muito mais vantajoso realizar os trajetos com VEs do que com carros a combustão, que custam, R\$ 0,08 por km e R\$ 0,50 por km, respectivamente, conforme mencionado em (2.3.4). Os trechos mencionados anteriormente, que distam 162 km, 300 km e 231 km, custam, respectivamente, R\$ 13, R\$ 24 e R\$ 18 no caso de um VE, enquanto um carro a gasolina demanda gastos de R\$ 81, R\$ 150 e R\$ 116. Apesar de ser bastante econômico em termos de quilômetros rodados por reais, os VEs ainda são bem mais caros que os carros à combustão, além de possuir custos elevados com manutenção (como

Figura 21 – Mapa com o trajeto Fortaleza - Sobral.



Fonte: Google Maps

a substituição periódica das baterias).

No caso de trajetos na capital, os trechos Messejana - Centro, Campus do Pici - Unifor e Parangaba - Papicu, que distam cerca de 15 km, podem ser realizados quatro vezes com apenas uma recarga de 20%. Já os trajetos Antônio Bezerra - Centro, Montese - Edson Queiroz e Cambéba - Aldeota, que distam 10 km, podem ser percorridos 6 vezes com a mesma recarga.

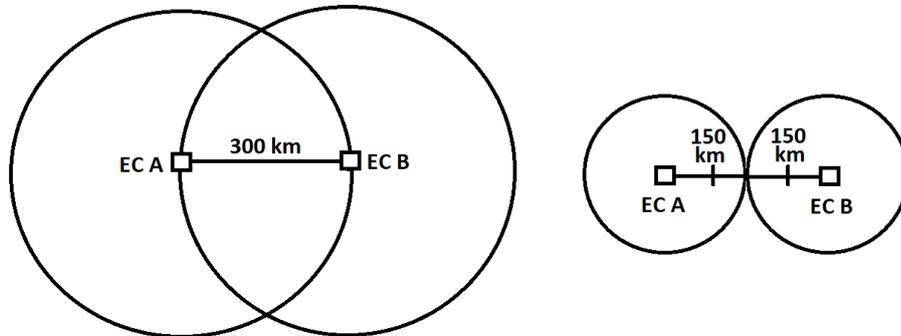
Pensando em trajetos intermunicipais, o trecho Fortaleza - Maracanaú – cidade que concentra o maior pólo industrial do estado – pode ser realizado duas vezes também com apenas meia hora de recarga. Para ir do centro de Caucaia – maior cidade da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) em extensão territorial – ao centro da capital, pode ser percorrido por três vezes, ainda com a mesma recarga do caso anterior. Os dois trechos custam apenas R\$ 2,40 e R\$ 1,60, respectivamente, enquanto é necessário despender R\$ 10 e R\$ 15 no caso de utilizar veículos a gasolina.

As ECs dimensionadas possuem um vasto potencial em termos de onde podem ser instalados. As áreas totais no caso de serem instaladas no solo, de 445,27 m², 545,21 m² e 644,54 m² para ECs EC1, EC2 e EC3, respectivamente, não são tão extensas e podem ser instalados às margens da maioria das estradas cearenses, por exemplo. No contexto da capital, que possui menos espaços disponíveis, é uma boa alternativa a instalação das ECs com os módulos FV em tetos de estabelecimentos, que ocupam, conforme mostrado na Tabela 17, 293,59 m², 367,47 m² e 441,36 m². Essa extensão permite a instalação dos módulos, por exemplo, no topo de fachadas de postos de combustíveis, como estudado em (MENEZES, 2019). No caso, o autor fez um levantamento de dez postos na capital cearense, em que as áreas das fachadas variaram entre 271,08 m² e 836,96 m².

Analisando as zonas de atendimento das ECs, é definido que, para não haver sobreposição de áreas, cada estação terá uma zona de atendimento cujo o raio é metade das autonomias

de C1 e C2. A Figura 22 mostra as zonas de duas ECs para o C1, em que a autonomia é de 300 km.

Figura 22 – Zonas de atendimentos das ECs com e sem sobreposição no C1.



Fonte: O próprio autor.

Sendo assim, a zona de atendimento no C1 é de 70.650 km^2 , quando no C2 a área é de 2.826 km^2 . Segundo (EDUCAÇÃO, 2019), a área do Ceará é de $148.825,602 \text{ km}^2$, então seriam necessárias, no mínimo, 3 ECs no C1 e 53 no C2, para atender todo o estado do Ceará.

Por fim, é importante notar que como as usinas FV geram energia apenas durante o dia, é possível que durante a operação das ECs, VEs estejam abastecendo e consumindo mais energia do que a armazenada das baterias das ECs mais aquela sendo gerada instantaneamente pelos módulos. Dessa forma, é necessário que as ECs, antes de entrarem em operação pela primeira vez, gerem energia durante um dia inteiro para que, no próximo dia, exista a garantia que toda a demanda de recargas seja atendida, de maneira que a geração diária sirva apenas para completar novamente a carga das baterias.

6 CONCLUSÕES

Como abordado, os VEs estão se popularizando, ao ponto em que, até 2040, 32% de toda a frota mundial de veículos serão de VEs e 57% de todas as vendas de veículos "de passeio" serão de VEs. Em vários países já existe metas para banir a venda e a utilização de carros à combustão, ao passo que surgem políticas de incentivos ao uso de VEs.

Como não basta substituir a frota de veículos por VEs recarregados com energia elétrica produzida em fontes poluentes, o presente TCC se preocupou em desenvolver ECs que se utilizam puramente de energia solar, por ser limpa, renovável e, dentro da realidade do estado do Ceará, apresenta um potencial de geração elevado, postas as condições geográficas favoráveis.

Com as ECs, é possível transformar rodovias do Ceará em eletrovias, sendo possível percorrer trechos que levam a destinos turísticos do estado, como as praias de Jericoacoara e Canoa Quebrada e a cidade de Sobral, cujos caminhos partindo de e chegando em Fortaleza são realizados através da CE-085, CE-040 e BR-222, respectivamente. Foi constatado que, mesmo em um cenário em que apenas cargas de 20% fossem realizadas, as eletrovias demandam não mais que cinco ECs, que é o caso do trecho Fortaleza - Jericoacoara.

Além disso, ainda considerando apenas cargas de 20%, foi verificado que é possível realizar vários trechos entre pontos da capital diversas vezes, necessitando apenas de meia hora de recarga. Foram analisados, ainda, alguns trechos intermunicipais, ligando Fortaleza a cidades da RMF, em que no mínimo podem ser feitas duas viagens com a mesma recarga para a cidade de Maracanaú, enquanto para Caucaia, três viagens são possíveis.

Em todos os trechos analisados, os custos são muito menores quando comparados a utilização de combustíveis fósseis como energia. Conforme mencionado, os carros à gasolina custam mais de seis vezes por km rodado que os VEs, o que faz uma viagem de Fortaleza até Jericoacoara, por exemplo, custar apenas R\$ 24, muito mais vantajoso que os R\$ 150 que seriam gastos com um carro à gasolina. Viagens para Caucaia e Maracanaú, por sua vez, custam menos de R\$ 2,50 cada, ou seja, mais barato do que um bilhete de transporte público.

Ademais, as áreas das ECs projetadas não são extensas, podendo ser possíveis de serem instaladas em tetos de estabelecimentos como em postos de combustíveis, estacionamentos e *shopping centers* considerando apenas os módulos FV a serem instalados nessa posição. Mesmo com instalação no solo, as ECs não ocupam uma área muito extensa.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se, em trabalhos futuros, a abordagem das seguintes questões:

- Fazer o diagrama unifilar das ECs em *software* de modelagem (como AutoCAD, Revit ou similares), bem como indicar os esquemas de ligação e as conexões entre os equipamentos;
- Projeto de ECs alimentadas por usinas de minigeração, analisando a quantidade de VEs que poderiam ser atendidos;
- Verificar a aplicabilidade de PRs alimentados por usinas de geração FV em outros estados;
- Estudar metodologias para escolher os melhores locais para a instalação dos PRs, de maneira a maximizar o número de atendimentos;
- Realizar um estudo aprofundado custo de implementação das ECs, bem como buscar métodos para precificar as recargas.

REFERÊNCIAS

- 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: 17 nov. 2019.
- ANEEL. **Geração Distribuída**. 2015. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 15 nov. 2019.
- ANTUNES, P. **Veículos Elétricos, Funcionamento e seus Benefícios**. 2018. 73f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário UNIFACVEST, 2018.
- AUTOESPORTE. **Quanto custa carregar um carro elétrico em casa ?** 2019. Disponível em: <<https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2019/10/quanto-custa-carregar-um-carro-eletrico-em-casa.html>>. Acesso em: 30 out. 2019.
- AUTOESPORTE, R. **Startup de compartilhamento de carros elétricos começa a operar em SP**. 2019. Disponível em: <<https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2019/08/startup-de-compartilhamento-de-carros-eletricos-comeca-operar-em-sp.html>>. Acesso em: 17 out. 2019.
- AUTOO. **Nissan Leaf torna-se o carro elétrico mais vendido do mundo**. 2019. Disponível em: <<https://www.autoo.com.br/nissan-leaf-torna-se-o-carro-eletrico-mais-vendido-do-mundo/>>. Acesso em: 30 out. 2019.
- BARAN, R.; LEGEY, L. F. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. 2011. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Galerias/Convivencia/Publicacoes/Consulta_Expressa/Setor/Complexo_Automotivo/201103_06.html>. Acesso em: 15 out. 2019.
- 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: 19 out. 2019.
- BNEF. **Electric Transport Revolution Set To Spread Rapidly Into Light and Medium Commercial Vehicle Market**. 2019. Disponível em: <<https://about.bnef.com/blog/electric-transport-revolution-set-spread-rapidly-light-medium-commercial-vehicle-market/>>. Acesso em: 27 set. 2019.
- 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: 13 out. 2019.
- 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: 13 out. 2019.
- CANALTECH. **O Brasil está preparado para lidar com a crescente frota de carros elétricos?** 2016. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/carros/>>

o-brasil-esta-preparado-para-lidar-com-a-crescente-frota-de-carros-eletricos-63659/>. Acesso em: 17 out. 2019.

CARROS, U. **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: 22 set. 2019.

CAVALCANTE, Y. **Análise do Potencial de Plantas Fotovoltaicas Flutuantes em Açudes do Ceará.** 2018. 90f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará (UFC), 2018.

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 out. 2019.

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: 13 out. 2019.

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/epe-ve-carros-eletricos-com-fatia-de-25-dos-veiculos-leves-em-2026.ghtml>>. Acesso em: 19 out. 2019.

EDUCAÇÃO, M. **Ceará.** 2019. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/ceara.htm>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

ELÉTRICA, M. da. **Carros elétricos, tipos e características!** 2018. Disponível em:

<<https://www.mundodaeletrica.com.br/carros-eletricos-tipos-e-caracteristicas/>>. Acesso em: 13 out. 2019.

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_2012_EPE>. Acesso em: 17 nov. 2019.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2019 (Relatório Final).** 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2019 (Relatório Síntese).** 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

EPTV. **Rodovia Fernão Dias instala ponto de recarga para veículos elétricos em Extrema, MG.** 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2019/05/17/rodovia-fernao-dias-instala-ponto-de-recarga-para-veiculos-eletricos.ghtml>>. Acesso em: 22 set. 2019.

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-amanha-programa-de-investimentos-de-r-200-mi-para-setor-automotivo,70003017127>>. Acesso em: 19 out. 2019.

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: 15 out. 2019.

FOLHA. **Mirando expansão de carros elétricos, empresa mineira cria carregador público.** 2018. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/06/mirando-expansao-de-carros-eletricos-empresa-mineira-cria-carregador-publico.shtml>>. Acesso em: 26 set. 2019.

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: 23 set. 2019.

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.

FUNCEME. **Atlas Solarimétrico do Ceará.** Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), 2010.

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: 22 set. 2019.

G1. **Homicídios mataram mais que conflitos armados em 2017, diz ONU.** 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2019/07/08/homicidios-mataram-mais-que-conflitos-armados-em-2017-diz-onu.ghtml>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

HISTÓRIA, S. **Resumo - Revolução Industrial.** 2018. Disponível em: <<https://www.sohistoria.com.br/resumos/revolucaoindustrial.php>>. Acesso em: 21 out. 2019.

HOYER, K. G. **The History of Alternative Fuels in Transportation: The Case of electric and Hybrid Cars.** Utilities Policy. S/l: Elsevier, 2008.

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

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão.** Revista Virtual de Química, 2014. Disponível em: <<http://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/664>>. Acesso em: 17 nov. 2019.

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.

MINAS, E. de. **Chevrolet Bolt, Nissan Leaf e Renault Zoe com vendas e preços definidos para o Brasil.** 2018. Disponível em: <https://estadodeminas.vrum.com.br/app/noticia/noticias/2018/11/07/interna_noticias,53464/chevrolet-bolt-nissan-leaf-e-renault-zoe-vendas-e-precos-definidos.shtml>. Acesso em: 08 out. 2019.

MME. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. 2013. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/control-de-emissoes-veiculares/grupo-de-trabalho-invent%C3%A1rio-nacional>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

NISSAN. **E-Catálogo Leaf**. 2019. Disponível em: <<https://www.nissan.pt/veiculos/novos-veiculos/leaf/preco-e-versoes.html>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

OPOVO. **Ceará e Fortaleza são os principais geradores de energia solar fotovoltaica no Nordeste**. 2019. Disponível em: <<https://www.opovo.com.br/noticias/ceara/2019/04/09/ceara-e-fortaleza-sao-os-principais-geradores-de-energia-solar-fotovoltaica-no-nordeste.html>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

PARANÁ, A. de Notícias do. **Eletrovia Copel completa um ano com mais de 300 recargas**. 2019. Disponível em: <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=101623&tit=Eletrovia-Copel-completa-um-ano-com-mais-de-300-abastecimentos->>. Acesso em: 22 set. 2019.

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: 17 out. 2019.

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: 17 nov. 2019.

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: 24 set. 2019.

RIBEIRO, E.; SILVA, M. **Um Retrato do Semi-árido Cearense**. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), 2010.

SCHNEIDER. **EVlink Catalog 2019**. 2019. Disponível em: <<https://www.schneider-electric.com/en/product/EVF2S22P02/evlink-parking-floor-standing-22kw-1xt2-ev-charging-station/?range=60850-evlink-parking&node=316394733-charging-station&filter=business-4-low-voltage-products-and-systems>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

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: 18 out. 2019.

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: 18 out. 2019.

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: 18 out. 2019.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado. (Texto para Discussão nº 166, 2015. Disponível em: <www.senado.leg.br/estudos>. Acesso em: 17 nov. 2019.

SOLAR, C. **Datasheet Max Power CS6U-P**. 2018. Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com/en/downloads>>. Acesso em: 09 nov. 2019.

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: 15 out. 2019.

TECHNOLOGY, E. E. **Tracer AN series EPSOLAR TECHNOLOGY MPPT Solar Charge Controller**. 2018. Disponível em: <<https://www.epsolarpv.com/product/44.html>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

TECMUNDO. **Governo alemão vota pelo fim da criação de carros a combustão até 2030**. 2016. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/tecmundo-auto/110530-governo-alemao-vota-fim-criacao-carros-combustao-2030.htm>>. Acesso em: 22 set. 2019.

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: 22 set. 2019.

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: 22 set. 2019.

European Society of Cardiology. **Air pollution causes 8.8 million extra early deaths a year**. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedaily.com/releases/2019/03/190312075933.htm>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

TUDO, . em. **O descobrimento do fogo**. 2012. Disponível em: <<https://www.10emtudo.com.br/artigo/o-descobrimento-do-fogo/>>. Acesso em: 21 out. 2019.

UOL. **BMW anuncia eletrovia RJ-SP na próxima semana: "Maior da América Latina"**. 2018. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2018/07/13/bmw-anuncia-eletovia-rj-sp-na-proxima-semana-maior-da-america-latina.htm>>. Acesso em: 22 set. 2019.

UOL. **Novo Renault Zoe estreia mais equipado e com 390 km de autonomia**. 2019. Disponível em: <<https://motor1.uol.com.br/news/355130/novo-renault-zoe-2020-oficial/>>. Acesso em: 08 out. 2019.

WEBMOTORS. **França quer proibir os carros a combustão até 2040**. 2019. Disponível em: <<https://www.webmotors.com.br/wm1/noticias/franca-quer-proibir-carros-a-combustao-ate-2040>>. Acesso em: 22 set. 2019.

WEG. **SIW300H E SIW500H - INVERSORES STRING**. 2019. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/ha4/h35/WEG-inversores-string-SIW500H-SIW300H-50076575-pt.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

ÉPOCA. **A disparada do carro elétrico**. 2017. Disponível em: <<https://epoca.globo.com/tecnologia/noticia/2017/10/disparada-do-carro-eletrico.html>>. Acesso em: 15 out. 2019.

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 out. 2019.

ÉPOCA. **Weg anuncia parceria para converter veículos à combustão em carros elétricos.** 2019. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Empresa/noticia/2019/09/weg-anuncia-parceria-para-converter-veiculos-combustao-em-carros-eletricos.html>>. Acesso em: 16 out. 2019.