

INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – *CAMPUS* ITABIRITO

ENGENHARIA ELÉTRICA

Guilherme de Assis Braga

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DE UMA FROTA
CORPORATIVA A COMBUSTÃO POR UMA FROTA ELÉTRICA COM RECARGA
PROVENIENTE DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

**Itabirito
Dezembro de 2025**

Guilherme de Assis Braga

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DE UMA FROTA
CORPORATIVA A COMBUSTÃO POR UMA FROTA ELÉTRICA COM RECARGA
PROVENIENTE DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Itabirito, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. William Caires Silva Amorim

**Itabirito
Dezembro de 2025**

FICHA CATALOGRÁFICA

B813a Braga, Guilherme de Assis
2025

Análise de viabilidade econômica da substituição de uma frota corporativa a combustão por uma frota elétrica com recarga proveniente de energia solar fotovoltaica / Guilherme de Assis Braga. – 2025.

101 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Itabirito, 2025.

Orientador: Dr. William Caires Silva Amorim.

1. Carros elétricos. 2. Energia solar. 3. Environmental, social and governance. 4. Sustentabilidade. 5. Usina solar fotovoltaica. I. Braga, Guilherme de Assis. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Itabirito. III. Título.

CDD 621.473

Elaborada pela Biblioteca Jarbas Nazareth de Souza – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Itabirito

Bibliotecário Responsável: Veríssimo Amaral Matias – CRB-6/3266



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Itabirito
Diretoria de Ensino
Docentes do Campus Itabirito
Rua José Benedito, 139 - Bairro Santa Efigênia - CEP 35450-000 - Itabirito - MG
- www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Análise de Viabilidade Econômica da Substituição de uma Frota Corporativa a Combustão por uma Frota Elétrica com Recarga Proveniente de Energia Solar Fotovoltaica

Guilherme de Assis Braga

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Itabirito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Aprovado em 05/12/2025 pela banca examinadora:

Prof. Dr. William Caires Silva Amorim (IFMG)
Orientador (presidente da banca avaliadora)

Prof. Dr. Bruno Renó Gama (IFMG)
Membro avaliador

Profa. Dra. Cláudia Rejane de Mesquita (IFMG)
Membro avaliador

Itabirito, 05 de dezembro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Renó Gama, Professor Substituto**, em 05/12/2025, às 21:56, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **William Caires Silva Amorim, Professor**, em 05/12/2025, às 22:09, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Cláudia Rejane de Mesquita, Professora**, em 05/12/2025, às 22:28, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2515527** e o código CRC **F49DE0CD**.

23810.000593/2025-31

2515527v1

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, a Deus pelo privilégio da vida e por me conceder forças para superar os desafios ao longo dessa jornada.

Aos meus familiares e amigos, pelo apoio e carinho de sempre, que foi crucial para a concretização desta etapa.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. William Caires Silva Amorim pelas valiosas contribuições e disponibilidade ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, e não menos importante, agradeço aos meus amigos e colegas de sala pela parceria e companheirismo durante essa difícil, porém enriquecedora, caminhada acadêmica. Estendo meus agradecimentos a todo o corpo docente do IFMG – *Campus* Itabirito, pela dedicação e compromisso com o ensino.

"Não é o mais forte das espécies que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças."

Charles Darwin

RESUMO

Nas últimas décadas, o setor de transportes tem sido responsável por parcela significativa das emissões globais de gases de efeito estufa, impulsionado pelo uso intensivo de combustíveis fósseis. No Brasil essa realidade também se repete, e em 2023, o transporte respondeu por 44% das emissões relacionadas à energia e processos industriais, alcançando um recorde histórico no consumo de diesel e gasolina (SEEG, 2024). Esse cenário evidencia a necessidade urgente de transição para alternativas mais limpas, capazes de conciliar crescimento econômico, redução de impactos ambientais e atendimento às novas exigências de mercado. Nesse contexto, os veículos elétricos têm se consolidado como alternativa promissora para reduzir a dependência de combustíveis fósseis (IEA, 2023), especialmente quando associados a fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica, que apresenta elevado potencial no Brasil (Pereira *et al.*, 2017). Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da substituição da frota de veículos a combustão de uma empresa fictícia por modelos elétricos, considerando o abastecimento integral por meio de um sistema fotovoltaico dedicado. A metodologia incluiu o levantamento do perfil atual da frota, consumo mensal de combustível, emissão de CO₂ associada e custos operacionais. Com base nesses dados, foram selecionados modelos equivalentes de veículos elétricos e projetado um sistema de geração fotovoltaica para atender integralmente a demanda energética da nova frota, incluindo o número de pontos de recarga necessários. Foram considerados fatores como autonomia dos veículos, perfil de uso diário, eficiência dos carregadores e irradiação solar local. A análise de viabilidade foi conduzida por meio da metodologia multi-índice que utiliza indicadores econômicos clássicos, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback*.

Os resultados demonstraram que, apesar dos benefícios ambientais e da redução anual estimada de aproximadamente 37,6 toneladas de CO₂, e da redução de 80% do custo por quilometro, ao analisar os indicadores da metodologia multi-índice o projeto não se mostrou economicamente viável nas condições atuais. O principal fator para a inviabilidade foi o alto investimento inicial, calculado em R\$ 2,27 milhões, sendo que cerca de 94% desse montante corresponde ao custo de aquisição dos veículos elétricos, ainda elevado no mercado brasileiro. Na análise econômica do cenário base, o VPL resultou em –R\$ 1 milhão, o TIR obtido foi apenas 3,78% evidenciando retorno insuficiente frente à TMA adotada (9,47% ao ano). Entretanto, análises complementares realizadas a partir de um cenário alternativo envolvendo a aquisição de veículos elétricos seminovos, evidenciando que o projeto pode tornar-se viável sob condições específicas. Conclui-se que a integração entre mobilidade elétrica e energia solar representa uma solução estratégica para empresas que desejam alinhar seus valores aos princípios ESG (ambiental, social e de governança, do inglês, *environmental, social and governance*), contudo, a viabilidade econômica ainda depende de políticas públicas, incentivos fiscais mais robustos e redução do custo de alguns modelos de veículos elétricos no Brasil.

Palavras-chave: Carros Elétricos; Energia Solar; ESG; Sustentabilidade; Usina Solar Fotovoltaica; Viabilidade Econômica; Recarga Veicular; Geração Distribuída.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Emissões de gases de efeito estufa nas atividades de energia 1970 a 2023	13
Figura 02 – Série histórica de veículos leves eletrificados no Brasil	14
Figura 03 – Conexões anuais na geração distribuída (Jan/2016 a Set/2025)	15
Figura 04 – Réplica do VE de 1881 desenvolvido por Gustave Trouvé	19
Figura 05 – Protótipo GM Electrovette 1976	21
Figura 06 – Toyota Prius 1997 Híbrido	22
Figura 07 – Tesla Model Y, o veículo mais vendido do mundo em 2024.	23
Figura 08 – Tipos de Veículos Elétricos	25
Figura 09 – Comparativo consumo energético veículos elétricos vs combustão.	26
Figura 10 – Vendas globais de carros elétricos 2014-2024.....	28
Figura 11 – Série de vendas de veículos leves eletrificados no Brasil 2012-jun/2025	30
Figura 12 – Evolução dos eletropostos no Brasil.	31
Figura 13 – Carregador do tipo emergencial.....	32
Figura 14 – Carregador do tipo portátil.....	33
Figura 15 – Carregador do tipo residencial.	33
Figura 16 – Carregador do tipo carga rápida.....	34
Figura 17 – Carregador do tipo comercial.....	34
Figura 18 – Principais eventos para o desenvolvimento da tecnologia FV	38
Figura 19 - Estrutura de um módulo baseado em células de silício cristalino	39
Figura 20 – Instalação típica sistema <i>on-grid</i>	40
Figura 21 – Instalação típica sistema <i>off-grid</i>	40
Figura 22 – Instalação típica sistema híbrido	41
Figura 23 - Potencial de geração solar fotovoltaica para o Brasil vs Alemanha	41
Figura 24 – Potencial FV mensal no Brasil.....	42
Figura 25 – Matriz elétrica Brasileira	43
Figura 26 – Aterramento esquema TT	50
Figura 27 – Histórico taxa Selic	53
Figura 28 - Carregador WEG Wemob 2 x 23kW.....	60
Figura 29 – Média de Irradiância para Belo Horizonte.....	63
Figura 30 – Esquema de aterramento do sistema	70
Figura 31 – Diagrama do lado ca	71
Figura 32 – Diagrama do lado cc	71

Figura 33 – Disposição dos 49 módulos	72
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Ranking de veículos vendidos no primeiro semestre de 2025.....	30
Tabela 02 – Percentual TUSD FIO B.....	44
Tabela 03 – Levantamento de veículos elétricos disponíveis no Brasil por categoria	46
Tabela 04 – Dados da frota atual da empresa fictícia.....	57
Tabela 05 – Custo com combustível mensal por veículo da frota atual.....	58
Tabela 06 – Emissão da frota atual da empresa fictícia	58
Tabela 07 – Nova frota composta por veículos elétricos	59
Tabela 08 – Potência máxima suportada pela nova frota.....	59
Tabela 09 – Levantamento de carregadores no mercado	60
Tabela 10 – Especificações técnicas WEG Wemob 2 x 23kW	60
Tabela 11 - Tempo médio de carregamento	61
Tabela 12 – Valor de venda da frota a Combustão	72
Tabela 13 – Custo Aquisição VE's	73
Tabela 14 – Custo implantação usina solar fotovoltaica.....	73
Tabela 15 – Fluxo de caixa para o horizonte de 25 anos	77
Tabela 16 – Resultado dos indicadores	77
Tabela 17 – Custo/km frota a combustão.....	78
Tabela 18 – Custo/km frota 100% elétrica carga pela concessionária	78
Tabela 19 - Cálculo LCOE.....	79
Tabela 20 – Custo/km frota 100% elétrica carga pela UFV	80
Tabela 21 – Custo aquisição veículos elétricos seminovos.....	81
Tabela 22 – Fluxo de caixa cenário alternativo.....	83
Tabela 23 – Resultados do <i>software</i> SAVEPI para o cenário alternativo	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização do Tema	16
1.2	Objetivos	16
1.2.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>16</i>
1.2.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>16</i>
1.3	Estrutura da Monografia.....	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	Carros Elétricos.....	18
2.1.1	<i>Histórico.....</i>	<i>18</i>
2.1.2	<i>Tipo de Veículos Elétricos.....</i>	<i>23</i>
2.1.3	<i>Impacto Ambiental</i>	<i>25</i>
2.1.4	<i>Consumo, vida útil das baterias e manutenção</i>	<i>26</i>
2.1.5	<i>Cenário da frota de veículos elétricos.....</i>	<i>28</i>
2.1.6	<i>Eletropostos e tipos de carregadores.....</i>	<i>30</i>
2.1.7	<i>Incentivos e políticas públicas.....</i>	<i>34</i>
2.2	Geração fotovoltaica.....	35
2.2.1	<i>Histórico.....</i>	<i>36</i>
2.2.2	<i>Célula fotovoltaica e módulo fotovoltaico</i>	<i>39</i>
2.2.3	<i>Tipos de sistemas fotovoltaicos</i>	<i>39</i>
2.2.4	<i>Potencial fotovoltaico/solar no Brasil.....</i>	<i>41</i>
2.2.5	<i>Regulamentação no Brasil.....</i>	<i>43</i>
2.3	Considerações parciais.....	44
3	METODOLOGIA.....	45
3.1	Levantamento dos dados da frota e consumo combustível da empresa	45
3.2	Levantamento dos carros elétricos semelhantes ao da frota a combustão	45
3.3	Dimensionamento do sistema de recarga e geração solar fotovoltaica.....	46
3.3.1	<i>Dimensionamento dos carregadores.....</i>	<i>46</i>
3.3.2	<i>Dimensionamento dos módulos e inversores da usina solar fotovoltaica (UFV)</i>	<i>47</i>
3.3.3	<i>Dimensionamento da proteção cc e ca da UFV</i>	<i>48</i>
3.3.3.1	<i>Proteção Corrente Contínua (cc).....</i>	<i>48</i>
3.3.3.2	<i>Proteção Corrente Alternada (ca).....</i>	<i>49</i>
3.3.4	<i>Dimensionamento dos cabos cc e ca da UFV.....</i>	<i>49</i>
3.3.4.1	<i>Cabos cc</i>	<i>49</i>
3.3.4.2	<i>Cabos ca.....</i>	<i>49</i>
3.3.5	<i>Dimensionamento do aterramento da UFV</i>	<i>50</i>

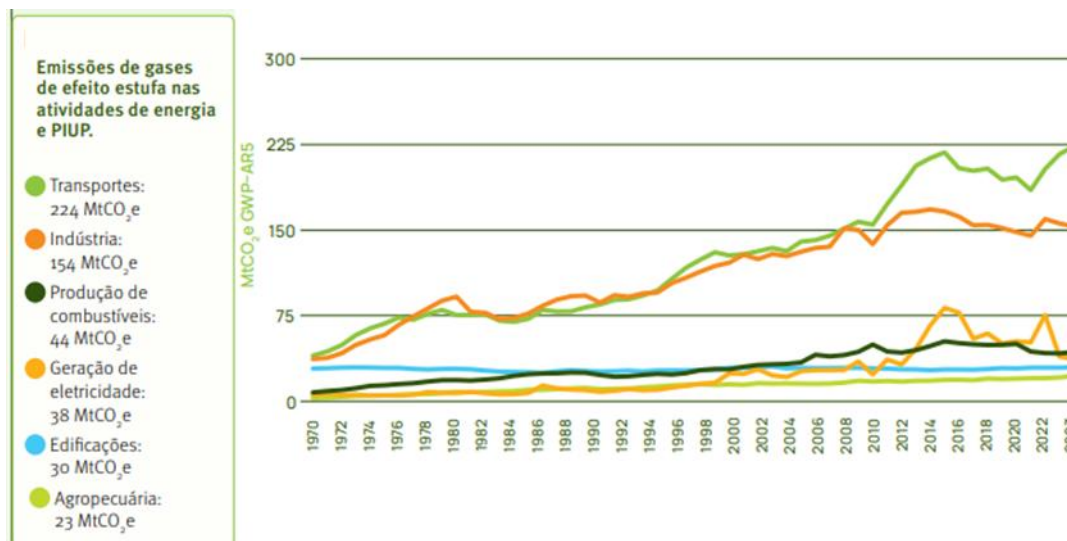
3.4	Análise de viabilidade econômica: Metodologia Multi-Índice	50
3.4.1	<i>Investimento inicial (FC0) e fluxo de caixa (FCJ).....</i>	<i>51</i>
3.4.2	<i>N – Horizonte de Planejamento.....</i>	<i>52</i>
3.4.3	<i>TMA – Taxa Mínima de Atratividade.....</i>	<i>52</i>
3.4.4	<i>VPL – Valor Presente Líquido.....</i>	<i>53</i>
3.4.5	<i>VPLA – Valor Presente Líquido Anualizado.....</i>	<i>53</i>
3.4.6	<i>IBC – Índice Benefício-Custo.....</i>	<i>53</i>
3.4.7	<i>ROIA – Retorno sobre o Investimento Adicionado.....</i>	<i>54</i>
3.4.8	<i>TIR – Taxa Interna de Retorno</i>	<i>54</i>
3.4.9	<i>Índice TMA/TIR.....</i>	<i>54</i>
3.4.10	<i>PRI – Período de Recuperação do Investimento (Payback)</i>	<i>55</i>
3.4.11	<i>LCOE - Custo nivelado de energia</i>	<i>55</i>
3.5	Custo médio por quilômetro.....	55
3.6	Considerações parciais.....	56
4	RESULTADOS	57
4.1	Levantamento dos dados da frota e consumo combustível da empresa	57
4.2	Levantamento dos carros elétricos semelhantes ao da frota a combustão	58
4.3	Dimensionamento do sistema de recarga e geração solar fotovoltaica.....	59
4.3.1	<i>Dimensionamento dos carregadores.....</i>	<i>59</i>
4.3.2	<i>Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos da UFV.....</i>	<i>63</i>
4.3.3	<i>Dimensionamento do inversor da UFV.....</i>	<i>64</i>
4.3.4	<i>Dimensionamento da proteção cc e ca da UFV.....</i>	<i>66</i>
4.3.4.1	<i>Proteção em Corrente Contínua (cc)</i>	<i>66</i>
4.3.4.2	<i>Proteção em Corrente Alternada (ca).....</i>	<i>67</i>
4.3.5	<i>Dimensionamento dos cabos cc e ca da UFV.....</i>	<i>67</i>
4.3.5.1	<i>Cabos cc</i>	<i>67</i>
4.3.5.2	<i>Cabos ca.....</i>	<i>68</i>
4.3.6	<i>Dimensionamento do aterramento da UFV</i>	<i>69</i>
4.3.7	<i>Projeto final da estação de carregamento utilizando usina solar fotovoltaica.....</i>	<i>70</i>
4.4	Estudo de viabilidade econômica	72
4.4.1	<i>Cálculo de investimento inicial.....</i>	<i>72</i>
4.4.2	<i>Cálculo do Fluxo de Caixa.....</i>	<i>74</i>
4.4.3	<i>Definição do Horizonte de planejamento (N) e Taxa Mínima de atratividade (TMA) 76</i>	
4.4.4	<i>Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica</i>	<i>76</i>
4.4.5	<i>Custo médio por quilômetro.....</i>	<i>78</i>
4.5	Discussão dos resultados.....	80
4.6	Análise de cenário alternativo	81

5	CONCLUSÕES.....	85
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	ANEXOS	94

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o setor de transportes tem se destacado por um processo de transformação profunda, motivado por fatores ambientais, econômicos e tecnológicos. A Figura 1 ilustra as emissões de gases de efeito estufa relacionadas às atividades energéticas, evidenciando que o transporte se mantém, na maior parte do período analisado, como o principal responsável pelas emissões (SEEG, 2024). Entre os anos de 2015 e 2020, os setores de energia e processos industriais e uso de produtos (PIUP) apresentaram um comportamento de estabilização ou queda nas emissões. Essa redução esteve fortemente associada à desaceleração da economia brasileira no período, intensificada pelos impactos da pandemia de Covid-19. No entanto, em 2021, observou-se uma reversão dessa tendência: as emissões desses setores registraram uma das maiores taxas anuais de crescimento de toda a série histórica, reflexo da retomada das atividades econômicas, especialmente na indústria e no transporte, bem como do aumento do uso de combustíveis fósseis (SEEG, 2024).

Figura 01 – Emissões de gases de efeito estufa nas atividades de energia 1970 a 2023

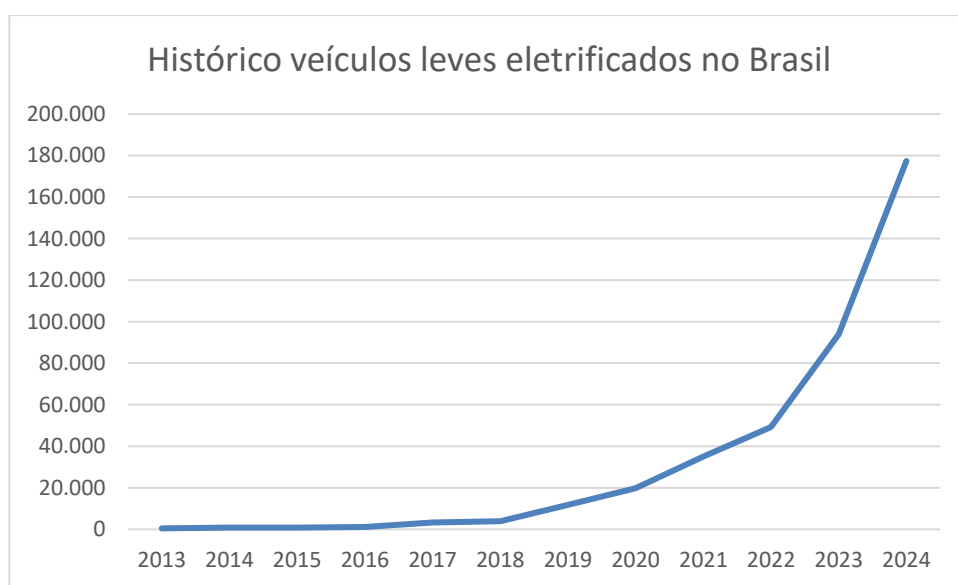


Fonte: SEEG (2024)

No ano de 2023, verificou-se um novo aumento nas emissões. O principal fator que contribuiu para esse resultado foi o transporte, que, conforme dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2024), registrou o maior consumo histórico de combustíveis fósseis. Nesse ano, o Brasil atingiu recordes na queima de diesel de petróleo e de gasolina automotiva, o que levou as emissões do setor de transportes a alcançarem 223,8 milhões de toneladas de CO₂, representando 44% do total de gases de efeito estufa emitidos nos setores de energia e PIUP (SEEG, 2024). Cabe destacar que esses valores poderiam ter sido ainda maiores se não fosse a ligeira ampliação da participação de fontes renováveis na matriz energética dos transportes. Em 2023, a contribuição das renováveis cresceu de 22% para 22,5%, resultado de um incremento de 19% no consumo de biodiesel em relação a 2022 e de 6% no consumo de etanol (SEEG, 2024).

Outra solução proposta para minimizar as emissões do setor de transportes é a substituição de veículos movidos a combustíveis fósseis por veículos elétricos (VEs), apontados como alternativa promissora para a redução dos gases de efeito estufa e a diminuição da dependência de fontes não renováveis de energia (IEA, 2023). Esse panorama mostra-se ainda mais favorável no Brasil, onde as vendas de veículos elétricos mais que dobraram em 2024, sendo que mais de 85% dos modelos comercializados tiveram origem na China. Esse crescimento expressivo foi impulsionado, em grande parte, pela isenção do imposto de importação de 35% sobre carros elétricos. No entanto, tal benefício começou a ser gradualmente reduzido em 2024, com previsão de encerramento total até meados de 2026 (IEA, 2025). A Figura 2 apresenta a série histórica de veículos leves eletrificados no Brasil, representando esse constante crescimento dos VEs.

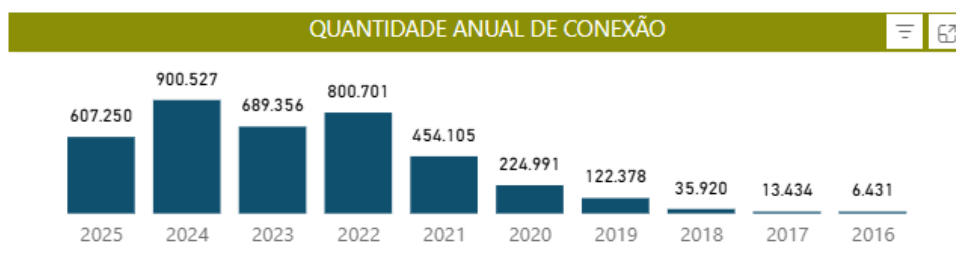
Figura 02 – Série histórica de veículos leves eletrificados no Brasil



Fonte: Adaptado de ABVE (2025)

Entretanto, para que os veículos elétricos cumpram de fato o papel de reduzir os impactos ambientais, é essencial que sua recarga seja realizada a partir de fontes renováveis limpas. Caso contrário, a poluição deixaria de ser emitida diretamente pelos automóveis e passaria a ser transferida para o processo de geração de energia. No Brasil, a matriz elétrica é majoritariamente composta por usinas hidrelétricas (43%), tradicionalmente classificadas como fontes renováveis (ABSOLAR, 2025). Paralelamente, o avanço da geração distribuída, em especial por meio da energia solar fotovoltaica, reforça o potencial de integração entre mobilidade elétrica e fontes renováveis, criando um modelo mais sustentável de consumo energético (ABSOLAR, 2024). Em 2025, de janeiro até setembro mais de 600 mil usinas foram instaladas beneficiando mais de 1 milhão de unidades consumidoras (ANEEL, 2025). A Figura 3 apresenta a quantidade anual de conexões.

Figura 03 – Conexões anuais na geração distribuída (Jan/2016 a Set/2025)



Fonte: ANEEL (2025)

Além das motivações ambientais, fatores estratégicos e de mercado também reforçam essa tendência. A pauta ESG (ambiental, social e de governança, do inglês, *environmental, social and governance*) tem se consolidado como um diferencial competitivo, capaz de influenciar decisões de investimento e fortalecer a imagem institucional das empresas. Um estudo publicado pela Carbon Free Brasil (2025) aponta que os consumidores estão cada vez mais direcionando seus gastos para produtos e serviços de empresas que apresentam compromissos claros com a sustentabilidade. Nesse sentido, empresas que adotam práticas sustentáveis, como a eletrificação de suas frotas, podem se destacar frente à concorrência e conquistar novos mercados. Reconhecendo essa oportunidade, o SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas) tem promovido políticas e programas de apoio para que pequenas e médias empresas incorporem práticas sustentáveis em seus modelos de negócio. Tais iniciativas incluem orientações técnicas, acesso facilitado a crédito e incentivos fiscais, buscando alinhar os benefícios ambientais à viabilidade econômica dos projetos (SEBRAE, 2025).

No entanto, apesar dos avanços, um dos principais entraves para a adoção em larga escala dos veículos elétricos no Brasil ainda é a escassa infraestrutura de recarga. Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia (MME, 2023), a ausência de eletropostos suficientes é apontada como um dos principais desafios à consolidação da mobilidade elétrica no país. Isso torna urgente a busca por soluções que integrem fontes limpas de energia com autonomia operacional, como é o caso das usinas solares fotovoltaicas dedicadas ao abastecimento veicular.

Neste contexto, o presente trabalho tem como proposta analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição da frota de uma empresa fictícia de pequeno porte, localizada em Belo Horizonte/MG, por uma frota 100% elétrica, com recarga proveniente de uma usina solar fotovoltaica própria. A análise dos resultados obtidos por meio dos indicadores de viabilidade econômica possibilita uma melhor compreensão da relação existente entre risco e retorno (SOUZA; CLEMENTE, 2009). A fim de oferecer subsídios que auxiliem empresas no processo de tomada de decisão, contribuindo para o fortalecimento de um modelo logístico mais sustentável, inovador e alinhado às novas exigências do mercado.

1.1 Contextualização do Tema

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa têm colocado em evidência a busca por soluções sustentáveis no setor de transportes. Observa-se uma transição cada vez mais visível dos veículos a combustão para os veículos elétricos (IEA, 2025), impulsionada tanto por avanços tecnológicos quanto por pressões ambientais e sociais. Nesse contexto, o Brasil apresenta vantagens competitivas relevantes, destacando-se pelo seu elevado potencial de geração de energia solar. Estudos do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2017) mostram que grande parte do território nacional recebe entre 4,5 e 6,5 kWh/m² por dia de irradiação global horizontal, valores superiores aos registrados em países referências em implantação de energia solar fotovoltaica, como a Alemanha, cuja média varia entre apenas 2,5 e 3,0 kWh/m² por dia. Essa diferença evidencia que, mesmo países com potencial solar menor conseguiram desenvolver mercados robustos, assim, o Brasil, com irradiação naturalmente elevada, possui uma vantagem competitiva significativa para a expansão da geração fotovoltaica. Essa abundância de radiação, aliada às baixas variações sazonais e à grande disponibilidade territorial, reforça a capacidade brasileira de integrar a mobilidade elétrica a fontes renováveis de forma economicamente atrativa.

Apesar disso, a adoção conjunta dessas tecnologias ainda é pouco explorada no meio empresarial. Por essa razão, torna-se relevante avaliar a viabilidade da substituição de frotas corporativas a combustão por veículos elétricos, abastecidos por usinas fotovoltaicas. A escolha do tema se justifica não apenas pela sua atualidade, mas também pela sua importância prática, já que este estudo pode servir como referência para empresas interessadas em realizar essa transição de forma estratégica e economicamente viável.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição da frota veicular a combustão por uma frota elétrica, abastecida por energia solar fotovoltaica, por meio do levantamento de dados operacionais, dimensionamento da infraestrutura necessária e análise comparativa de custos e emissões.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar dados da frota atual da empresa, incluindo modelos, consumo de combustível e emissões mensais de CO₂;
- Selecionar modelos de veículos elétricos equivalentes aos atuais, considerando autonomia, tempo de recarga e custo;
- Dimensionar a usina solar fotovoltaica necessária para suprir o consumo energético mensal da nova frota;
- Definir a quantidade e características dos pontos de recarga necessários para o funcionamento da frota;

- Estimar os custos de investimento e operação da usina e da infraestrutura de recarga;
- Comparar os custos operacionais e as emissões entre os dois cenários (frota convencional vs. frota elétrica abastecida com energia solar);
- Realizar análise de viabilidade econômica utilizando indicadores.

1.3 Estrutura da Monografia

Esta monografia está estruturada em mais quatro capítulos, além desta introdução, que apresenta a contextualização do tema, os objetivos do trabalho e sua organização.

No Capítulo 2, realiza-se uma revisão da literatura, abordando os principais conceitos relacionados aos veículos elétricos, incluindo histórico, tipos, impacto ambiental, infraestrutura de recarga, políticas públicas e incentivos. Também são discutidos os fundamentos da geração fotovoltaica, destacando aspectos como os tipos de sistemas, o potencial solar fotovoltaico e a regulamentação vigente no Brasil.

No Capítulo 3, é descrita a metodologia adotada, abrangendo o levantamento de dados sobre a frota da empresa fictícia, a escolha de modelos equivalentes de veículos elétricos, o dimensionamento da usina solar fotovoltaica necessária para suprir a demanda energética e os procedimentos para o cálculo dos indicadores de viabilidade. Por fim, apresenta-se uma síntese das principais metodologias utilizadas na análise de viabilidade econômica, incluindo indicadores como VPL, TIR, *Payback* e outros.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com a análise realizada, detalhando o desempenho técnico e econômico do sistema proposto, as comparações entre os cenários de substituição da frota e a eficiência do uso da geração solar para abastecimento. Ainda no mesmo capítulo é realizada uma discussão a respeito dos resultados obtidos dos indicadores econômicos e resultados de emissão de gases dos veículos.

No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões do trabalho, com base nos resultados alcançados, bem como possíveis trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que sustentam o desenvolvimento deste trabalho. Inicia-se com uma visão geral sobre veículos elétricos, abordando sua evolução, classificações, impactos ambientais, consumo, vida útil e cenário atual no Brasil. Em seguida, explora-se a geração de energia fotovoltaica, com destaque para seus componentes, tipos de sistemas, potencial nacional e regulamentações.

2.1 Carros Elétricos

Desde a realização do Acordo de Paris, firmado durante a 21ª Conferência das Partes (COP21), o aquecimento global passou a ocupar um papel central nas discussões internacionais. Nesse evento, estabeleceu-se que o aumento da temperatura média global não deve ultrapassar 2 °C até o final deste século, meta internalizada pelo Brasil pelo decreto nº 9073 de 2017, que promulga o Acordo de Paris. Caso medidas eficazes não sejam implementadas, projeta-se um aumento de até 6 °C o triplo do limite proposto o que, segundo evidências científicas apresentadas durante a conferência, implicaria condições severamente adversas à sobrevivência humana no planeta. Com base nesse cenário, as principais potências globais assumiram o compromisso de promover uma transição energética fundamentada em fontes renováveis, visando práticas de consumo mais sustentáveis e conscientes (SOUZA; HIROI, 2021).

Dentro desse contexto, o setor de transportes se destaca como um dos maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa. Segundo SOUZA e HIROI (2021), para que se alcance as metas climáticas estabelecidas, estima-se que esse setor deverá reduzir suas emissões em aproximadamente 18% até o ano de 2050. Nesse panorama, os veículos elétricos despontam como uma solução estratégica e promissora para viabilizar a transição energética. A substituição progressiva dos veículos com motores a combustão interna por modelos elétricos configura um movimento esperado diante dos avanços tecnológicos atuais. Entretanto, o principal desafio reside na conciliação entre os custos associados à adoção dessa nova tecnologia e os benefícios ambientais que ela pode proporcionar (SOUZA; HIROI, 2021).

2.1.1 Histórico

De acordo com Anderson e Anderson (2015), a trajetória dos veículos elétricos (VEs) pode ser dividida em três grandes períodos:

- Primeiros anos (1890 a 1929): abrangendo também a sua “era de ouro”, entre 1895 e 1905, quando chegaram a ter expressiva participação no mercado.
- Anos intermediários (1930 a 1989): marcados por declínio na produção e no interesse comercial, ainda que tenham ocorrido iniciativas pontuais.
- Anos atuais (1990 até os dias atuais): período contemporâneo, em que avanços tecnológicos e preocupações ambientais reacenderam o interesse por esses veículos.

A seguir, são descritas de maneira aprofundada as três fases mencionadas, de modo a contextualizar os diferentes momentos históricos da trajetória dos veículos elétricos.

O desenvolvimento inicial dos veículos elétricos (VEs) está diretamente ligado às descobertas no campo da eletricidade ao longo do século XIX. A possibilidade de armazenar energia por meios químicos foi demonstrada por Alessandro Volta em 1800, e, anos depois, em 1821, Michael Faraday apresentou os fundamentos do motor elétrico, expandindo os estudos iniciados por Volta. Em 1859, Gaston Planté introduziu a bateria de chumbo-ácido, um avanço significativo na capacidade de armazenar energia elétrica. Poucos anos mais tarde, em 1861, Antonio Pacinotti desenvolveu o dínamo, um gerador de corrente contínua essencial para alimentar sistemas elétricos. Com base nessas invenções, Gustave Trouvé projetou, em 1881, um triciclo movido por baterias de chumbo, o primeiro veículo elétrico funcional. A partir de então, diversos modelos semelhantes passaram a ser desenvolvidos, especialmente nos Estados Unidos e no Reino Unido, onde se registraram várias iniciativas similares no final do século XIX (HOYER, 2008). A Figura 4, apresenta uma réplica do veículo elétrico desenvolvido por Gustave Trouvé.

Figura 04 – Réplica do VE de 1881 desenvolvido por Gustave Trouvé



Fonte: THIS IS MONEY (2021)

Entre os anos de 1895 e 1905, os veículos elétricos (VEs) vivenciaram um de seus momentos mais expressivos em termos de inovação tecnológica e difusão no mercado, esse destaque se deu principalmente pelas dificuldades operacionais enfrentadas pelos veículos movidos a vapor e os automóveis com motor a combustão. O uso desses modelos era complicado, especialmente pela transmissão pouco eficiente e pela partida manual exigida por manivelas, o que tornava a condução cansativa e pouco prática para os usuários (HOYER, 2008).

Por outro lado, os VEs se destacavam por oferecer um funcionamento mais limpo, silencioso e suave, com menor emissão de ruídos e vibrações, o que proporcionava maior conforto e comodidade aos motoristas (ANDERSON; ANDERSON, 2015). Essas características impulsionaram sua popularização nas áreas urbanas, apesar de ainda enfrentarem

barreiras como o alto custo de aquisição e a baixa autonomia, que limitava seu uso a trajetos curtos. Ainda assim, algumas metrópoles abraçaram a tecnologia. Em 1903, por exemplo, Nova York já possuía cerca de 20% de sua frota composta por veículos elétricos, além de operar uma rede de táxis elétricos, o que evidencia a confiança que o setor urbano depositava nessa modalidade (HOYER, 2008).

Esse cenário começou a se transformar drasticamente a partir da década de 1910, onde o avanço do modelo de produção em massa, implementado por Henry Ford, permitiu que os carros a gasolina fossem fabricados de forma mais rápida e com custos reduzidos fazendo com que o preço médio desses automóveis caísse para cerca da metade do valor de um veículo elétrico (BARAN; LEGEY, 2011). Além disso, na década de 1920, com o surgimento de uma malha rodoviária mais ampla nos Estados Unidos, tornou-se necessário o uso de veículos com maior autonomia. A queda no preço da gasolina, favorecida pelo crescimento da indústria petrolífera norte-americana, também contribuiu para que os veículos elétricos perdessem espaço, entrando em um período de desuso frente à ascensão dos modelos a combustão (BARAN; LEGEY, 2011).

Já no segundo período, entre as décadas de 1930 e 1980, os veículos elétricos tiveram sua produção significativamente reduzida, causando um estágio de estagnação tecnológica e comercial. No entanto, em momentos pontuais, como durante a Primeira e a Segunda Guerra Mundial, houve uma breve retomada na fabricação desses veículos. Isso ocorreu principalmente nos Estados Unidos e no Reino Unido, devido ao racionamento de combustíveis fósseis, como a gasolina e o diesel. Situação semelhante aconteceu no Japão, logo após o fim da guerra. Porém, o interesse pelos VEs voltou a cair assim que o abastecimento de combustíveis foi normalizado (BARAN; LEGEY, 2011).

A partir dos anos 1960, a preocupação ambiental passou a ganhar espaço na agenda pública internacional. Nesse contexto, as emissões provenientes dos automóveis com motores a combustão interna passaram a ser apontadas como grandes responsáveis pela poluição atmosférica (ANDERSON; ANDERSON, 2015). Diante desse cenário, os veículos elétricos voltaram a despertar interesse, especialmente por sua característica de emissão zero. Grandes montadoras, como Ford e General Motors, chegaram a desenvolver protótipos de veículos elétricos durante esse período. A Figura 5 apresenta um dos protótipos desenvolvidos pela General Motors, o Electrovette. No entanto, esse e outros projetos não avançaram para uma produção em larga escala (MOBIAUTO, 2025).

Figura 05 – Protótipo GM Electrovette 1976



Fonte: MOBIAUTO (2025)

Nas décadas seguintes, especialmente nos anos 1970 e 1980, o debate ambiental se intensificou, impulsionado pela crise do petróleo de 1973. Esse evento ampliou o espaço para discussões sobre fontes alternativas de energia e abriu uma janela de oportunidade para os veículos elétricos. Apesar disso, os modelos movidos a combustão continuaram dominando o mercado por serem mais acessíveis e eficientes tecnicamente em relação aos VEs da época (BARAN; LEGEY, 2011).

O terceiro período é marcado pelo retorno do interesse pelos veículos elétricos (VEs) que ocorreu com mais força a partir dos anos 1990, quando as preocupações ambientais passaram a figurar com destaque nas agendas internacionais (ANDERSON; ANDERSON, 2015). Nesse cenário, questões como a emissão de gases poluentes e o uso intensivo de combustíveis fósseis impulsionaram a busca por alternativas energéticas mais limpas e sustentáveis. Conferências ambientais, como a ECO-92, ou conferência das nações unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento realizada em 1992, reforçaram esse movimento ao debater soluções globais para os desafios climáticos, favorecendo iniciativas voltadas ao desenvolvimento de tecnologias de transporte menos agressivas ao meio ambiente (BARAN; LEGEY, 2011).

Paralelamente, começaram a surgir políticas públicas em diferentes partes do mundo com o objetivo de incentivar a adoção de veículos de emissão zero (ZEVs, do inglês *zero-emission vehicles*). Um dos marcos regulatórios mais relevantes foi estabelecido na Califórnia, onde a *California Air Resources Board* (CARB) determinou metas de vendas obrigatórias para veículos elétricos, iniciando em 2% até 1998, aumentando para 5% em 2001 e alcançando 10% até 2003, e como incentivo, as montadoras receberam um bônus de US\$ 5 mil por veículo vendido dentro da cota estipulada, medidas semelhantes foram adotadas aos estados de Nova York e Massachusetts, reforçando a tendência de estímulo ao uso de VEs (BARAN; LEGEY, 2011).

No entanto, a implantação dessas políticas enfrentou forte resistência. Fabricantes de automóveis e organizações como a *American Automobile Manufacturers Association* (AAMA) alegavam que os VEs eram financeiramente inviáveis para os consumidores e que o uso de chumbo nas baterias eliminava os supostos benefícios ambientais. Grandes companhias petrolíferas, como Exxon, Shell e Texaco, também se posicionaram contra, financiando campanhas políticas e publicitárias que desestimulavam a adesão aos veículos elétricos. Como

consequência, em 1996, a CARB adiou seus prazos de implementação (BARAN; LEGEY, 2011).

Mesmo diante desses desafios, algumas montadoras avançaram no desenvolvimento de veículos híbridos. A Toyota foi pioneira ao lançar, em 1997, o modelo Prius no Japão, um sedã híbrido que se tornaria símbolo da mobilidade sustentável. Poucos anos depois, em 2000, o modelo chegou ao mercado norte-americano, superando as expectativas de vendas. Na mesma época, a Honda lançou o Insight, primeiro híbrido a chegar aos Estados Unidos em 1999, alcançando sucesso imediato. Outras fabricantes seguiram essa tendência: a Audi apresentou o Duo na Europa, em 1997, embora sem êxito comercial; a Honda introduziu a versão híbrida do Civic em 2003; e a Ford lançou, em 2004, o utilitário esportivo Escape em versão híbrida (BARAN; LEGEY, 2011). A Figura 6 apresenta o Toyota Prius, modelo que consolidou a presença dos veículos híbridos no mercado mundial.

Figura 06 – Toyota Prius 1997 Híbrido



Fonte: TOYOTA (1997)

Segundo BARAN e LEGEY (2011), O fortalecimento das políticas públicas também teve papel decisivo nesse avanço. Em 2007, os Estados Unidos promulgaram o *Energy Independence and Security Act*, que destinou recursos anuais de US\$ 95 milhões, entre 2008 e 2013, para pesquisa, formação de especialistas e desenvolvimento de tecnologias para veículos elétricos e híbridos do tipo PHEV (Veículo Elétrico Híbrido *Plug-in*, do inglês, *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*). Além disso, o governo destinou US\$ 25 bilhões para apoiar fabricantes e fornecedores no desenvolvimento e produção desses veículos até o ano de 2020. O impacto desses investimentos foi significativo, ainda segundo BARAN e LEGEY (2011), em 2009 as vendas globais de veículos híbridos totalizaram 598.739 unidades, com os Estados Unidos e o Japão representando juntos 85% desse total. Mercados como Holanda, Reino Unido e Canadá também se destacaram. Nesse mesmo ano os maiores centros de vendas nos EUA incluíam cidades como Los Angeles, Nova York, São Francisco, Washington D.C. e Chicago, totalizando, 279.847 unidades de carros híbridos vendidas, o que representava um pouco mais de 4% do mercado americano.

A entrada da Tesla Motors no mercado automotivo, em 2006, representou um marco importante na história dos veículos elétricos. Localizada no Vale do Silício, a então estreante fabricante apresentou ao público o Tesla Roadster, um carro esportivo de luxo totalmente elétrico. Com esse lançamento, começaram a surgir mudanças significativas na percepção

popular sobre a viabilidade e o desempenho dos veículos movidos a eletricidade (Climainfo, 2017). Poucos anos depois, em 2011, a Nissan seguiu o mesmo caminho com a produção do modelo Leaf, que foi promovido como uma opção acessível e ambientalmente responsável para famílias, reforçando o posicionamento dos veículos elétricos como soluções práticas e sustentáveis no cotidiano (Climainfo, 2017).

Mais recentemente, segundo levantamento da JATO Dynamics (2024), o Tesla Model Y alcançou um feito inédito: tornou-se o automóvel mais vendido em todo o mundo no ano de 2023. Essa conquista marcou a primeira vez em que um veículo totalmente elétrico liderou o ranking global de vendas. O SUV de porte médio atingiu a marca de 1,22 milhão de unidades vendidas, um aumento expressivo de 64% em comparação ao ano anterior (JATO Dynamics, 2024). Com esse desempenho, superou veículos consagrados a combustão, como o Toyota Corolla e o RAV4. Apesar do sucesso, o Model Y ainda enfrenta desafios quanto à sua disseminação em mercados emergentes, onde o preço elevado impede seu acesso por parte da maior parcela dos consumidores (JATO Dynamics, 2024). Mesmo com esses desafios, o tesla model Y, apresentado na Figura 7, manteve a liderança como carro mais vendido no mundo em 2024 (FOCUS2MOVE, 2025).

Figura 07 – Tesla Model Y, o veículo mais vendido do mundo em 2024.



Fonte: Tesla (2025)

2.1.2 Tipo de Veículos Elétricos

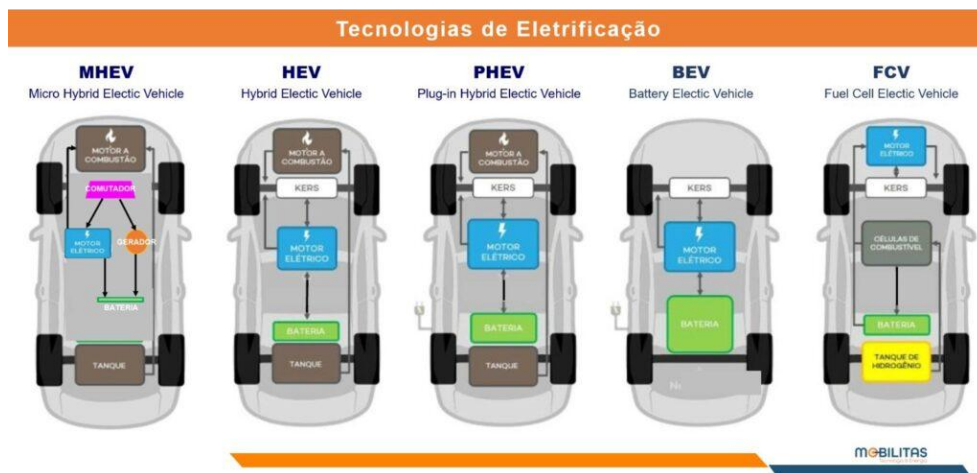
Segundo Severine (2025), em artigo publicado na coluna da ABVE (Associação Brasileira do Veículo Elétrico), existem 5 tipos de veículos elétricos, sendo eles:

- 1) HEV – Veículo Elétrico Híbrido (do inglês, *Hybrid Electric Vehicle*): O HEV combina um motor a combustão interna e um motor elétrico, atuando de maneira conjunta para movimentar o veículo. Essa configuração proporciona maior economia de combustível e uma significativa redução nas emissões de poluentes. O motor elétrico entra em funcionamento em momentos específicos, como durante partidas, em velocidades reduzidas e no processo de frenagem, proporcionando autonomia limitada sem a necessidade de recarga externa. A bateria é alimentada tanto pela energia gerada na frenagem quanto pelo motor a combustão;

- 2) PHEV – Veículo Elétrico Híbrido *Plug-in* (do inglês, *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*): Os PHEVs também integram motor elétrico e motor a combustão, mas se diferenciam por possuírem baterias de maior capacidade, que precisam ser carregadas por meio de fontes externas de energia. Essa configuração amplia ainda mais a eficiência energética, permitindo percorrer longas distâncias (superando 200 km) apenas com o uso do motor elétrico (sem consumir combustível fóssil);
- 3) BEV – Veículo Elétrico a Bateria (do inglês, *Battery Electric Vehicle*): Os BEVs funcionam exclusivamente com energia elétrica, sendo alimentados por baterias que fornecem energia diretamente aos motores. Esses veículos não possuem qualquer tipo de motorização a combustão, o que os torna livres de emissões durante o uso. A recarga da bateria é feita por meio de fontes externas, e a autonomia pode ultrapassar centenas de quilômetros, dependendo do modelo e da capacidade da bateria;
- 4) FCEV – Veículo Elétrico com Célula de Combustível (do inglês, *Fuel Cell Electric Vehicle*): Nos FCEVs, a eletricidade necessária para movimentar o veículo é gerada por uma célula de combustível que utiliza hidrogênio como insumo principal. Essa célula realiza uma reação química com o oxigênio, gerando eletricidade e liberando apenas vapor d'água como subproduto. Com isso, esses veículos oferecem zero emissões e tempos de reabastecimento rápidos, embora exijam uma infraestrutura de abastecimento de hidrogênio ainda pouco difundida e de custo elevado. Atualmente, a participação desses modelos no mercado global ainda é muito limitada;
- 5) MHEV – Veículo Elétrico Micro ou Leve Híbrido (do inglês, *Micro/Mild Hybrid Electric Vehicle*): Os MHEVs são os mais simples entre os eletrificados, combinando um motor a combustão com um pequeno sistema elétrico de apoio. Nesse caso, o motor elétrico não movimenta diretamente o veículo, mas oferece suporte em momentos pontuais, como na aceleração e no funcionamento de sistemas auxiliares, como o ar-condicionado. Com uma bateria reduzida, recarregada por regeneração e pelo motor a combustão, esse sistema melhora levemente o desempenho e reduz modestamente as emissões.

A Figura 8 apresenta de maneira didática os diferentes tipos de veículos elétricos presentes no mercado.

Figura 08 – Tipos de Veículos Elétricos



Fonte: SEVERINE (2025).

2.1.3 Impacto Ambiental

Conforme descrito no histórico, durante grande parte do século XX, os veículos movidos a combustão interna dominaram amplamente o mercado automobilístico. Essa predominância foi sustentada por uma série de fatores, como o custo reduzido de produção, a rapidez no processo de abastecimento, os baixos preços dos combustíveis e a maior autonomia proporcionada em relação a outros modelos.

Apesar das vantagens operacionais, uma das principais desvantagens dos veículos a combustão é o impacto ambiental que causam. A emissão de gases poluentes, como o dióxido de carbono (CO_2), está diretamente relacionada ao agravamento do efeito estufa.

Por outro lado, os veículos elétricos a bateria (BEVs) não emitem dióxido de carbono (CO_2), o que os diferencia positivamente dos modelos híbridos (HEVs e PHEVs) e dos veículos convencionais a combustão (ICEVs), que ainda geram poluentes em diferentes intensidades. De acordo com o *International Council on Clean Transportation* (ICCT, 2023), os BEVs vendidos em 2023 apresentaram emissões entre 65% e 67% menores em relação aos ICEVs flex. Já os veículos híbridos convencionais (HEVs) conseguiram reduzir apenas 14% das emissões quando comparados aos modelos a combustão. Os híbridos *plug-in* (PHEVs) que operam exclusivamente com gasolina tiveram uma redução ainda mais limitada, de apenas 3%, o que evidencia sua menor efetividade ambiental frente aos elétricos puros (ICCT, 2023).

Essas diferenças de desempenho ambiental se refletem também no consumo energético real dos veículos, conforme ilustrado na Figura 9. Nela, são comparadas diferentes motorizações e categorias de veículos reforçando o argumento de que a motorização BEV é, de longe, a mais eficiente do ponto de vista energético em ambos os segmentos analisados, o que se traduz diretamente em menores emissões totais e menor dependência de combustíveis fósseis em comparação com qualquer variação de motor a combustão (ICEV) ou híbrido (HEV e PHEV).

Figura 09 – Comparativo consumo energético veículos elétricos vs combustão.

Segmento	Tipo de motorização	Consumo de combustível ou hidrogênio (L/100 km ^a ou kg/100 km)	Consumo de eletricidade (kWh/100 km)	Consumo total de energia (MJ/km)
Compacto	ICEV flex	6,6	-	2,0
	BEV	-	23,4	0,8
Médio	ICEV flex	6,6	-	2,0
	HEV	5,1	-	1,5
	PHEV	4,3	14,2	1,3 + 0,5
	BEV	-	22,9	0,8
SUV compacto	ICEV flex	7,7	-	2,3
	BEV	-	20,6	0,7
	FCEV	1,1	-	1,3 ^b

Fonte: ICCT (2023)

Com o avanço das discussões sobre mudanças climáticas e o aumento da preocupação com o aquecimento global, diversas nações passaram a buscar soluções conjuntas. Essas ações culminaram em acordos internacionais voltados à redução da emissão de gases poluentes. O marco inicial dessas iniciativas foi a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, a chamada ECO-92, realizada no Rio de Janeiro. Esse evento resultou na criação da Agenda 21, um documento que reúne propostas e diretrizes para alcançar um desenvolvimento sustentável, incluindo a reformulação dos padrões de consumo, especialmente no que se refere à dependência dos combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão mineral (LUSA, 2023).

A partir da ECO-92, iniciou-se um processo de reavaliação das matrizes energéticas e dos meios de transporte, criando espaço para que os veículos elétricos voltassem a ser considerados como uma alternativa viável. Esse movimento foi reforçado durante a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas de 2015, conhecida como COP-21, onde foi firmado o Acordo de Paris. Nessa ocasião, mais de 190 países se comprometeram a estabelecer metas comuns de redução das emissões de gases de efeito estufa, com o objetivo de limitar o aumento da temperatura global. Ainda na COP-21, especialistas concluíram que a substituição progressiva da frota de veículos a combustão por modelos de emissão zero, como os elétricos, era um passo essencial para alcançar essas metas (LUSA, 2023).

Para cumprir os compromissos assumidos no Acordo de Paris, os países signatários vêm implementando políticas de incentivo à produção e à aquisição de veículos elétricos. Um exemplo emblemático dessa iniciativa ocorreu na União Europeia, o Parlamento Europeu aprovou uma legislação que visa eliminar progressivamente os veículos movidos a combustão do mercado. Essa medida foi ratificada em 27 de março de 2023 pelo Conselho Europeu. A nova regulamentação estabelece que, até 2035, todas as montadoras que operam nos 27 países do bloco deverão garantir que os veículos novos comercializados sejam de emissão zero (LUSA, 2023).

2.1.4 Consumo, vida útil das baterias e manutenção

A eficiência energética e o consumo de combustível dos veículos variam de acordo com o tipo de motorização e o trajeto percorrido. Em ambientes urbanos, os modelos híbridos e

elétricos demonstram melhor desempenho devido ao aproveitamento da energia gerada durante as frenagens. Já em trechos rodoviários, essa vantagem se torna menos perceptível. Conforme os dados divulgados pelo INMETRO (2024), em deslocamentos urbanos, um híbrido médio como o Hyundai Ioniq alcança 18,9 km/l, enquanto um modelo médio a combustão, como o Chevrolet Onix, atinge 13,3 km/l. Por outro lado, veículos elétricos como o BYD Dolphin obtêm uma eficiência de 41,9 km/le (quilômetros por litro equivalente) em trajetos semelhantes.

Segundo análise da InsideEVs (2025), o aumento recente no preço dos combustíveis no Brasil tem motivado muitos condutores a considerarem os veículos elétricos como uma alternativa viável, principalmente pelo custo reduzido por quilômetro rodado em comparação aos modelos tradicionais. Apesar disso, os automóveis com motores a combustão ainda oferecem maior autonomia em percursos longos, sendo aproximadamente 28,66% mais eficientes nesse aspecto. Essa vantagem se deve ao fato de que, atualmente, a capacidade energética dos tanques de combustível ainda supera a das baterias elétricas, sobretudo em veículos compactos. Por outro lado, o custo para recarregar um veículo elétrico é substancialmente menor, especialmente quando o carregamento ocorre em residências, onde pode representar até um quarto do valor gasto com gasolina (InsideEVs, 2025).

De acordo com o *Cell Reports Physical Science* (2021), o funcionamento das baterias em veículos elétricos ocorre em um contexto particularmente desafiador, já que esses dispositivos costumam operar em ciclos parciais de carga e descarga, estando expostos a uma ampla faixa de temperaturas, que pode variar entre 20 °C e 70 °C. Além disso, estão sujeitos a profundos níveis de carga e descarga, bem como a descargas de alta potência. Mesmo nessas condições, devido as constantes pesquisas e diversos investimentos, estima-se que a maioria das baterias utilizadas em veículos elétricos tenha uma vida útil entre 15 e 20 anos, apresentando uma taxa média de degradação de aproximadamente 1,8% ao ano quando submetidas a condições moderadas (GEOTAB, 2025). Quando uma bateria de íons de lítio deixa de atender aos requisitos mínimos de desempenho para o uso automotivo, ela geralmente é retirada do veículo, caracterizando o término de sua aplicação nesse setor, podendo ser reciclada para outras aplicações (*Cell Reports Physical Science*, 2021).

No que se refere ao aspecto econômico, os preços das baterias de íons de lítio registraram uma queda de 20% em 2024, caracterizando o maior declínio desde 2017. Esse resultado foi impulsionado, principalmente, pela redução nos custos dos minerais críticos e pela diminuição das margens de lucro no setor, reflexo da intensa concorrência, sobretudo no mercado chinês (IEA, 2025). Atualmente, o mercado de baterias encontra-se em processo de reconfiguração, orientado por duas tendências principais: de um lado, a crescente concentração empresarial; de outro, os esforços promovidos por governos para diversificar geograficamente as cadeias de suprimento (IEA, 2025). Assim, enquanto anteriormente esses mercados apresentavam caráter regional e escala limitada, no cenário atual passaram a operar em dimensão global e de grande porte, com uma progressiva substituição da incerteza tecnológica pela padronização (IEA, 2025).

Outro diferencial dos veículos elétricos é a sua baixa exigência de manutenção. Isso se deve à durabilidade da bateria e à presença de menos componentes móveis. Como esses veículos dispensam o uso de sistemas complexos, como o câmbio tradicional e lubrificações

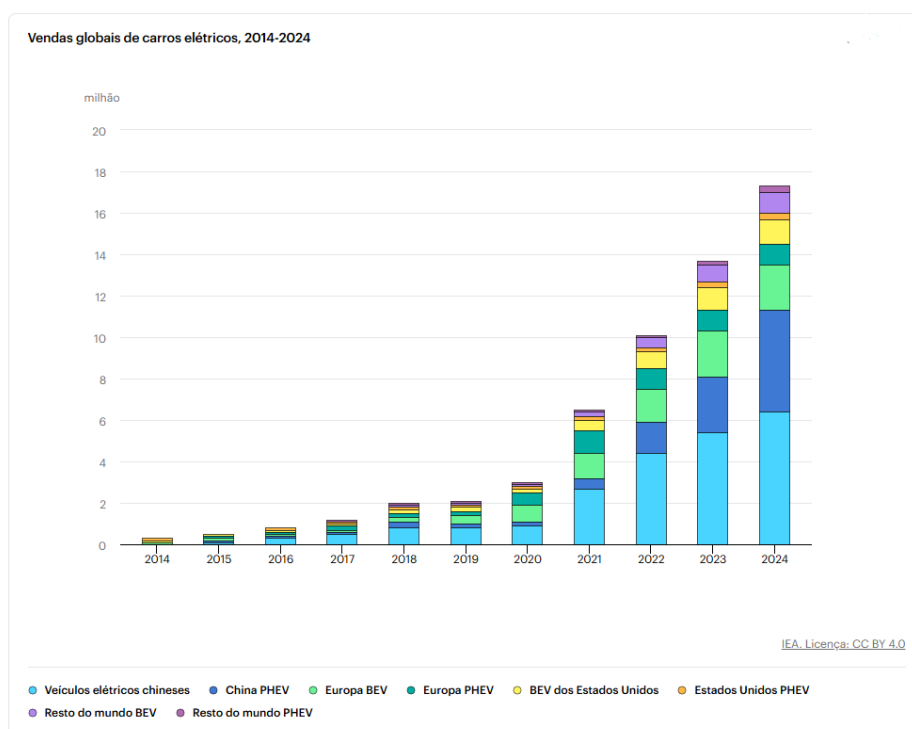
frequentes, além de não necessitarem de fluidos comuns em motores a combustão, sua operação tende a ser mais simples e econômica (SANTOS, 2017).

2.1.5 Cenário da frota de veículos elétricos

De acordo com o Global EV Outlook, relatório anual da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* - IEA) que acompanha o desenvolvimento do mercado de veículos elétricos, as vendas globais desses automóveis ultrapassaram a marca de 17 milhões em 2024, representando um crescimento superior a 25% em relação ao ano anterior. O documento destaca que somente os 3,5 milhões de unidades adicionais vendidas em 2024, quando comparadas a 2023, já superam todo o volume de veículos elétricos comercializados ao longo de 2020 (IEA, 2025).

A China permaneceu como o principal mercado mundial para esse tipo de veículo, contabilizando mais de 11 milhões de unidades vendidas, volume superior ao total de vendas globais registradas apenas dois anos antes. Por outro lado, o crescimento global foi parcialmente contido pela desaceleração observada na Europa, atribuída à redução ou eliminação de subsídios governamentais em diversas nações, bem como à manutenção das metas de emissões de CO₂ estabelecidas pela União Europeia para os anos de 2023 e 2024. Nos Estados Unidos, as vendas continuaram a crescer, porém em ritmo mais lento, alcançando apenas cerca de um quarto do avanço obtido no ano anterior (IEA, 2025). A Figura 10 apresenta o histórico de venda dos veículos elétricos nos últimos anos, confirmando a superioridade crescente do mercado chinês no ramo.

Figura 10 – Vendas globais de carros elétricos 2014-2024



Fonte: IEA (2025)

O expressivo aumento nas vendas de veículos elétricos observado nos últimos cinco anos refletiu diretamente na ampliação da frota global desses automóveis. Ao final de 2024, o número total de carros elétricos em circulação alcançou aproximadamente 58 milhões de unidades, o que corresponde a cerca de 4% da frota mundial de veículos de passeio. Esse valor representa mais que o triplo da frota registrada em 2021, evidenciando uma rápida expansão no setor. Um dos impactos ambientais significativos dessa transição foi a substituição de mais de 1 milhão de barris diários de petróleo, somente no ano de 2024, como resultado do uso de veículos elétricos em substituição aos movidos a combustíveis fósseis (IEA, 2025).

Nas regiões compostas por economias emergentes e em desenvolvimento, o mercado de veículos elétricos também demonstrou forte crescimento. Em 2024, as vendas nesses países aumentaram mais de 60% em comparação com o ano anterior. Além disso, a participação dos veículos elétricos no total de vendas de automóveis nessas regiões praticamente dobrou, passando de 2,5% para 4%. Esse avanço acelerado pode ser atribuído, sobretudo, à implementação de políticas públicas de incentivo à eletrificação da frota, bem como à expansão da oferta de veículos elétricos de custo relativamente acessível, especialmente oriundos da indústria automobilística chinesa (IEA, 2025).

No cenário brasileiro, observa-se um avanço consistente na adoção de veículos leves eletrificados. Apenas no mês de junho de 2025, foram comercializadas 15.525 unidades desses modelos. Considerando o acumulado do primeiro semestre do ano, o total de vendas chegou a 86.849 unidades, o que representa um crescimento de 9,5% em relação ao mesmo período de 2024, quando foram registradas 79.304 unidades vendidas. Esse desempenho reforça a consolidação dos veículos eletrificados, que englobam os modelos elétricos a bateria (BEV), híbridos *plug-in* (PHEV), híbridos convencionais (HEV) e híbridos flex (HEV Flex). Os veículos eletrificados atualmente representam aproximadamente 8% do total das vendas de veículos leves no mercado interno, incluindo automóveis e utilitários leves (ABVE, 2025).

Na Figura 11, é apresentada a série histórica de comercialização de veículos eletrificados no país, incluindo tanto os modelos híbridos quanto os totalmente elétricos, evidenciando a trajetória de crescimento do segmento nos últimos anos. Essa evolução, quando analisada em termos percentuais, revela a impressionante aceleração do mercado. Por exemplo, entre o ano 2018 e 2019, o crescimento atingiu um pico de 66,52%. Embora a base de comparação aumente, a taxa média de crescimento anual se manteve acima de 41,41% nos últimos cinco anos, demonstrando que o segmento saiu de um patamar emergente para uma fase de expansão consolidada.

Figura 11 – Série de vendas de veículos leves eletrificados no Brasil 2012-jun/2025

SÉRIE HISTÓRICA DE VENDAS DE VEÍCULOS LEVES ELETRIFICADOS NO BRASIL
(BEV+PHEV+HEV+HEV FLEX) – 2012 a jun/25

ABVE

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2012	9	16	7	3	13	23	5	3	2	2	18	16	117
2013	45	22	53	50	12	29	65	45	23	39	52	56	491
2014	93	61	65	53	94	52	61	79	71	53	87	86	855
2015	72	56	61	73	72	74	74	100	82	55	65	62	846
2016	58	64	60	137	41	91	48	59	79	93	159	202	1.091
2017	178	157	227	176	208	238	268	627	384	243	240	350	3.296
2018	272	254	367	367	302	382	262	262	286	405	374	437	3.970
2019	370	287	336	290	357	716	960	867	1.264	1.989	2.013	2.409	11.858
2020	1.568	2.053	1.570	442	601	1.334	1.668	1.943	2.113	2.273	2.231	1.949	19.745
2021	1.321	1.389	1.872	2.708	3.102	3.507	3.625	3.873	2.756	2.787	3.505	4.545	34.990
2022	2.557	3.435	3.851	3.124	3.387	4.073	3.136	4.249	6.391	4.460	4.995	5.586	49.244
2023	4.503	4.294	5.989	4.793	6.435	6.225	7.462	9.351	8.458	9.537	10.601	16.279	93.927
2024	12.026	10.451	13.613	15.206	13.612	14.396	15.312	14.667	13.265	16.033	17.143	21.634	177.358
2025*	12.556	12.988	14.380	14.759	16.641	15.525							86.849
TOTAL GERAL (2012 A 2025)													484.637

* Números de vendas conforme nova metodologia de classificação de eletrificados da ABVE.

Fonte: ABVE (2025)

Em 2024, as vendas de carros elétricos no Brasil mais que dobraram, com mais de 85% dos modelos adquiridos sendo de origem chinesa. Esse crescimento expressivo foi impulsionado, em grande parte, pela isenção do imposto de importação de 35% para veículos elétricos, cuja retirada progressiva teve início em 2024 e deverá ser concluída até meados de 2026 (IEA, 2025). Nesse intervalo, fabricantes como BYD e GWM já iniciaram a implantação de unidades produtivas no Brasil, com modelos voltados ao mercado nacional, como o Song Pro, da BYD, que contará com motorização compatível com combustíveis do tipo flex. Dentre os destaques nacionais, Belo Horizonte se consolidou como um dos principais polos de adoção de veículos eletrificados, ocupando a terceira colocação entre os municípios brasileiros com maior número de emplacamentos no primeiro semestre de 2025. A capital mineira ficou atrás apenas de São Paulo e Brasília (ABVE, 2025) conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 01 – Ranking de veículos vendidos no primeiro semestre de 2025

Ranking	Estado	Veículos Vendidos (1º Semestre 2025)
1º	São Paulo	11.121
2º	Brasília	8.483
3º	Belo Horizonte	3.442
4º	Rio de Janeiro	3.355
5º	Curitiba	2.349

Fonte: Adaptado de ABVE (2025)

2.1.6 Eletropostos e tipos de carregadores

As estações de recarga para veículos elétricos, também conhecidas como eletropostos, desempenham um papel fundamental na consolidação da mobilidade elétrica. Elas são componentes-chave na transição para um modelo de transporte mais sustentável, pois tornam possível o uso prático dos veículos elétricos no cotidiano. À medida que a frota global de carros

elétricos continua crescendo, torna-se cada vez mais urgente o desenvolvimento de uma infraestrutura de recarga que seja eficiente, abrangente e acessível.

No contexto brasileiro, segundo o plano decenal de expansão de energia 2032 (MME, 2023), os eletropostos são um dos principais desafios enfrentados para expandir o uso dos veículos elétricos no país. Eles proporcionam maior autonomia aos motoristas e oferecem mais comodidade para o uso diário desses veículos. Além disso, há um esforço conjunto entre o setor público e o setor privado para ampliar a quantidade de pontos de recarga disponíveis e, assim, permitir inclusive deslocamentos de longa distância com segurança e praticidade (MME, 2023).

O crescimento da frota elétrica no país tem impulsionado a necessidade de se desenvolver, na mesma proporção, a infraestrutura de carregamento. Em função disso, eletropostos vêm sendo implantados em diferentes locais estratégicos, como áreas urbanas, centros comerciais, postos de combustíveis e rodovias de grande circulação. A Figura 12 ilustra a evolução dos eletropostos no Brasil, que apesar do crescimento evidenciado, o desafio da expansão é evidente. O *dashboard* de dados da ABVE (2025) indica que o país ainda possui uma relação de, aproximadamente, 18 veículos elétricos por eletroposto. Esse índice reforça a urgência em acelerar a implantação de novos pontos de recarga para suportar o ritmo de crescimento da frota.

Figura 12 – Evolução dos eletropostos no Brasil.



Ano	Mês	Total	Evolucao
2025	fevereiro	14.827	22,16%
2024	novembro	12.137	14,26%
2024	agosto	10.622	20,70%
2024	julho	8.800	13,43%
2024	março	7.758	80,42%
2023	dezembro	4.300	13,16%
2023	agosto	3.800	8,48%
2023	junho	3.503	9,47%
2023	maio	3.200	11,81%
2022	outubro	2.862	128,96%

Fonte: ABVE (2025).

De acordo com dados da ABVE (2025), São Paulo lidera o ranking nacional de eletropostos, somando 1.741 unidades instaladas. Na sequência, aparecem o Rio de Janeiro com 848 e Brasília com 488 pontos de recarga. Belo Horizonte, por sua vez, figura na 11ª colocação dessa lista com centenas de cidades.

Além de promover ganhos ambientais, a expansão da rede de eletropostos também gera impactos positivos na economia. Isso ocorre porque sua instalação fomenta a geração de empregos, movimentando o setor industrial e estimula o avanço de tecnologias nacionais. Para que esse processo seja bem-sucedido, é necessário que haja uma cooperação entre os diversos setores envolvidos, como governo, empresas privadas e instituições de pesquisa (SALES, 2024).

Segundo a carta da eletromobilidade (ABVE, 2022), a adoção progressiva da eletromobilidade no Brasil exige que o país acompanhe as inovações e diretrizes que estão sendo seguidas em nível internacional. Estratégias como o investimento em carregadores rápidos, a integração com fontes de energia renovável e a padronização de sistemas de recarga são medidas fundamentais para consolidar uma rede eficaz e segura de abastecimento elétrico (ABVE, 2022).

De acordo com a NeoCharge (2023), existem diferentes modelos de carregadores para atender às variadas necessidades de mobilidade elétrica. Abaixo estão os principais tipos:

a) Carregador de Emergência

Esse é o modelo mais simples e básico, geralmente fornecido junto ao veículo no momento da compra. Ele permite que o veículo seja recarregado diretamente em tomadas residenciais comuns de 10 A. Sua estrutura é leve e portátil, sendo facilmente armazenado no porta-malas. Apesar da praticidade, apresenta potência bastante limitada, o que resulta em longos períodos de recarga. É indicado para situações emergenciais ou em locais onde não há outra infraestrutura disponível (NeoCharge, 2023). A Figura 13 mostra o carregador do tipo emergencial.

Figura 13 – Carregador do tipo emergencial.



Fonte: NeoCharge (2023).

b) Carregador Portátil

Visualmente parecido com o carregador de emergência, o modelo portátil é tecnicamente mais robusto. Ele pode ser conectado a tomadas de maior capacidade e fornece corrente de até 32 A, inclusive em instalações trifásicas, o que permite recargas até dez vezes mais rápidas do que as oferecidas por carregadores residenciais simples. Sua versatilidade permite que o usuário o transporte para diferentes locais, oferecendo um equilíbrio entre mobilidade e eficiência (NeoCharge, 2023). Na Figura 14 está representado o carregador do tipo portátil.

Figura 14 – Carregador do tipo portátil.



Fonte: NeoCharge (2023).

c) Carregador Residencial *WallBox*

Projetado para instalação fixa, geralmente em paredes de garagens ou estruturas similares, o *WallBox* é uma solução muito utilizada em residências e pequenos comércios. Segundo o NeoCharge (2023), ele oferece maior potência e segurança do que os modelos portáteis, sendo atualmente responsável por cerca de 80% das recargas de veículos elétricos. Esse tipo de carregador pode ser integrado a sistemas inteligentes de controle e gerenciamento de carga, e sua instalação normalmente requer uma estrutura elétrica apropriada (NeoCharge, 2023). O carregador do tipo residencial pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 – Carregador do tipo residencial.



Fonte: NeoCharge (2023).

d) Carregador Rápido (*DC Fast Charger*)

Também conhecido como carregador de eletroposto, esse é o modelo mais potente disponível no mercado. Utiliza corrente contínua (cc) para carregar as baterias dos veículos de forma extremamente rápida, podendo completar boa parte da carga em menos de 30 minutos, dependendo do modelo do carro. Por conta disso, é ideal para rodovias, frotas comerciais, postos de combustível e locais com grande fluxo de veículos. Esses carregadores geralmente utilizam padrões como o CCS (*Combined Charging System*) ou CHAdeMO, que permitem

maior controle e segurança na entrega de energia. Contudo, nem todos os veículos são compatíveis com esse tipo de carregamento, o que exige atenção na hora da escolha (NeoCharge, 2023). A Figura 16 exemplifica o modelo de carregador de carga rápida.

Figura 16 – Carregador do tipo carga rápida.



Fonte: NeoCharge (2023).

e) Carregador Comercial (*Parking*)

Voltado para estabelecimentos comerciais, estacionamentos e condomínios, esse tipo de carregador é uma versão mais robusta dos modelos residenciais. Além de oferecer maior durabilidade e capacidade de atendimento simultâneo a vários veículos, esses equipamentos costumam incluir sistemas de monitoramento remoto, controle de acesso e faturamento automático por meio de aplicativos ou plataformas online. São ideais para locais com alto volume de circulação e se tornam cada vez mais comuns em projetos de mobilidade urbana sustentável (NeoCharge, 2023). A Figura 17 apresenta um modelo de carregador do tipo comercial em estacionamentos.

Figura 17 – Carregador do tipo comercial.



Fonte: NeoCharge (2023).

2.1.7 Incentivos e políticas públicas

A legislação brasileira voltada aos veículos elétricos tem evoluído para acompanhar as tendências globais de estímulo à eletrificação da mobilidade, buscando incentivar a pesquisa e reduzir impostos relacionados à produção e inserção desses automóveis na frota nacional.

Apesar do crescimento expressivo nas vendas de veículos híbridos e elétricos, ainda persistem lacunas em políticas públicas que favoreçam o avanço e consolidação dessa tecnologia no país.

No Senado, tramitam projetos de lei com foco no tema. Um exemplo é o PL 2132/2025, que propõe diretrizes para o reaproveitamento, reciclagem e descarte adequado de baterias de veículos eletrificados, reconhecendo a importância do ciclo de vida desses componentes. Outro destaque é o PL 6.020/2019, encaminhado à Câmara dos Deputados no fim de 2024, cujo objetivo é estimular a utilização de veículos elétricos. A proposta destina recursos a instituições públicas de pesquisa, visando fomentar a inovação tecnológica em vez de priorizar exclusivamente os lucros do setor privado (SENADO, 2025).

Além dos projetos de lei, o governo federal criou programas como o Rota 2030, que concedeu incentivos fiscais à indústria automobilística, com a exigência de reinvestimento mínimo de 1,5% desses benefícios em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias voltadas exclusivamente para veículos elétricos (ANFAVEA, 2023). Mais recentemente, o Programa Mobilidade Verde e Inovação (MOVER) foi instituído pela Medida Provisória nº 1.205, de 30 de dezembro de 2023, substituindo o Rota 2030. O novo programa estabelece um regime tributário diferenciado para veículos sustentáveis e fortalece os incentivos à pesquisa e inovação no setor de transporte e logística além de impor novos critérios obrigatórios para fabricação e importação de veículos.

Quanto à regulamentação técnica, os principais órgãos responsáveis são o CONTRAN e o INMETRO. A Resolução CONTRAN nº 788/2019 define os requisitos mínimos de segurança para veículos com propulsão elétrica. Já a Portaria INMETRO nº 2.481/2020 trata dos critérios de certificação compulsória para sistemas de armazenamento de energia elétrica em veículos (ELETRICUS, 2022).

No que se refere à infraestrutura de recarga, a ANEEL e a ABNT estabelecem normas específicas. A Resolução Normativa nº 819/2018 da ANEEL regulamenta o acesso, cadastramento, medição e tarifação das unidades consumidoras de recarga. Já a REN nº 1.000/2021 atualiza essas diretrizes, introduzindo exigências técnicas, operacionais e de interoperabilidade entre os sistemas, promovendo maior segurança, controle e transparência (ELETRICUS, 2022).

2.2 Geração fotovoltaica

A consolidação dos veículos elétricos como uma alternativa sustentável à mobilidade depende de como a eletricidade que os alimenta é gerada. O benefício ambiental máximo dos veículos elétricos, a neutralização de emissões, é alcançado apenas quando o carregamento das baterias é feito por meio de fontes de energia limpa e renovável. Estudos demonstram que, se a eletricidade provém majoritariamente de termelétricas a carvão ou gás, o impacto das emissões é apenas deslocado do escapamento do veículo para a usina de geração, um conceito conhecido como emissão do poço à roda, do inglês *well-to-wheel* (ICCT, 2023). Embora a matriz brasileira seja de baixo carbono, dominada pela hidrelétrica, esta fonte possui emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas, principalmente, à liberação de metano (CH₄) causada pela

decomposição da biomassa nos reservatórios (FEARNSIDE, 2019). Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme* - UNEP) (2021), o metano é apontado como responsável por aproximadamente 30% do aquecimento global desde o período pré-industrial, apresentando atualmente uma taxa de crescimento mais acelerada do que em qualquer outro momento desde o início dos registros sistemáticos na década de 1980. Nesse contexto, a adoção de tecnologias de geração distribuída de energia renovável, como a fotovoltaica, torna-se um pilar fundamental para garantir que a transição para a mobilidade elétrica seja verdadeiramente sustentável.

O sol representa uma das principais fontes naturais de energia limpa e renovável disponíveis no planeta, sendo essencial para a sustentação dos ecossistemas terrestres. Sua presença é determinante na regulação de diversos processos naturais, como os ciclos biogeoquímicos, a circulação atmosférica e a manutenção das condições climáticas que permitem a existência da vida. Além de seu papel ecológico, a energia solar tem ganhado destaque como uma das fontes de energia renovável com maior potencial de crescimento nos próximos anos, conforme apontado por Casagrande (2019).

Contudo, apesar das vantagens ambientais e do potencial energético do sol, ainda existem desafios a serem superados, especialmente no que se refere à eficiência dos sistemas de conversão e aos custos de instalação e operação. Apesar dessas limitações, o avanço contínuo das tecnologias tem contribuído para a redução dos custos e o aumento da eficiência dos sistemas solares, tornando essa fonte cada vez mais competitiva no cenário energético global. Vieira (2023) destaca que o investimento contínuo em pesquisa e desenvolvimento é crucial para consolidar a energia solar como parte significativa da matriz energética do futuro.

A energia solar fotovoltaica se destaca entre as tecnologias que aproveitam a luz solar, pois permite a geração de eletricidade por meio direto da radiação solar. Essa eletricidade é produzida por painéis solares compostos por materiais semicondutores, como o silício, que convertem a energia luminosa em corrente elétrica por meio do efeito fotovoltaico. Trata-se de uma fonte de energia abundante, renovável e com impacto ambiental reduzido. Os sistemas fotovoltaicos podem ser aplicados em diferentes contextos, desde o fornecimento de energia para residências até o armazenamento em baterias, garantindo maior autonomia energética para os usuários (VIEIRA, 2023).

2.2.1 Histórico

Diversos marcos históricos contribuíram para o desenvolvimento dos equipamentos utilizados na conversão da energia solar fotovoltaica ao longo do tempo. O processo teve início em 1839, com a descoberta do efeito fotovoltaico por Edmond Becquerel, que observou a geração de uma diferença de potencial elétrico quando uma célula eletroquímica era exposta à luz. Posteriormente, em 1876, foi criado o primeiro dispositivo fotovoltaico com base nos estudos sobre física do estado sólido. No entanto, somente em 1956 iniciou-se a produção em escala industrial desses dispositivos, impulsionada pelo avanço do setor eletrônico (CEPEL; CRESESB, 2014).

Nos seus estágios iniciais, a tecnologia fotovoltaica teve aplicações voltadas principalmente para o atendimento de sistemas instalados em locais remotos, sendo uma solução buscada por empresas de telecomunicações. Outro fator determinante para o progresso dessa tecnologia foi a corrida espacial. A célula fotovoltaica se consolidou como uma das alternativas mais vantajosas para alimentar os sistemas eletrônicos utilizados em missões espaciais, por apresentar baixo custo, leveza e confiabilidade (CEPEL; CRESESB, 2014). Com a crise do petróleo em 1973, o interesse em explorar a energia solar em aplicações terrestres se intensificou. Contudo, o alto custo de produção das células fotovoltaicas dificultava sua viabilidade econômica. Naquele período, estimava-se que seria necessário reduzir em até cem vezes os custos de fabricação para que a tecnologia se tornasse competitiva em relação às células utilizadas no setor espacial. Além disso, o perfil dos investidores nesse segmento começou a mudar, sendo que algumas companhias petrolíferas americanas passaram a diversificar suas operações, investindo também em energia solar (CEPEL; CRESESB, 2014).

Por volta de 1978, a produção mundial de sistemas fotovoltaicos atingiu 1 MWp por ano, com os Estados Unidos liderando esse mercado até o final da década de 1990. A partir desse período, a Alemanha e o Japão passaram a implementar políticas públicas mais robustas, o que impulsionou o crescimento de seus mercados fotovoltaicos. Essas ações foram motivadas por compromissos ambientais assumidos no âmbito do Protocolo de Kyoto e também por interesses econômicos ligados à exportação dessa tecnologia (CEPEL; CRESESB, 2014).

Em 1998, a produção mundial de células fotovoltaicas chegou a 150 MWp, sendo o silício o material predominante. A partir de 2006, observou-se uma rápida expansão da produção fotovoltaica na China. Em 2003, o continente asiático ainda não figurava entre os dez maiores produtores globais, mas, em 2008, quatro fabricantes asiáticos (três da China e um de Taiwan) já estavam entre os líderes do mercado. Em 2009, a China assumiu a liderança na fabricação de módulos fotovoltaicos (CRESESB, 2014). Apesar da disponibilidade abundante da energia solar na superfície terrestre, seu uso para geração de eletricidade ainda é limitado. Em contrapartida, países desenvolvidos vêm promovendo políticas de incentivo à instalação de sistemas fotovoltaicos, o que tem transformado esse panorama. Em 2012, a produção mundial atingiu 36,2 GWp, o que equivale a mais de duas vezes e meia a potência instalada da Usina Hidrelétrica de Itaipu, a maior geradora de energia elétrica do Brasil. Nos últimos onze anos analisados, o setor de células e módulos fotovoltaicos apresentou um crescimento médio anual de 54,2% (CEPEL; CRESESB, 2014). No cenário brasileiro, um marco importante ocorreu em 2020, quando a geração distribuída superou a geração centralizada.

A seguir, na Figura 18, apresenta-se os principais eventos relacionados à energia solar fotovoltaica.

Figura 18 – Principais eventos para o desenvolvimento da tecnologia FV

1800	Descoberta do Selênio (Se) (Berzelius)
1820	Preparação do Silício (Si) (Berzelius)
1840	Efeito Fotovoltaico (Becquerel)
1860	Efeito Fotocondutivo no Se (Smith)
	Retificador de Ponto de Contato (Braun)
1880	Efeito Fotocondutivo no Se (Adams & Day)
	Célula Fotovoltaica de Se (Fritts/Uljanin)
1900	Fotosensibilidade em Cu-Cu ₂ O (Hallwachs)
1910	
	Efeito Fotovoltaico com Barreira de Potencial (Goldman & Brodsky)
1920	Monocristal a partir do Si Fundido (Czochralski)
	Retificador de Cu-Cu ₂ O (Grondahl)
1930	Célula Fotovoltaica de Cu-Cu ₂ O (Grondahl & Geiger)
	Teorias de Bandas em Sólidos (Strutt/Brillouin/Krönig & P)
	Teorias de Células com Barreiras V e H (Schottky et al)
1940	Teoria da Difusão Eletrônica (Dember)
	Aplicações Fotométricas (Lange)
	1% de Eficiência em Células de Sulfeto de Tálio (Nix & Treptow)
1950	Crescimento de Células Fotovoltaicas com Junção (Ohl)
	Teoria da Junções <i>p-n</i> (Shockley)
1954	Célula Solar de Si (Pearson, Fuller & Chapin)
1955	Junções <i>p-n</i> Difundidas (Fuller)
1960	Célula Solar de CdS (Reynolds et al)
	Teorias de Células Solares (Piann & Roosbroeck/Prince)
1962	O "Bandgap" e a Eficiência das Células (Loferski, R. & W)
	Teoria da Resposta Espectral, Mecanismo de Perdas (Wolf)
	Efeitos de Resistência em Série (Wolf & Rauschenbach)
	Células de Si <i>n/p</i> Resistentes a Radiação (Kesperis & M.)
	Contatos Evaporados de Ti-Ag (BTL)
1973	Células Violeta com 15,2% de Eficiência
1976	Células de Silício Amorfo (a-Si)
1992	Células Metal-Insulator-Semicondutor (MIS) de 24% de Eficiência
1998	Células de Silício Monocristalino com Eficiência de 24,7%
1999	Potência Instalada Acumulada Atinge o Primeiro GWp
2002	Potência Instalada Acumulada Dobra em Relação a 1999
2005	Eficiência Superior a 20% para Células em Silício Policristalino
2006	Células Multijunção com Rendimentos Superiores a 34%
	Células de Tripla Junção Superam os 40 % de Eficiência
2008	Módulos de c-Si Dominam 87% do Mercado (John Wiley & Sons, 2011)
	Expansão de Módulos de Filme Fino (a-Si, CdTe e módulos CIS)
2009	Mais de 23 GWp Instalados (EPIA)
2011	Mais de 70 GWp de Potência Instalada Acumulada (EPIA, 2012)
2012	Potência Instalada Acumulada Supera 100 GWp (EPIA, 2013)

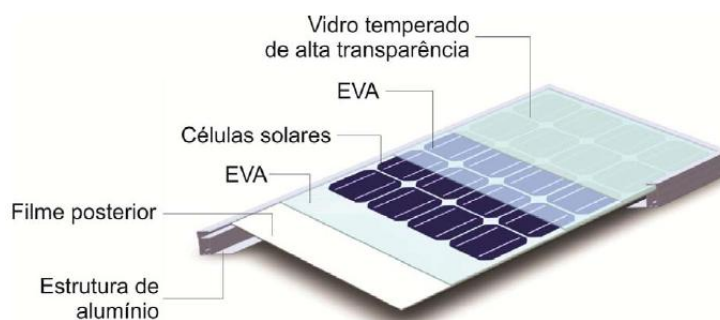
Fonte: CEPEL; CRESESB (2014)

Segundo a IRENA (2025), no ano de 2024, a energia solar destacou-se como a principal fonte de capacidade renovável instalada globalmente, representando 42% do total, o que equivale a aproximadamente 1.866 GW. Em seguida, vieram a energia hidrelétrica com 28,7% (1.277 GW), a eólica com 25,5% (1.133 GW), a bioenergia com 3,4% (151 GW) e, por fim, a energia geotérmica com 0,3% (15 GW), além de uma contribuição marginal da energia oriunda dos mares. Observa-se um avanço significativo das fontes renováveis intermitentes, como solar e eólica, que juntas passaram a compor 67,5% da capacidade total renovável. Essas duas fontes também lideraram as novas adições de capacidade no setor em 2024, respondendo por 97,5% do crescimento líquido, sendo 453 GW provenientes da energia solar e 114 GW da energia eólica.

2.2.2 Célula fotovoltaica e módulo fotovoltaico

As células fotovoltaicas, após fabricadas, são conectadas entre si por meio de ligações elétricas e então encapsuladas, formando o módulo fotovoltaico. Um único módulo pode conter entre 36 e 216 células, dispostas em série e/ou paralelo, conforme os requisitos elétricos da aplicação final. Essas células são unidas por tiras condutoras, passando por um processo de soldagem, que antecede o encapsulamento responsável por protegê-las de intempéries e garantir a robustez mecânica do módulo (CEPEL; CRESESB, 2014). O encapsulamento consiste em uma estrutura em camadas, composta por vidro temperado de alta transparência na parte frontal, camadas de EVA (acetato de etileno-vinila) estabilizado contra radiação UV, as células fotovoltaicas, mais uma camada de EVA, e um filme posterior isolante, geralmente feito com polímeros diversos. Esse conjunto é submetido a um processo de laminação em temperaturas entre 120 °C e 150 °C, momento em que o EVA se liquefaz e possíveis bolhas de ar são eliminadas, na sequência, ocorre a cura do EVA, processo que garante maior durabilidade e resistência ao módulo e por fim, o módulo recebe uma moldura de alumínio anodizado e uma caixa de conexões elétricas, completando a montagem (CEPEL; CRESESB, 2014). A Figura 19 ilustra as diferentes camadas descritas, apresentando a configuração final do módulo de silício cristalino.

Figura 19 - Estrutura de um módulo baseado em células de silício cristalino



Fonte: CEPEL; CRESESB (2014)

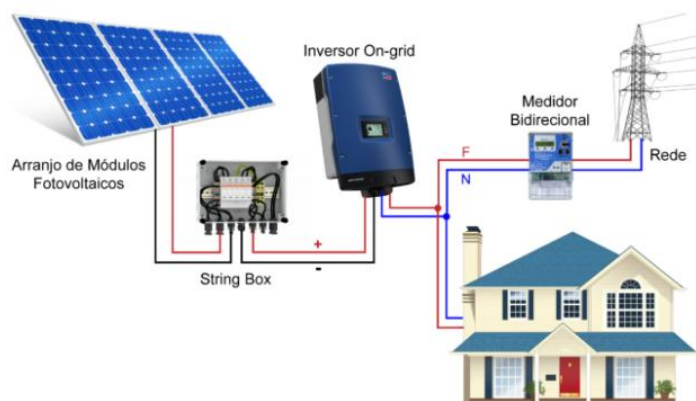
2.2.3 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Um sistema de geração fotovoltaica é formado, essencialmente, por quatro componentes principais: os módulos solares, que têm a função de captar a luz solar e convertê-la em energia elétrica; os controladores de carga, cuja função é proteger as baterias contra sobrecargas e prolongar sua vida útil; os inversores, responsáveis por converter a corrente contínua (cc) gerada pelos painéis em corrente alternada (CA), compatível com a rede elétrica e com as cargas conectadas; e, por fim, as baterias, que armazenam a energia excedente para ser utilizada em momentos sem geração solar (OLIVEIRA, 2021). Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de acordo com sua forma de operação.

O sistema *on-grid* é conectado diretamente à rede elétrica pública e atua como uma fonte complementar de energia em locais já atendidos por concessionárias, injetando o excedente de geração para a rede (ALVES, 2019). Na Figura 20, observa-se uma instalação típica de um

sistema *on-grid*, na qual é possível identificar os principais componentes e sua conexão direta com a rede elétrica.

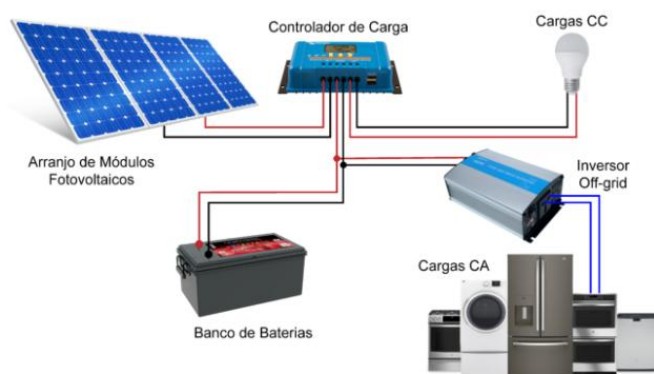
Figura 20 – Instalação típica sistema *on-grid*



Fonte: MORAES (2021)

Sistemas fotovoltaicos *off-grid* operam de forma independente da rede pública de distribuição de energia elétrica e são especialmente empregados em áreas onde não há acesso à infraestrutura convencional. Além disso, esse tipo de sistema pode ser uma alternativa viável para locais que necessitam de fornecimento energético contínuo, mesmo estando sujeitos a frequentes interrupções no serviço de energia da rede (SANTOS, 2019). A Figura 21 ilustra uma instalação típica de sistema *off-grid*, evidenciando a configuração independente da rede e o conjunto de equipamentos necessários para garantir o fornecimento contínuo de energia.

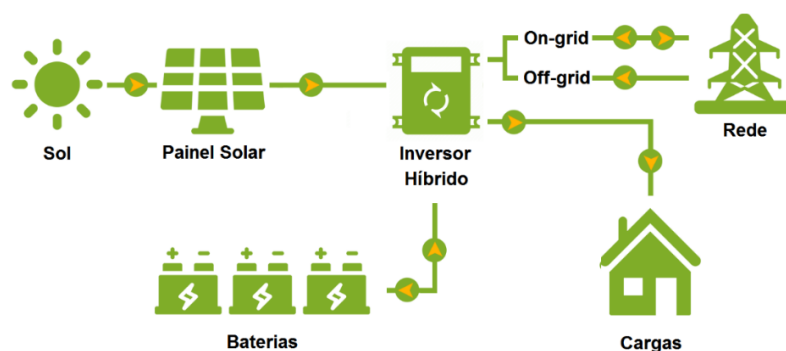
Figura 21 – Instalação típica sistema *off-grid*



Fonte: MORAES (2021)

No sistema híbrido, utiliza-se tanto a energia da rede elétrica quanto baterias de armazenamento, sendo ideal em regiões com interrupções frequentes no fornecimento de energia, como ocorre em atividades industriais e rurais que dependem de fornecimento contínuo (CUNHA; SILVA, 2020). A Figura 22 apresenta um exemplo de instalação típica de sistema híbrido, evidenciando a integração entre rede elétrica e baterias de armazenamento.

Figura 22 – Instalação típica sistema híbrido



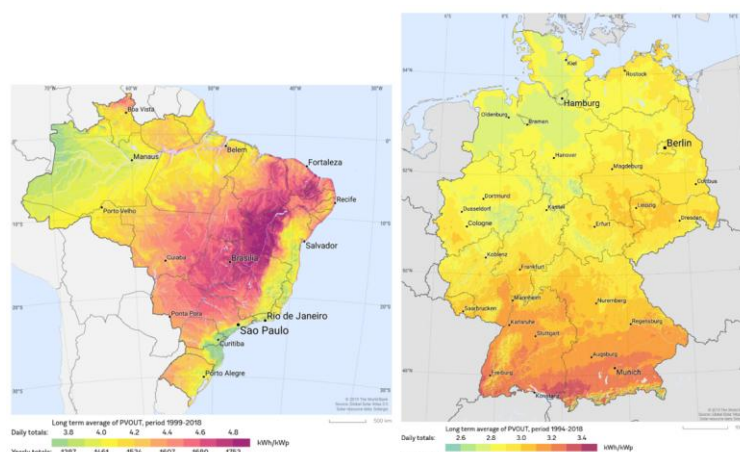
Fonte: EnergyShop (2025)

2.2.4 Potencial fotovoltaico/solar no Brasil

A radiação solar representa uma fonte praticamente inesgotável de energia com enorme potencial de aproveitamento para suprir as demandas energéticas humanas. O sol fornece anualmente cerca de 15×10^{18} kWh de energia à atmosfera terrestre, volume esse que corresponde a aproximadamente 10.000 vezes o consumo energético mundial no mesmo período (SILVA, 2023). Considerando que, no ano de 2000, o consumo global foi de 13 terawatts (TW) e a projeção para 2050 é de 30 TW, fica evidente que a energia solar disponível ultrapassa amplamente as necessidades humanas (MACHADO; MIRANDA, 2014). Diante disso, a radiação solar, além de ser essencial para a manutenção da vida, configura-se como uma alternativa estratégica e sustentável para a geração de energia, desde que devidamente captada e convertida por tecnologias adequadas (SILVA, 2023).

Segundo Pereira *et al.* (2017), o Brasil possui um elevado potencial para geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos. Conforme indicado no mapa da Figura 23, mesmo as regiões menos ensolaradas do país apresentam maior capacidade de geração solar do que a maioria das partes ensolaradas da Alemanha. Esse mapa apresenta o rendimento anual máximo em quilowatt-hora (kWh) gerado por quilowatt-pico (kWp) instalado, abrangendo tanto grandes usinas fotovoltaicas centralizadas em solo quanto sistemas distribuídos em telhados e coberturas de edificações.

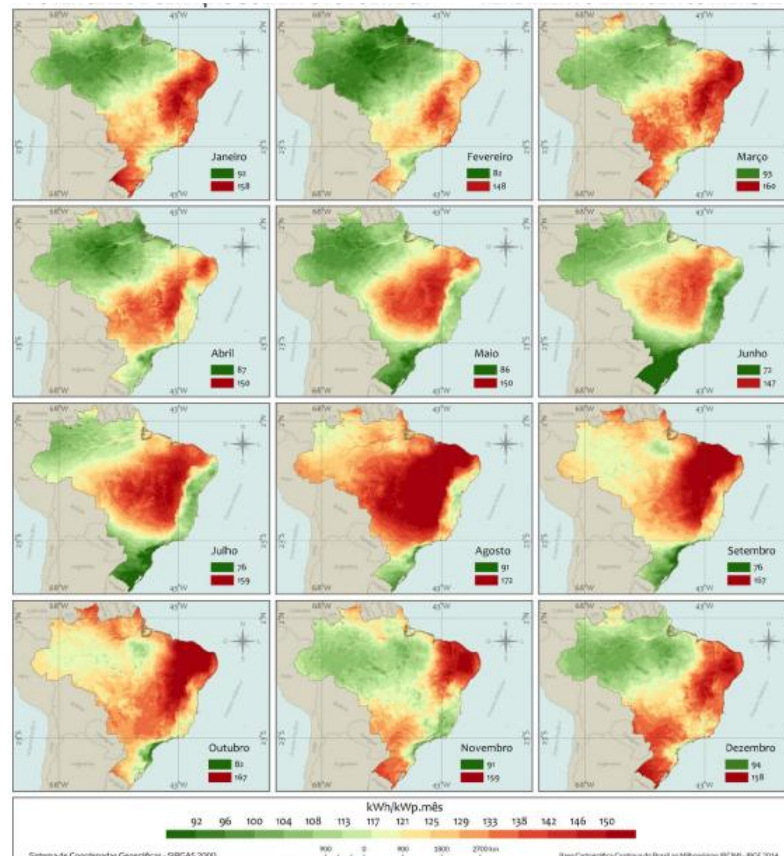
Figura 23 - Potencial de geração solar fotovoltaica para o Brasil vs Alemanha



Fonte: Adaptado de SOLARIS (2019)

Além disso, destaca-se que durante o verão, especialmente entre os meses de dezembro e março, a produção de energia solar atinge seu pico nas regiões Sul e Sudeste do país, coincidindo com os períodos de maior demanda energética registrados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) nessas localidades (PEREIRA *et al.*, 2017). A Figura 24 apresenta o potencial mensal no Brasil.

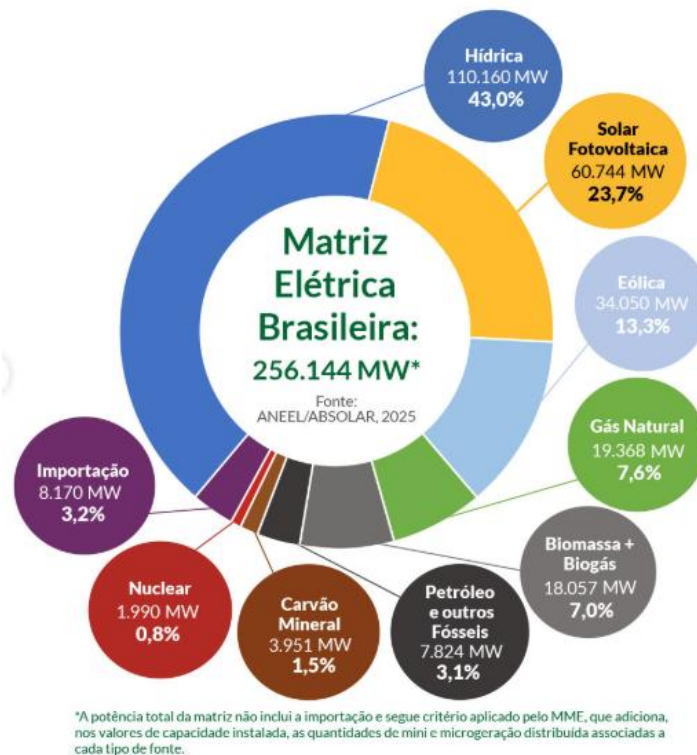
Figura 24 – Potencial FV mensal no Brasil



Fonte: PEREIRA *et al.* (2017)

A matriz elétrica do Brasil, apresentada na Figura 25, mostra que a energia solar fotovoltaica é responsável por 60.744 MW atingindo aproximadamente 23,7%, ficando atrás somente da energia hídrica que ocupa 43% (ABSOLAR, 2025).

Figura 25 – Matriz elétrica Brasileira



Fonte: ABSOLAR (2025)

2.2.5 Regulamentação no Brasil

A regulamentação da geração de energia fotovoltaica no Brasil teve início com a Resolução Normativa ANEEL nº 482, que entrou em vigor em 17 de abril de 2012. Esta resolução estabeleceu as bases do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), permitindo que consumidores com sistemas de geração renovável conectados à rede elétrica, como os sistemas fotovoltaicos, possam injetar o excedente de energia gerada na rede e utilizá-lo como crédito em sua fatura de energia (ANEEL, 2012).

Em 2015, essa regulamentação foi ampliada com a Resolução Normativa nº 687, que introduziu diversas melhorias ao modelo inicial. Entre as alterações, destaca-se a extensão do prazo de validade dos créditos de energia de 3 para 5 anos, o reconhecimento da geração compartilhada, permitindo que diferentes consumidores compartilhem um mesmo sistema de geração, e o aprimoramento dos procedimentos de solicitação e acompanhamento junto às distribuidoras, inclusive de forma online. Também foi atribuída à distribuidora a responsabilidade técnica e financeira pelo sistema de medição para microgeração, conforme normas do PRODIST (Procedimentos de Distribuição da Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) (ANEEL, 2015).

Em janeiro de 2023, entrou em vigor a Lei nº 14.300/2022, também chamada de Marco Legal da Geração Distribuída, que trouxe novas diretrizes, incluindo uma tarifa sobre o uso da rede de distribuição fazendo-se necessário uma revisão das regras anteriores, com isso, a ANEEL publicou a resolução normativa nº 1059 que revogou e substituiu integralmente as resoluções 482 e 687 (ANEEL, 2023). Uma das mudanças importantes foi a implantação de uma

taxa conhecida como encargo do Fio B, essa cobrança refere-se ao custo de operação e manutenção da infraestrutura elétrica utilizada por sistemas de geração distribuída. Mesmo produtores que geram sua própria energia, como no caso dos painéis solares, continuam dependentes da rede em momentos de baixa geração, como à noite ou em dias nublados. Por isso, a nova lei determina que esses consumidores contribuam proporcionalmente pelo uso da rede.

Essa cobrança será implementada de forma gradual até 2028, com percentuais progressivos conforme apresentado na Tabela 2, permitindo uma adaptação mais suave dos consumidores. O objetivo é equilibrar a expansão da geração distribuída com a sustentabilidade econômica do sistema elétrico nacional, garantindo que as distribuidoras continuem prestando um serviço de qualidade a todos os usuários da rede.

Tabela 02 – Percentual TUSD FIO B

Percentual de cobrança das TUSD FIO B
15% em 2023
30% em 2024
45% em 2025
60% em 2025
75% em 2027
90% em 2028

Fonte: Adaptado da lei 14.300 (2022)

2.3 Considerações parciais

A revisão da literatura evidenciou que os veículos elétricos estão cada vez mais presentes no debate global sobre descarbonização do setor de transportes, especialmente após o acordo de Paris. Embora tenham enfrentado períodos de estagnação, avanços tecnológicos, políticas públicas e o crescimento da infraestrutura de recarga têm impulsionado sua retomada, refletida no aumento da frota mundial. No âmbito tecnológico, diferentes tipologias de veículos eletrificados apresentam contribuições variadas em termos de autonomia e impacto ambiental, sendo os BEVs os mais eficientes na redução de emissões, embora ainda enfrentem desafios relacionados ao custo das baterias e à autonomia.

Paralelamente, a energia solar fotovoltaica, em grande expansão no Brasil e no mundo, surge como uma alternativa estratégica para integração com a eletromobilidade. Nesse contexto, avaliar a viabilidade econômica torna-se essencial, aplicado em projetos de geração renovável, fornecem subsídios para decisões mais seguras e fundamentadas.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia adotada para o desenvolvimento da análise de viabilidade do projeto, estruturada como um estudo de caso aplicado a uma empresa fictícia. O estudo de caso, conforme destacado por Yin (2015), é uma estratégia metodológica adequada para a investigação de fenômenos contemporâneos em seu contexto, permitindo explorar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de cenários específicos. Assim, são detalhadas as etapas de levantamento de dados da frota atual e de veículos elétricos equivalentes, dimensionamento dos carregadores e da usina solar fotovoltaica. Em seguida, são definidas as etapas de cálculo do investimento inicial, fluxo de caixa, horizonte de planejamento e indicadores de viabilidade econômica.

3.1 Levantamento dos dados da frota e consumo combustível da empresa

A primeira etapa consistiu na caracterização da frota atual de uma empresa fictícia de porte pequeno que atua no setor logístico e possui sede em Belo Horizonte/MG. Nesta etapa foram coletadas informações referentes aos veículos atualmente utilizados pela empresa fictícia, como modelo, tipo de combustível, consumo médio, quilometragem mensal e finalidade de uso. A partir desses dados, calculou-se o custo mensal de combustível utilizando a Equação 3.1.

$$\text{Custo Gasolina Mensal} = \text{Quantidade de Gasolina} \times \text{Valor da Gasolina} \quad (3.1)$$

onde, Quantidade de gasolina refere-se ao volume consumido em litros por mês (L/mês), e Valor da gasolina corresponde ao preço médio unitário do litro de combustível, em reais (R\$), conforme dados disponibilizados pela Petrobrás.

Por meio da aplicação de fatores de emissão recomendados pela literatura de Carvalho (2011) em um texto para discussão para o IPEA (Instituto de pesquisa econômica aplicada), foi possível estimar a quantidade de CO₂ emitida pela frota conforme apresentado na Equação 3.2.

$$\text{Emissão de CO}_2 = \text{Qtde de Combustivel} \times \text{Fator Emissão} \quad (3.2)$$

onde, Emissão de CO₂ refere-se ao valor total de dióxido de carbono emitido, expresso em quilogramas por mês (kg/mês), Qtde de combustível corresponde à quantidade de combustível consumida, em litros por mês (L/mês), para cada tipo de combustível (gasolina ou diesel), e o Fator de Emissão representa o coeficiente utilizado para estimar a quantidade de CO₂ emitida por litro de combustível consumido (kg/L).

3.2 Levantamento dos carros elétricos semelhantes ao da frota a combustão

Essa etapa visa identificar os modelos de veículos 100% elétricos disponíveis no mercado brasileiro que se assemelhem às categorias e funcionalidades dos modelos a combustão adotados no estudo de caso. Para essa busca, foram aplicados três critérios de seleção, sendo

eles: custo de aquisição, autonomia do veículo e finalidade de uso. A Tabela 3 apresenta o levantamento de veículos elétricos no Brasil. Todos os veículos são elétricos e novos.

Tabela 03 – Levantamento de veículos elétricos disponíveis no Brasil por categoria

LEVANTAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL				
Categoria	Modelo Elétrico	Preço Médio (R\$)	Autonomia (km)	Bateria (kWh)
Utilitário leve	JAC iEV330P	389.900	330	65,3
Utilitário leve	Riddara RD6 Luxury	320.000	515	86
Veículo de carga	Renault Kangoo E-Tech	299.390	210	45
Veículo de carga	BYD ET3 2023	259.900	250	50
Veículo de carga	JAC E-JV5.5	330.000	260	50
Veículo corporativo	Renault Kwid E-Tech	99.990	185	27
Veículo corporativo	BYD Dolphin Mini	119.800	280	38,8
Veículo corporativo	BYD Yuan Pro	182.800	250	45,1

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

3.3 Dimensionamento do sistema de recarga e geração solar fotovoltaica

3.3.1 Dimensionamento dos carregadores

Na escolha do carregador do sistema foram seguidos os passos abaixo:

- 1) Definição da potência máxima suportada pelos veículos da frota elétrica.
- 2) Seleção do tipo de carregador: cc ou ca.
- 3) Levantamento de carregadores disponíveis no mercado até a máxima potência suportada.
- 4) Realização Análise de custo-benefício (R\$/kW).

Após a escolha do tipo de carregador, é realizado cálculo de quantidade de carregadores. Para isso, o primeiro passo é determinar a demanda mensal por meio da Equação 3.3.

$$Consumo = N \times \left(\frac{QM}{Aut} \right) \times Cap \quad (3.3)$$

onde, N é o número de veículos, QM é a quilometragem mensal do veículo, Aut é a autonomia do veículo em quilômetros e Cap é a capacidade da bateria do veículo elétrico em kWh.

Na sequência, é realizado o cálculo da capacidade máxima mensal de utilização do carregador de acordo com o horário de funcionamento da empresa, por meio da Equação 3.4.

$$\text{Capacidade Máxima} = P_c \times D \times H \quad (3.4)$$

onde, P_c é a potência do carregador em kW, D é o número de dias trabalhados e H é a quantidade de horas utilizada no dia.

Com isso, é possível determinar a quantidade de carregadores através da Equação 3.5:

$$\text{Número de carregadores} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Capacidade Máxima}} \quad (3.5)$$

3.3.2 Dimensionamento dos módulos e inversores da usina solar fotovoltaica (UFV)

Para o dimensionamento da usina solar fotovoltaica (UFV) é necessário obter os dados de irradiância do local a ser executado o projeto.

Na sequência, a escolha dos módulos fotovoltaicos a serem utilizados é realizada, e com isso calcula-se o número de módulos necessários. A quantidade de módulos fotovoltaicos (N) necessária para suprir a demanda energética dependerá da média diária de energia gerada ($W_{\text{módulo}}$) por cada unidade (CEPEL; CRESESB, 2014), como demonstrado na Equação 3.6.

$$W_{\text{módulo}} = \text{Irradiação}_{\text{média}} \times A \times \epsilon \times \varphi \quad (3.6)$$

onde, a Irradiação é medida em kWh.m² para o local determinado, A refere-se a área do módulo escolhido em m², ϵ é a eficiência do módulo e φ é a eficiência do sistema.

A partir da energia média fornecida por cada módulo ($W_{\text{módulo}}$), é possível determinar o número total de módulos (N) necessários para suprir o consumo energético (C) da instalação. Essa relação é expressa na Equação 3.7 (CEPEL; CRESESB, 2014).

$$N = \frac{C}{W_{\text{módulo}}} \quad (3.7)$$

Após o cálculo de número de módulos, procede-se a escolha do inversor a ser utilizado na usina solar fotovoltaica. Para isso, os critérios abaixo de potência, corrente e tensão devem ser respeitados (NBR 16690, 2020).

A potência nominal do arranjo fotovoltaico conectado ao inversor não deve exceder de forma significativa a potência máxima suportada por esse equipamento. Dessa forma, a potência máxima do inversor deve sempre ser superior à potência total do arranjo fotovoltaico associado, conforme representado na inequação 3.8.

$$P_{\text{inv}} > P_{\text{arranjo}} \quad (3.8)$$

O não atendimento a essa condição pode resultar na limitação da potência de saída durante os períodos de maior incidência de irradiação solar.

Para a verificação da corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico (I_{sc}) em relação à corrente máxima de entrada em corrente contínua do inversor (I_{inv}). Recomenda-se adotar uma margem de segurança, uma vez que o valor de corrente de curto-circuito informado pelo fabricante é obtido sob condições padrão de teste (STC), correspondentes a uma irradiância de 1.000 W/m^2 e temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Entretanto, em diversas regiões do Brasil, a irradiância pode ultrapassar esse valor, ocasionando correntes superiores às especificadas nas condições STC. Por essa razão, é usual considerar uma margem de aproximadamente 10% entre a corrente máxima de entrada do inversor e a corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico, apresentado na relação 3.9.

$$I_{inv} > 1,1 \times I_{sc} \quad (3.9)$$

Em relação à tensão, recomenda-se que a tensão contínua máxima suportada pelo inversor (V_{inv}) seja, no mínimo, 20% superior à soma das tensões de circuito aberto dos módulos conectados em série ($N \times V_{oc}$). Essa margem adicional, apresentada na relação 3.10, garante que o inversor opere de forma segura, mesmo em condições de baixa temperatura ambiente, nas quais a tensão de circuito aberto tende a aumentar.

$$V_{inv} > N \times 1,2 \times V_{oc} \quad (3.10)$$

3.3.3 Dimensionamento da proteção cc e ca da UFV

O dimensionamento da proteção e infraestrutura elétrica da usina solar fotovoltaica (UFV) foi realizado com base nas normas técnicas vigentes, especialmente a NBR 16612, que trata de instalações elétricas em corrente contínua de sistemas fotovoltaicos, e a NBR 5410, que estabelece requisitos para instalações elétricas em baixa tensão.

3.3.3.1 Proteção Corrente Contínua (cc)

Na etapa em corrente contínua, considerou-se a utilização de dispositivos como chave seccionadora, fusíveis, disjuntores e dispositivos de proteção contra surtos (DPS). Esses elementos podem ser instalados em *string box* dedicadas ou integrados ao próprio inversor.

Para a chave seccionadora, o dimensionamento foi realizado com base nos valores máximos de tensão e corrente da *string*, cujo dimensionamento é realizado a partir da soma das tensões de circuito aberto (V_{oc}) dos módulos conectados em série e da corrente máxima de entrada do inversor (I_{inv}).

Os fusíveis são aplicados em ambos os polos, e sua corrente nominal deve ser compatível com a corrente máxima de operação do arranjo, ou seja, a corrente máxima de entrada do inversor (I_{inv}) além de ser menor do que a capacidade do cabo.

Já nos dispositivos de proteção contra surtos (DPS) a seleção é feita com base na tensão de circuito aberto das *strings*, escolhendo-se modelos para corrente contínua com tensão nominal superior à tensão de circuito aberto (V_{oc}) do arranjo.

3.3.3.2 *Proteção Corrente Alternada (ca)*

No lado de corrente alternada do sistema, são utilizados dispositivos como disjuntores e DPS. O dimensionamento do DPS considera a tensão entre fase e terra da instalação.

Já para o disjuntor, deve-se atender a relação 3.11.

$$I_{projeto} < I_{disjuntor} < I_{cabo} \quad (3.11)$$

O que garante a seletividade e proteção adequada sem disparos indevidos durante a operação nominal.

3.3.4 *Dimensionamento dos cabos cc e ca da UFV*

3.3.4.1 *Cabos cc*

Para a determinação dos cabos cc a serem utilizados, foi consultado a tabela de capacidade de condução da NBR 16612 após a definição dos critérios a seguir.

- Corrente do projeto;

$$I_{projeto} = I_{fusível}$$

- Forma de instalação (Ar livre ou protegidos da radiação solar);
- Temperatura ambiente.

3.3.4.2 *Cabos ca*

Após a conversão da energia de corrente contínua (cc) em corrente alternada (ca) pelo inversor, o trecho de ligação entre sua saída e o medidor de energia deve ser executado com condutores adequados para corrente alternada. O cálculo da bitola desses cabos deve considerar três critérios principais estabelecidos pela ABNT NBR 5410:

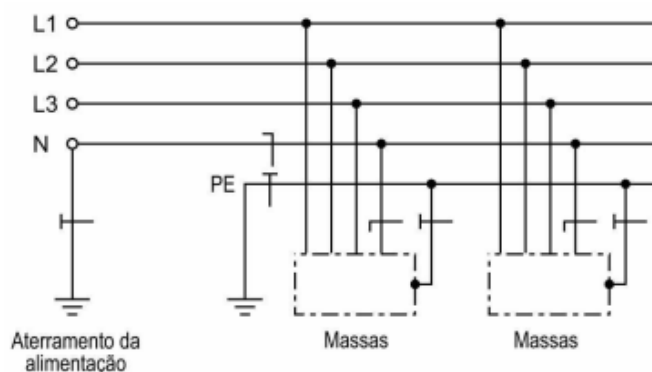
- Seção transversal mínima permitida, conforme limites estabelecidos na NBR 5410;
- Capacidade de condução de corrente elétrica conforme o modo de instalação, também conforme NBR 5410;
- Queda de tensão admissível ao longo do circuito, obtida a partir de tabelas de impedância fornecidas por fabricantes de cabos elétricos e limitada pelos percentuais máximos estabelecidos na norma (até 2% para circuitos de força).

A seção adotada deve corresponder à maior entre os três critérios, garantindo que o cabo suporte adequadamente a corrente elétrica, mantenha a queda de tensão dentro do limite aceitável e esteja em conformidade com as dimensões mínimas exigidas pela norma.

3.3.5 Dimensionamento do aterramento da UFV

Para o dimensionamento do aterramento da usina solar fotovoltaica será utilizada a norma 16690, de forma que as massas metálicas dos módulos, suportes e carcaças estejam devidamente aterradas, assegurando proteção elétrica e segurança operacional. Para essa situação utiliza-se o aterramento do tipo TT semelhante ao apresentado no esquema da Figura 26.

Figura 26 – Aterramento esquema TT



Fonte: ABNT NBR 5410 (2004)

3.4 Análise de viabilidade econômica: Metodologia Multi-Índice

De acordo com Souza e Clemente (2009), na análise de investimentos, a empresa é compreendida como uma organização orientada para a valorização do capital. Seu funcionamento está fundamentado na lógica da acumulação, ou seja, seu principal objetivo é a valorização patrimonial. Essa valorização ocorre quando as decisões tomadas por seus gestores resultam em saldos líquidos positivos. No entanto, tais decisões não ocorrem de forma isolada: elas geram impactos diretos nas relações que a empresa mantém com agentes externos como clientes, fornecedores e concorrentes. Assim, as escolhas relacionadas ao capital envolvem não apenas quantias expressivas de recursos, como também possuem caráter duradouro e, muitas vezes, irreversível ou de difícil reversão, implicando riscos relevantes ao negócio (SOUZA; CLEMENTE, 2009).

Diante da importância estratégica dessas decisões, é fundamental que elas sejam fundamentadas em previsões consistentes e em análises detalhadas de seus efeitos potenciais. Embora essas estimativas não garantam a eliminação completa dos riscos envolvidos, contribuem significativamente para melhorar a qualidade das informações disponíveis e, consequentemente, reduzem a incerteza no processo decisório (SOUZA; CLEMENTE, 2009).

Nesse contexto, os autores propõem a aplicação da metodologia multi-índice (MMI) como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão em projetos de investimento. A MMI combina indicadores que permitem avaliar tanto o retorno quanto o risco do investimento. Entre os principais índices de retorno destacam-se: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Presente Líquido Ajustado (VPLA), Índice de Benefício-Custo (IBC) e Retorno sobre o Investimento

Ajustado (ROIA). Já no que se refere à mensuração do risco, os indicadores recomendados incluem: Taxa Interna de Retorno (TIR), relação entre TMA (Taxa Mínima de Atratividade) e TIR e *Payback* (SOUZA; CLEMENTE, 2009). Para esse trabalho, o cálculo dos indicadores de viabilidade econômica foi realizado utilizando o *software* SAVEPI, resultado de um projeto de pesquisa e iniciação tecnológica da UTFPR. A fundamentação teórica do desenvolvimento dessa ferramenta foi baseada em Lima *et al.* (2017). A seguir, apresentam-se definições fundamentais, como investimento inicial, fluxo de caixa, horizonte de planejamento, taxa mínima de atratividade e os principais indicadores utilizados para avaliar os riscos e retornos do projeto.

3.4.1 Investimento inicial (FC_0) e fluxo de caixa (FC_t)

O investimento inicial corresponde ao montante financeiro necessário para viabilizar a implantação do projeto, englobando os custos previstos antes do início de sua operação.

Para o cálculo do investimento inicial do projeto, foram considerados três elementos principais: a receita obtida com a venda da frota atual a combustão, o custo de aquisição dos veículos elétricos e o custo de implantação da usina solar fotovoltaica. Assim, o valor total de investimento inicial pode ser expresso pela Equação 3.12.

$$\text{Investimento inicial} = (\text{Aquisição}_{VE} - \text{Venda}_{VC}) + \text{Custo Execução UFV} \quad (3.12)$$

onde, Aquisição_{VE} refere-se ao custo de aquisição dos veículos elétricos, em reais (R\$), Venda_{VC} corresponde ao valor obtido com a venda dos veículos a combustão, em reais (R\$), e o $\text{Custo Execução UFV}$ representa o valor total destinado à implantação do sistema de recarga baseado em uma usina solar fotovoltaica, também em reais (R\$).

De acordo com a NBR 14653-4 (ABNT, 2002, p. 4), o fluxo de caixa pode ser entendido como o registro das receitas, custos e despesas de um empreendimento ao longo de um intervalo definido de tempo. Em outras palavras, trata-se da relação entre entradas (recebimentos) e saídas (pagamentos) de recursos financeiros, que podem ser avaliadas em períodos como meses ou anos.

Para a definição do fluxo de caixa anual, também foram analisados três fatores determinantes: a economia gerada pela redução do consumo de combustível, a economia proveniente da geração da usina solar fotovoltaica e o custo anual de manutenção do sistema fotovoltaico. Dessa forma, o fluxo de caixa pode ser representado pela Equação 3.13.

$$FC = (Econ_{comb/ano} + Econ_{UFV/ano} + Econ_{manut/ano}) - Manut_{UFV/ano} \quad (3.13)$$

onde, $Econ_{comb/ano}$ é o valor anual economizado pela empresa em decorrência da substituição do consumo de combustíveis fósseis, expresso em reais (R\$), a $Econ_{UFV/ano}$ representa a economia financeira gerada anualmente pela produção de energia elétrica proveniente da usina solar fotovoltaica, em reais (R\$), $Econ_{manut/ano}$ se refere à economia gerada de manutenção nos carros elétricos em reais (R\$) e $Manut_{UFV/ano}$ corresponde ao custo anual destinado à manutenção do sistema de recarga e da usina solar fotovoltaica, também em reais (R\$).

3.4.2 *N – Horizonte de Planejamento*

O horizonte de planejamento, também denominado horizonte de análise ou vida útil do projeto, corresponde ao intervalo de tempo definido, geralmente em anos, durante o qual o investimento será avaliado. Em termos práticos, trata-se do período em que se projetam os fluxos de caixa do empreendimento, servindo de base para a análise de viabilidade (ABNT, 2002, NBR 14653-4).

Para definir o horizonte de planejamento desse trabalho foi necessário entender a vida útil dos principais componentes que compõem o projeto, sendo eles: Estação de recarga, módulos fotovoltaicos e inversor. Conforme os dados do módulo escolhido, o fabricante garante 25 anos de garantia de desempenho. Já para o inversor, o fabricante não determina essa vida útil, no entanto, conforme citado por Campos e Basso (2020) estima-se uma durabilidade de até 12 anos.

O fabricante do carregador escolhido também não informa a vida útil do componente, porém, informa que a vida útil do plugue, com isso a vida útil do carregador é estimada conforme apresentado na Equação 3.14.

$$Vida\ util_{carregador} = \frac{Número\ de\ ciclos_{plugue}}{Qtde\ Recargas_{ano}} \quad (3.14)$$

onde, *Número de ciclos_{plugue}* refere-se à quantidade máxima de ciclos de conexão e desconexão suportada pelo plugue, conforme especificado pelo fabricante, e *Qtde Recargas_{ano}* corresponde ao número total de recargas realizadas pela frota da empresa em um ano.

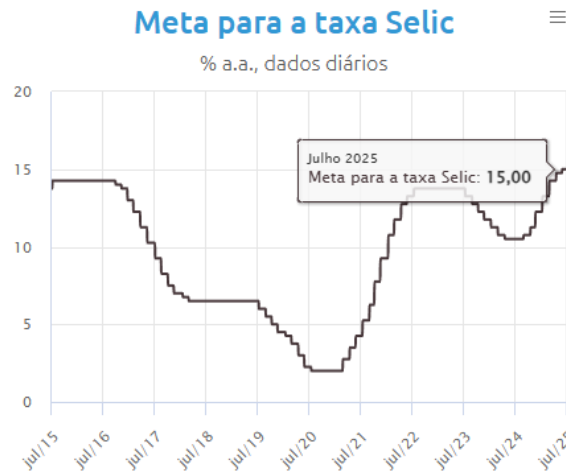
Para esse estudo, o horizonte de planejamento foi definido em 25 anos, sendo assim, necessário considerar no fluxo de caixa a troca dos componentes com vida útil inferior.

3.4.3 *TMA – Taxa Mínima de Atratividade*

Refere-se à menor taxa de retorno aceitável para que um investimento seja considerado viável, tendo como base uma aplicação de baixo risco. Em qualquer análise de viabilidade, a TMA serve como referência para comparação entre alternativas, sendo comum avaliar se compensa investir no projeto ou simplesmente aplicar os recursos à TMA (SOUZA; CLEMENTE, 2009).

Para esse estudo será utilizado uma média dos últimos 5 anos da Taxa Selic, resultando em 9,47% ao ano. A taxa Selic é a taxa básica de juros da economia, que influencia outras taxas de juros do país, como taxas de empréstimos, financiamentos e aplicações financeiras. A definição da taxa Selic é o principal instrumento de política monetária utilizado pelo Banco Central (BC) para controlar a inflação (BCB, 2025). A Figura 26 apresenta o histórico da taxa Selic no período de Jul/2015 a Jul/2025.

Figura 27 – Histórico taxa Selic



Fonte: Banco Central do Brasil (2025)

3.4.4 VPL – Valor Presente Líquido

Trata-se do resultado da conversão de todos os fluxos de caixa futuros esperados para o momento inicial do projeto, utilizando a TMA como taxa de desconto. O VPL permite mensurar se o investimento gerará retorno superior à taxa de atratividade mínima estabelecida (SOUZA; CLEMENTE, 2009). O cálculo do VPL é realizado conforme a Equação 3.15.

$$VPL = -CF_0 + \sum_j^N \frac{CF_j}{(1 + TMA)^j} \quad (3.15)$$

onde, VPL é o Valor Presente Líquido (R\$), CF_0 é a Caixa no período zero (R\$), CF é a Caixa do período (R\$), TMA é a Taxa Mínima de Atratividade (%), j é o período analisado (anos) e N é o horizonte de planejamento do projeto (anos).

3.4.5 VPLA – Valor Presente Líquido Anualizado

Embora utilize os mesmos princípios do VPL, o VPLA distribui o valor presente líquido de forma equivalente ao longo dos anos do projeto, facilitando a análise em horizontes temporais extensos. É especialmente útil quando se deseja comparar investimentos com durações distintas (SOUZA; CLEMENTE, 2009). O VPLA é definido pela Equação 3.16.

$$VPLa = VPL \times \frac{TMA \times (1 + TMA)^j}{(1 + TMA)^j - 1} \quad (3.16)$$

onde, VPLA é o Valor Presente Líquido Anualizado (R\$), VPL é o Valor Presente Líquido (R\$), TMA é a Taxa Mínima de Atratividade (%) e j é o período analisado (anos).

3.4.6 IBC – Índice Benefício-Custo

Esse indicador mostra a relação entre os benefícios gerados e o capital investido, permitindo entender quanto se obtém de retorno para cada unidade monetária aplicada. Parte-

se da premissa de que os valores recebidos durante o projeto seriam reinvestidos à mesma taxa da TMA (SOUZA; CLEMENTE, 2009). O IBC é definido pela Equação 3.17.

$$IBC = \frac{VP}{CF_0} \quad (3.17)$$

onde, VP é o Valor Presente (R\$) e CF₀ é a Caixa no período zero (R\$).

3.4.7 ROIA – Retorno sobre o Investimento Adicionado

Este índice representa uma estimativa da rentabilidade efetiva de um projeto, já descontado o impacto da TMA. Em outras palavras, mostra o ganho adicional gerado pelo investimento em relação à taxa mínima de atratividade (SOUZA; CLEMENTE, 2009). O cálculo do ROIA é realizado conforme a Equação 3.18.

$$ROIA = \sqrt[j]{IBC} - 1 \quad (3.18)$$

onde, ROIA é o Retorno adicional sobre o investimento (%), IBC é o Índice benefício custo (adimensional) e j é o período analisado (anos).

3.4.8 TIR – Taxa Interna de Retorno

A TIR é a taxa de desconto que iguala o Valor Presente Líquido (VPL) a zero. Ou seja, é o percentual que o projeto precisa render para se pagar exatamente, sem gerar lucro ou prejuízo, sendo um dos indicadores mais utilizados para avaliar a viabilidade financeira de investimentos (SOUZA; CLEMENTE, 2009). O TIR é definido pela Equação 3.19.

$$VPL = \sum_{j=0}^N \frac{CF_j}{(1 + TIR)^j} = 0 \quad (3.19)$$

onde, VPL é o Valor Presente Líquido (R\$), CF é o Caixa no período (R\$), j é o período analisado (anos), N é o horizonte de planejamento do projeto (anos) e TIR é a Taxa interna de retorno (%).

3.4.9 Índice TMA/TIR

O índice TMA/TIR representa a relação entre a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), sendo utilizado como um indicador do nível de risco financeiro associado a um investimento. De acordo com Souza e Clemente (2009), esse índice pode assumir valores contínuos, variando desde números próximos de zero, que indicam baixo risco, até valores muito elevados, que refletem maior incerteza e vulnerabilidade do projeto.

3.4.10 PRI – Período de Recuperação do Investimento (Payback)

O *Payback* representa o intervalo de tempo necessário para que o valor inicialmente investido em um projeto seja integralmente recuperado através dos fluxos de caixa gerados por ele. Portanto, indica quantos períodos são necessários para que o investimento se “pague” (SOUZA; CLEMENTE, 2009).

A análise dos resultados obtidos por meio dos indicadores de desempenho possibilita uma melhor compreensão da relação existente entre risco e retorno. Essa interpretação permite assumir que, em situações nas quais os riscos são mais elevados, espera-se que o retorno projetado também seja maior, compensando a exposição assumida (SOUZA; CLEMENTE, 2009).

3.4.11 LCOE - Custo nivelado de energia

Além dos indicadores da metodologia multi-índice citado por Souza e Clemente (2009), para esse estudo será utilizado o custo nivelado de energia para as comparações de custo por quilômetro. O custo nivelado de energia (do inglês, *Levelized cost of energy* - LCOE) é uma forma prática de comparar diferentes tecnologias de geração de energia, ajudando a entender qual delas oferece o melhor equilíbrio entre custo e benefício (Branker *et al.*, 2011). O LCOE calcula quanto custa, em média, gerar cada unidade de energia ao longo da vida útil do sistema, considerando todos os investimentos, gastos operacionais e manutenção desde o início da operação (Lima, 2024). O cálculo do LCOE é realizado conforme a Equação 3.20.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{(I_T + O_t + M_t)}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{E_t}{(1+i)^t}} \quad (3.20)$$

onde, I_T é o Custo do capital de instalação no ano (R\$), O_t é o Custo de operação do sistema no ano (R\$), M_t é o Custo de manutenção do sistema no ano (R\$), t é o ano de operação do sistema, i é a taxa de juros anual aplicada (%), E_t é a energia anual gerada pelo sistema (kWh) e T é o tempo de vida útil do sistema (anos).

3.5 Custo médio por quilômetro

Por fim, nesse estudo será realizado uma análise comparativa de custo médio por quilômetro para três cenários:

- Frota a combustão;
- Frota elétrica utilizando energia da concessionária;
- Frota elétrica utilizando energia da usina solar fotovoltaica.

Sendo que para o último cenário será necessário a utilização do LCOE (*Levelized Cost Of Energy*) a fim de fazer uma comparação justa, considerando todos os custos ao longo da vida útil da usina solar fotovoltaica.

3.6 Considerações parciais

Neste capítulo, foram apresentadas as etapas metodológicas adotadas para o desenvolvimento da análise de viabilidade. Detalhou-se a metodologia para o levantamento de dados da frota e de veículos elétricos equivalentes, o dimensionamento dos carregadores e da usina solar fotovoltaica, além dos critérios normativos aplicados às proteções, cabos e aterramento. Também foram expostos os procedimentos de cálculo do investimento inicial, fluxo de caixa, horizonte de planejamento e indicadores de viabilidade econômica, com destaque para a aplicação da metodologia multi-índice e do custo nivelado de energia (LCOE). Essa estrutura metodológica servirá de base para a obtenção e discussão dos resultados no capítulo seguinte.

4 RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados referentes ao dimensionamento do carregador e da usina solar fotovoltaica, aos indicadores de viabilidade econômica e ao comparativo de custo por quilômetro, além da análise das emissões de CO₂ da frota a combustão atual da empresa e da nova frota de veículos elétricos sugerida.

4.1 Levantamento dos dados da frota e consumo combustível da empresa

A frota atual da empresa fictícia, é detalhada na Tabela 4.

Tabela 04 – Dados da frota atual da empresa fictícia

Veículo atual	Combustível	Uso principal	Quantidade	Consumo médio (km/l)	Quilometragem média mensal por veículo (km)	Combustível/mês (L)
Fiat Strada 2022	Gasolina	Entregas urbanas	5	11,5	1.000	435
Citroën Jumpy Cargo	Diesel	Transporte de carga	3	11	1.800	491
VW Polo 2021	Gasolina	Uso corporativo	2	13	800	124

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O consumo mensal de combustível totaliza cerca de 559 litros de gasolina e de 491 de diesel para a frota. Segundo dados da Petrobrás (2025) o preço médio para a gasolina no mês de julho/2025 no estado de Minas Gerais é de R\$ 6,18. Valor abaixo da média do Brasil para o período (R\$ 6,23).

Dessa forma, o custo mensal de gasolina da empresa totaliza:

$$\text{Custo Gasolina Mensal} = \text{Quantidade de Gasolina} \times \text{Valor da Gasolina}$$

$$\text{Custo Gasolina Mensal} = 559 \times 6,18 = \text{R\$ } 3.454,62$$

Para o diesel o preço médio no mês de julho/2025 no estado de Minas Gerais é de R\$ 5,92. Valor abaixo do preço médio no Brasil para o período (R\$ 6,05 média no Brasil).

O custo mensal com diesel é dado por:

$$\text{Custo Diesel Mensal} = \text{Quantidade de diesel} \times \text{Valor do Diesel}$$

$$\text{Custo Diesel Mensal} = 491 \times 5,92 = \text{R\$ } 2.906,72$$

A Tabela 5 apresenta o custo com combustível por veículo da frota atual mensalmente.

Tabela 05 – Custo com combustível mensal por veículo da frota atual

Veículo atual	Combustível	Valor do combustível (R\$)	Combustível/mês (L)	Custo Mensal (R\$)
Fiat Strada 2022	Gasolina	R\$ 6,18	435,0	R\$ 2.688,30
Citroën Jumpy Cargo	Diesel	R\$ 5,92	491,0	R\$ 2.906,72
VW Polo 2021	Gasolina	R\$ 6,18	124	R\$ 766,32

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Para o cálculo da quantidade de dióxido de carbono (CO_2) emitida por litro de combustível consumido pelos veículos da frota, foi adotado o fator de emissão conforme citado por Carvalho (2011) em um texto para discussão para o IPEA (Instituto de pesquisa econômica aplicada). Com isso, foi considerado 2,8 kg de CO_2 /l de gasolina e 3,2 kg de CO_2 /l de diesel (CARVALHO, 2011). Ao multiplicar o fator de emissão pelo consumo de combustível, é obtido a quantidade de emissão mensal, conforme a Equação 4.1.

$$Emissão\ de\ CO_2 = Qtde\ de\ Combustivel \times Fator\ Emiss\til{a}o \quad (4.1)$$

A Tabela 6 apresenta a quantidade de CO_2 emitida pela frota mensalmente.

Tabela 06 – Emissão da frota atual da empresa fictícia

Veículo atual	Tipo de combustível	Taxa de emissão (kg de CO_2 /l)	Emissão de CO_2 (kg/mês)
Fiat Strada Endurance 1.4 2022	Gasolina	2,8	1218,0
Citroën Jumpy 1.5 Turbo Cargo	Diesel	3,2	1571,2
VW Polo MSI 1.6 Flex 2021	Gasolina	2,8	347,2

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com base na taxa final de emissão e no consumo médio mensal de combustível por veículo, foi possível estimar a quantidade de dióxido de carbono (CO_2) emitida pela frota a combustão da empresa, onde é verificado uma emissão de aproximadamente 3.136,4 kg de CO_2 por mês. Anualmente essa emissão chega a 37.636,8 kg de CO_2 .

4.2 Levantamento dos carros elétricos semelhantes ao da frota a combustão

Após a caracterização da frota atual da empresa e do levantamento de seus respectivos padrões de uso, realizou-se um estudo dos modelos de veículos 100% elétricos disponíveis no mercado brasileiro que se assemelhem às categorias e funcionalidades dos modelos a combustão utilizados atualmente. Para cada categoria, buscou-se selecionar o modelo elétrico mais adequado com base nos seguintes critérios de seleção:

- Custo de aquisição: priorizando veículos de menor valor dentro da sua categoria, com marcas consolidadas no Brasil e com boas reputações em pós-venda;

- Autonomia elétrica: optando por modelos com maior autonomia, para evitar recargas frequentes;
- Tipo de uso: levando em consideração a compatibilidade entre as características do veículo e a aplicação operacional da empresa, abrangendo categorias como utilitários leves, veículos de carga e corporativos.

Os modelos selecionados, com base nos critérios e nas informações de mercado, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 07 – Nova frota composta por veículos elétricos

Categoria	Modelo Elétrico	Preço Médio (R\$)	Autonomia (km)	Bateria (kWh)	Consumo (km/kWh)
Utilitário leve	JAC iEV330P	389.900	330	65,3	5,05
Veículo de carga	Renault Kangoo E-Tech	299.390	210	45	4,67
Veículo corporativo	Renault Kwid E-Tech	99.990	185	27	6,85

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.3 Dimensionamento do sistema de recarga e geração solar fotovoltaica

4.3.1 Dimensionamento dos carregadores

Para a escolha do carregador, foram analisados os limites de potência suportados pelos modelos de veículos que compõem a nova frota elétrica. Considerou-se que o carregamento em corrente alternada (ca) é geralmente mais lento quando comparado ao carregamento em corrente contínua (cc), o qual pode completar a carga do veículo em menos de uma hora (NEOCHARGE, 2023b). Diante disso, realizou-se o levantamento da potência máxima, apresentado na Tabela 8, com o objetivo de otimizar o tempo de carregamento e garantir o dimensionamento correto.

Tabela 08 – Potência máxima suportada pela nova frota

Modelo	Potência Máxima Suportada
JAC IEV330P	50kW (cc)
Renault Kangoo E-TECH	80kW (cc)
Renault Kwid E-TECH	30kW (cc)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Após a análise da ficha técnica dos veículos da frota, foi detectado que a potência máxima do sistema de carregamento é 30kW. A Tabela 9 representa algumas opções de carregadores disponíveis no mercado até essa potência máxima suportada:

Tabela 09 – Levantamento de carregadores no mercado

Modelo	Preço
NeoCharge - NDC30 – 30kW (cc)	R\$ 55.707,00
Intelbras – 30kW (cc)	R\$ 68.350,00
WEG WEMOB E-R-4G-R-H-1CS2 – 30kW (cc)	R\$ 68.977,00
WEG Wemob Parking 2x23kW (ca)	R\$ 16.273,00
WEG Wemob Parking 23kW (ca)	R\$ 6.999,00
Zbeny Wallbox 22kW (ca)	R\$ 4.654,05
Komerco 7kW (ca)	R\$ 4.599,00
Tramontina 7,4kW (ca)	R\$ 4.121,52
Gowatt wallbox 7kW (ca)	R\$ 4.635,31

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Por mais que os modelos de corrente alternada tem carregamento mais lento, o modelo selecionado foi o WEG Wemob Parking 2x 23kW devido ao seu custo-benefício, cerca de 353,76 R\$/kW, além de propiciar o carregamento simultâneo de 2 veículos. A Figura 28 apresenta o carregador WEG WEMOB, escolhido para atender o projeto.

Figura 28 - Carregador WEG Wemob 2 x 23kW



Fonte: WEG (2025)

A Tabela 10 apresenta as principais especificações técnicas do carregador escolhido.

Tabela 10 – Especificações técnicas WEG Wemob 2 x 23kW

Tensão de alimentação	100 - 240 Vca F+N+T / F+F+T 198 - 415 Vca 3F+N+T
Frequência	50/60 Hz
Potência máxima de saída	2 x 23kW
Corrente de saída	6 até 32 A por fase
Tipo de conector	Tipo 2
Vida mecânica do plugue de recarga	10.000
Dimensão	536 x 355 x 156 mm

Fonte: Adaptado de WEG (2025)

O tempo de carregamento da bateria (T_c) pode ser obtido conforme a Equação 4.2 (SALES, 2024).

$$T_c = \frac{C_a}{P_c} \quad (4.2)$$

onde, C_a é a capacidade de armazenamento da bateria (kWh) e P_c é a potência do carregador escolhido (kW).

A Tabela 11 apresenta o tempo médio de carregamento da frota elétrica por modelo. Com isso, a frota terá um tempo médio de carregamento de 1,99 horas de carregamento:

Tabela 11 - Tempo médio de carregamento

Modelo	Capacidade de Armazenamento da Bateria (kWh)	Potência do Carregador (kW)	Tempo de carregamento (h)
JAC IEV330P	65,3	23	2,84
Renault Kangoo E-TECH	45	23	1,96
Renault Kwid E-TECH	26,8	23	1,17

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com base nas características operacionais da frota simulada, buscou-se determinar o número de carregadores de 23 kW necessários para suprir adequadamente a demanda energética mensal dos veículos elétricos. Para cada modelo de veículo elétrico da frota, foi estimado o consumo energético mensal, utilizando a fórmula a seguir:

$$Consumo = N \times \left(\frac{QM}{Aut} \right) \times Cap$$

onde, N é o número de veículos, QM é a quilometragem mensal do veículo, Aut é a autonomia do veículo em quilômetros e Cap é a capacidade da bateria do veículo em kWh.

A partir dessa formulação, foi realizado o cálculo do consumo energético mensal de cada modelo que compõe a nova frota elétrica, conforme demonstrado a seguir:

- JAC iEV330P:

$$Consumo = 5 \times \left(\frac{1000}{330} \right) \times 67 = 1.015,15 \text{ kWh/mês}$$

- Kangoo E-Tech:

$$Consumo = 3 \times \left(\frac{1800}{210} \right) \times 45 = 1.157,14 \text{ kWh/mês}$$

- Kwid E-Tech:

$$Consumo = 2 \times \left(\frac{800}{185} \right) \times 26,8 = 231,71 \text{ kWh/mês}$$

Portanto, o consumo total estimado da frota é 2.404 kWh/mês.

Considerando que a empresa opera, 10 horas por dia, durante 22 dias úteis por mês, realizou-se o cálculo da capacidade máxima mensal de utilização do carregador. Essa etapa permite avaliar a quantidade de energia que um único equipamento é capaz de fornecer dentro do período de operação previsto, sendo um parâmetro essencial para o dimensionamento do número de carregadores:

$$\text{Capacidade Máxima} = P_c \times D \times H$$

onde, P_c é a potência do carregador em kW, D é o número de dias trabalhados no mês e H é a quantidade de horas de utilização no dia.

Substituindo-se os valores:

$$\text{Capacidade Máxima} = 23 \text{ kW} \times \frac{10h}{\text{dia}} \times 22 \text{ dias} = \frac{5.060 \text{ kWh}}{\text{mês}} \frac{\text{mês}}{\text{carregador}}$$

A partir desse resultado, o número mínimo de carregadores necessários para atender à demanda mensal da frota é determinado pela razão entre o consumo total estimado e a capacidade mensal de cada equipamento, conforme apresentado a seguir:

$$\text{Número de carregadores} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Capacidade Máxima}}$$

Substituindo os valores obtidos na equação, tem-se:

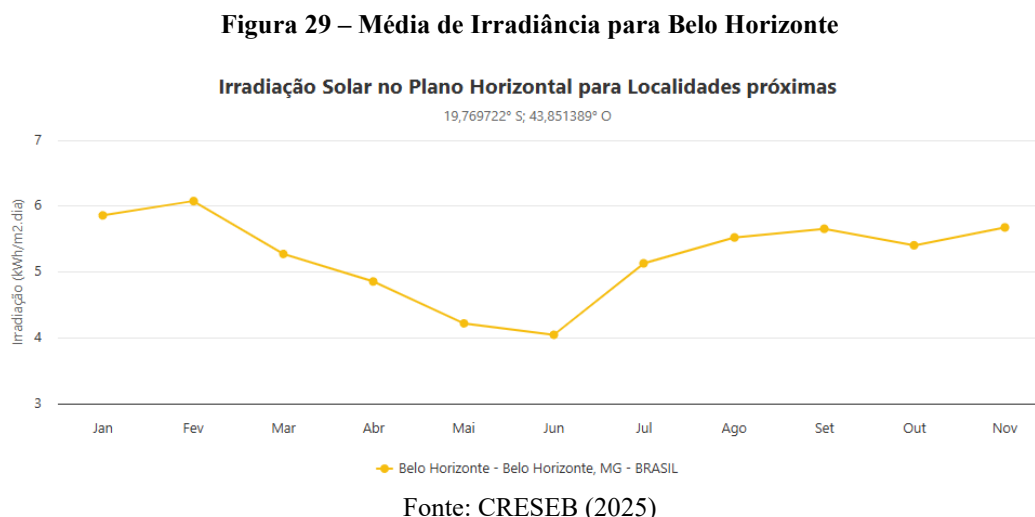
$$\text{Número de carregadores} = \frac{2.404 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}}}{\frac{5.060 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}}}{\text{carregador}}} \approx 0,47 \text{ carregadores}$$

O resultado de 0,47 demonstra que um único ponto de carga de 23 kW é tecnicamente suficiente para atender à frota nas condições adotadas. Entretanto, ao considerar aspectos operacionais, como a necessidade de recargas simultâneas, a disponibilidade contínua dos veículos para uso e eventuais períodos de indisponibilidade ou manutenção, torna-se recomendável adotar uma margem operacional mínima que assegure maior flexibilidade no atendimento da frota.

Dessa forma, optou-se pela utilização de um carregador da marca WEG, modelo Wemob, o qual dispõe de dois pontos de recarga independentes (2 x 23kW), possibilitando o abastecimento simultâneo de dois veículos elétricos.

4.3.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos da UFV

A empresa fictícia está localizada no bairro Santa Lúcia, na região centro sul de Belo Horizonte/MG. Os dados de irradiância foram obtidos pelo SunData da CRESEB. A Figura 29 apresenta o perfil da irradiância média.



Na análise do perfil, verifica-se um pico em fevereiro (6,08 kWh/m².dia) e uma baixa de irradiância em junho (4,04 kWh/m².dia), com uma média anual de 5,17kWh/m².dia.

A eficiência do sistema fotovoltaico está diretamente relacionada às características dos módulos utilizados. Neste projeto, optou-se por utilizar módulos fotovoltaicos do fabricante Canadian Solar, cujas especificações técnicas constam no Anexo A2. Abaixo é apresentado as principais características do módulo:

- Fabricante: CanadianSolar;
- Potência de pico nominal: 550 Wp;
- Área do módulo: 2,56 m²;
- Eficiência: 21,5 %;
- Corrente de curto-circuito (Isc): 14 A;
- Tensão em circuito aberto (Voc): 49,6 V.

A escolha desse modelo se deu pela combinação entre alto rendimento, boa relação custo-benefício e confiabilidade de mercado.

A quantidade de módulos fotovoltaicos (N) necessária para suprir a demanda energética dependerá da média diária de energia gerada por cada unidade. Esse valor está diretamente relacionado à irradiância solar do local, à área física e eficiência do módulo, além das perdas típicas do sistema, adotado para esse estudo em 80%. A expressão matemática que representa essa relação é apresentada a seguir (CEPEL; CRESEB, 2014):

$$W_{\text{módulo}} = \text{Irradiação}_{\text{média}} \times \text{Área}_{\text{módulo}} \times \epsilon \times \varphi$$

onde, $W_{módulo}$ é a energia média gerada por cada módulo (kWh/dia), $Irradiação_{média}$ representa a irradiância média solar incidente no local (kWh/m².dia), $Área_{módulo}$ corresponde a área de captação do módulo (m²) e η é a eficiência do módulo (%) e ϕ é a eficiência do sistema (%).

Com base nos dados do módulo escolhido (Canadian solar CS6W-550) e do local de instalação, obtém-se:

$$W_{módulo} = 5,17 \times 2,56 \times 0,215 \times 0,80 = 2,276 \frac{kWh}{dia}$$

Com base no levantamento apresentado na Seção 4.3.1, verifica-se que o consumo mensal estimado da frota é de 2.404 kWh/mês. Considerando que a empresa opera de segunda a sexta-feira, adotou-se um total de 22 dias úteis por mês.

Logo, o consumo diário médio da frota é:

$$C = \frac{2.404 \frac{kWh}{mês}}{22 \frac{dias}{mês}} = 109,27 kWh/dia$$

Com isso, o número de módulos necessário para suprir o perfil de consumo diário de 109,27 kWh/dia é calculado por:

$$N = \frac{C}{W_{módulo}}$$

Substituindo os valores obtidos na equação, tem-se:

$$N = \frac{109,27}{2,276} \approx 49$$

Portanto, são necessários 49 módulos fotovoltaicos para atender à demanda energética diária estimada do sistema de carregamento dos veículos.

4.3.3 Dimensionamento do inversor da UFV

Para o correto dimensionamento do inversor, é necessário considerar a potência total do sistema fotovoltaico, bem como a corrente de curto-circuito (I_{sc}) e a tensão de circuito aberto (V_{oc}) dos módulos utilizados. Idealmente, as seguintes relações devem ser satisfeitas (NBR 16690, 2020):

$$P_{inv} > P_{arranjo}$$

$$I_{inv} > 1,1 \times I_{sc}$$

$$V_{inv} > N \times 1,2 \times V_{oc}$$

1) Potência

A potência do arranjo é obtida multiplicando-se o número de módulos pelo valor da potência nominal de cada um:

$$P_{\text{arranjo}} = N \times P_{\text{arranjo}} = 49 \times 550 = 26,95 \text{ kW}$$

Dessa forma, a potência instalada do sistema é de 26,95 kW, sendo necessário que o inversor selecionado possua capacidade superior a esse valor, atendendo à condição:

$$P_{\text{inv}} > 26,95 \text{ kW}$$

2) Corrente e Tensão

Assumindo uma configuração com dois *strings* compostos por 16 módulos cada e uma terceira *string* com 17 módulos, conectados em três entradas independentes de corrente contínua (cc) no inversor, verificam-se as condições elétricas necessárias para o correto dimensionamento:

Primeiramente, avalia-se o critério de corrente, garantindo que o inversor suporte uma margem de 10% acima da corrente de curto-circuito dos módulos:

$$I_{\text{inv}} > 1,1 \times I_{\text{SC}} > 15,4 \text{ A}$$

Em seguida, verifica-se o critério de tensão, considerando a quantidade máxima de módulos por *string* e o fator de segurança de 20% para variações de temperatura e irradiância:

$$V_{\text{inv}} > 17 \times 1,2 \times V_{\text{oc}} > 1011,84 \text{ V}$$

O inversor selecionado que atende aos critérios estabelecidos anteriormente foi o modelo MAC 50KTL3-X LV, fabricado pela empresa Growatt, conforme especificações disponíveis no Anexo A3 deste trabalho. Este equipamento foi escolhido por apresentar compatibilidade com a potência total do arranjo fotovoltaico, bem como com os parâmetros de corrente e tensão de entrada exigidos pelo sistema.

As principais características técnicas do modelo estão listadas a seguir:

- Fabricante: Growatt;
- Modelo: MAC 50KTL3-X LV;
- Potência máxima de saída: 50 kW;
- Tensão de saída: 220/380 V (fase + fase);
- Tensão máxima de entrada em corrente contínua (cc): 1100 V;

- Corrente máxima de entrada (cc): 2 x 37,5 A e 1 x 50 A (Totalizando 3 entradas MPPT);
- Eficiência: 98,8%.

4.3.4 Dimensionamento da proteção cc e ca da UFV

O processo de dimensionamento dos dispositivos de proteção do sistema fotovoltaico deve ser dividido em duas partes: uma relacionada ao circuito em corrente contínua e a outra à parte em corrente alternada. A proteção no lado cc é aplicada desde os módulos fotovoltaicos até a entrada do inversor, enquanto a proteção em ca abrange o trecho entre a saída do inversor e o ponto de conexão com a rede ou as cargas locais.

4.3.4.1 Proteção em Corrente Contínua (cc)

Na parte em corrente contínua, são utilizados diversos dispositivos de proteção, como chave seccionadora, disjuntores, fusíveis e dispositivos de proteção contra surtos (DPS). Esses equipamentos geralmente são instalados em caixas específicas conhecidas como *string box*.

O dimensionamento da chave seccionadora deve considerar a maior tensão e corrente elétrica que a *string* pode apresentar. Como o arranjo é composto por 49 módulos distribuídos em três entradas independentes, sendo a maior *string* formada por 17 módulos, é possível determinar os valores máximos esperados a partir das equações a seguir.

Primeiramente, calcula-se a tensão máxima do inversor:

$$V_{m\acute{a}x} = V_{inv} = Qtde\ Módulos \times 1,2 \times V_{oc}$$

Substituindo os valores:

$$V_{m\acute{a}x} = V_{inv} = 17 \times 1,2 \times 49,6 = 1011,84\ V$$

Em seguida, a corrente máxima do sistema é dada por:

$$I_{m\acute{a}x} = I_{inv} = 15,4\ A$$

Com base nesses resultados, uma chave seccionadora com especificações 1200 V / 32 A é suficiente para garantir a proteção adequada neste trecho do circuito.

Os fusíveis, serão aplicados nos polos positivo e negativo de cada *string* e têm a função de atuar em situações de curto-circuito, sobrecarga e proteger da corrente reversa em arranjos com *strings* em paralelo. Os modelos indicados para esse tipo de aplicação são os do tipo gPV, próprios para sistemas fotovoltaicos. Um modelo comercial com 20 A / 1000 V se enquadra nas exigências do projeto, sendo compatível com a corrente de operação da *string* e inferior à capacidade dos condutores.

Quanto aos DPS's, sua seleção baseia-se na tensão de circuito aberto da *string*. Conforme calculado acima considerando 17 módulos conectados em série por *string*, a tensão de circuito aberto será 843,2 V. Existem no mercado dispositivos DPS para corrente contínua que suportam 1040 V e correntes de surto de 40 kA, sendo essa última a capacidade do equipamento de suportar picos sem danos.

4.3.4.2 Proteção em Corrente Alternada (ca)

No lado de corrente alternada do sistema, são utilizados dispositivos como disjuntores e DPS. O dimensionamento do DPS considera a tensão entre fase e terra. Para instalações com tensão de 220 V, recomenda-se o uso de um modelo com especificação de 275 V / 455 kA, o qual garante proteção adequada contra surtos de tensão (NBR 5410, 2004; NBR 16690, 2020).

Já para o disjuntor, o dimensionamento deve seguir a seguinte relação (NBR 5410, 2004):

$$I_{projeto} < I_{disjuntor} < I_{cabo}$$

Esse critério assegura que o disjuntor não seja acionado durante o funcionamento normal do sistema, mas que ainda ofereça proteção eficaz ao impedir que a corrente ultrapasse a capacidade do cabo em caso de falha.

De acordo com o dimensionamento que será apresentado na Seção 4.3.5.2, a corrente do projeto em corrente alternada é de 227,27 A. Um condutor de 70 mm² pode atender essa corrente, visto que suporta até 253 A (Para o tipo de linha B1). Para essa situação foi escolhido um disjuntor de 250A para atender ao projeto.

4.3.5 Dimensionamento dos cabos cc e ca da UFV

4.3.5.1 Cabos cc

O cálculo da bitola dos cabos em corrente contínua depende de variáveis como o tipo de instalação, a temperatura ambiente e a corrente elétrica que será conduzida. A seleção da seção transversal dos condutores deve seguir os critérios estabelecidos pela norma NBR 16612, que trata especificamente das instalações elétricas em sistemas fotovoltaicos.

Segundo esta norma, quando o circuito em corrente contínua for protegido por dispositivos como fusíveis, a corrente nominal desses dispositivos deve ser adotada como referência para o dimensionamento dos cabos. Isso significa que essa será a corrente de projeto, ou seja, o valor que os condutores precisam suportar de forma contínua e segura. Assim, considerando a corrente nominal do fusível utilizado (conforme apresentado na Seção 4.3.4.1):

$$I_{projeto} = I_{fusivel} = 20 \text{ A}$$

A capacidade de condução do cabo varia conforme sua forma de instalação. Neste caso, foi considerado o seguinte cenário:

- Cabos unipolares, dispostos horizontalmente, em contato entre si,
- Instalados ao ar livre, porém protegidos da radiação solar direta,
- Temperatura ambiente de 30 °C,
- Corrente de projeto de 20 A.

De acordo com a Tabela C1 (Anexo A.4) extraída da NBR 16612, para essas condições específicas, a seção mínima recomendada para os cabos do circuito em corrente contínua é de $1,5\text{mm}^2$.

4.3.5.2 Cabos ca

Após a conversão da energia de corrente contínua (cc) em corrente alternada (ca) pelo inversor, o trecho de ligação entre sua saída e o medidor de energia deve ser executado com condutores adequados para ca. Conforme a NBR 5410, o cálculo da bitola desses cabos deve considerar três critérios principais:

- Seção transversal mínima permitida;
- Capacidade de condução de corrente elétrica conforme o modo de instalação;
- Queda de tensão admissível ao longo do circuito.

De acordo com os requisitos da NBR 5410, a seção mínima para condutores, exceto os circuitos de iluminação, é de $2,5\text{ mm}^2$. Esse é o primeiro critério a ser verificado.

O segundo critério diz respeito à corrente máxima que os condutores precisam suportar, levando em conta a forma de instalação, temperatura do ambiente e características físicas do cabo. Por fim, o terceiro critério está relacionado à queda de tensão admissível ao longo do circuito. A norma recomenda que a queda de tensão não ultrapasse 4% entre o ponto de entrega e qualquer ponto de utilização, para esse projeto foi adotado um limite mais conservador de 2%.

No caso deste projeto, foram adotadas as seguintes premissas:

- Potência na saída do inversor: 50 kW;
- Tensão eficaz (RMS) da linha: 220 V;
- Distância entre inversor e medidor: 20 m;
- Temperatura ambiente: $30\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Número de condutores carregados: 2;
- Quantidade de circuitos no mesmo eletroduto: 1;
- Fator de correção por temperatura: 1;
- Fator de correção por agrupamento: 1.

Os condutores estão previstos para instalação em eletroduto aparente, o que corresponde à condição B1, conforme classificação da NBR 5410.

A corrente RMS nominal, para o circuito bifásico, é determinada por:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{50.000}{220} = 227,27 \text{ A}$$

Essa corrente deve ser ajustada com os fatores de correção determinados pela norma, que consideram a temperatura ambiente (FT) e o agrupamento de condutores no eletroduto (FA). No cenário deste projeto, ambos os fatores são iguais a 1:

$$I_{projeto} = I \times FT \times FA = 227,27 \times 1 \times 1 = 227,27 \text{ A}$$

De acordo com a Tabela 37 (Anexo A.4), extraída da NBR 5410, para essa corrente de projeto a seção mínima exigida pelo critério de capacidade de condução de corrente é de 70 mm².

No entanto, também é necessário verificar o critério de queda de tensão, que limita a perda de tensão elétrica ao longo do cabo, para o estudo foi adotado 2%. Para isso, considera-se a impedância máxima admissível, determinada pela fórmula:

$$Impedância_{mínima} = \frac{\frac{V \times 2\%}{I_{projeto}}}{d} = \frac{\frac{220 \times 0,02}{227,27}}{20/1000} = 0,968 \frac{V}{A \cdot Km}$$

onde d é a distância ao medidor em quilômetros, V é a tensão nominal em Volts e $I_{projeto}$ é a corrente do projeto.

Consultando a Tabela P13 (Anexo A.4), verifica-se que, para um cabo do tipo cobre Flexicom 450/750V (condutor com isolamento em PVC), a seção mínima compatível com essa impedância seria de 16 mm², do ponto de vista da queda de tensão.

Porém, para o dimensionamento final, deve-se adotar a maior seção obtida entre os três critérios considerados:

- Seção mínima normativa;
- Capacidade de corrente;
- Queda de tensão.

Respeitando essas condições, observa-se a necessidade de um cabo de 70 mm².

4.3.6 Dimensionamento do aterramento da UFV

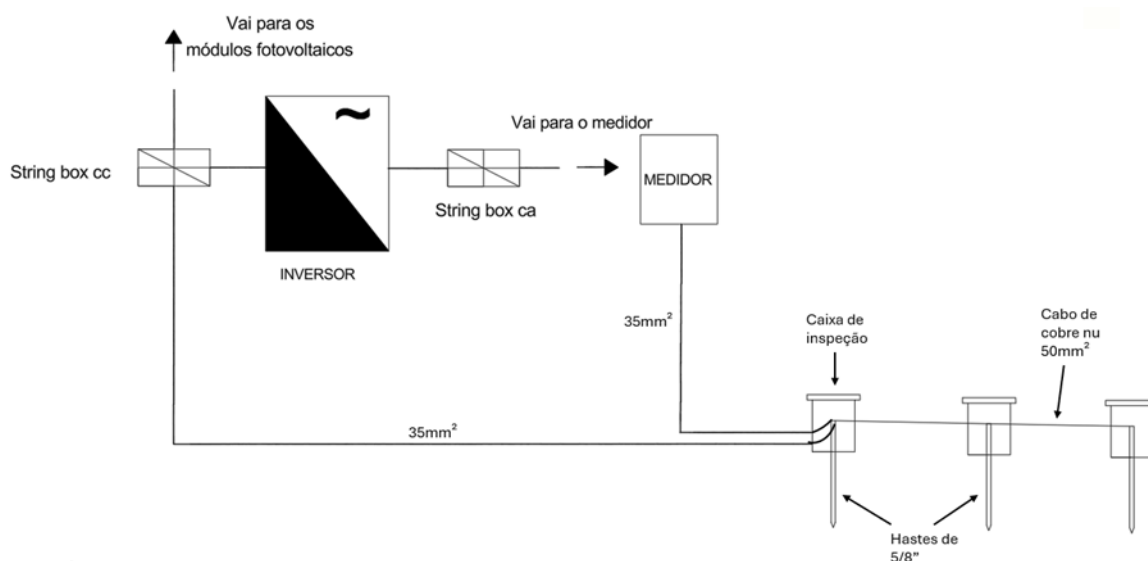
O sistema de aterramento adotado para a usina será do tipo TT, no qual as massas metálicas dos equipamentos são diretamente conectadas ao sistema de aterramento por meio de hastes. Para isso, será utilizado condutor de cobre isolado com seção de 35 mm² para conectar as carcaças dos equipamentos às hastes.

Da mesma forma, os dispositivos de proteção também serão aterrados individualmente por meio de condutores independentes de 35 mm², garantindo a segurança e a atuação eficiente dos dispositivos em caso de surtos ou falhas.

O arranjo será composto por três hastes de aterramento de 5/8" com 2,4 m de comprimento cada, dispostas no solo com espaçamento de 3 metros entre si, de forma a minimizar a sobreposição dos campos elétricos (interferência mútua) garantindo maior eficiência na dissipação da corrente para o solo. As hastes serão interligadas entre si com cabo de cobre nu com seção de 50 mm², de modo a garantir uma baixa resistência de aterramento.

Além disso, o aterramento da usina será conectado à barra de equipotencialização da instalação da unidade consumidora, através de um cabo de cobre de 35 mm², em conformidade com as exigências da norma NBR 16690 e as recomendações técnicas da concessionária local. O esquema de aterramento do sistema é apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Esquema de aterramento do sistema

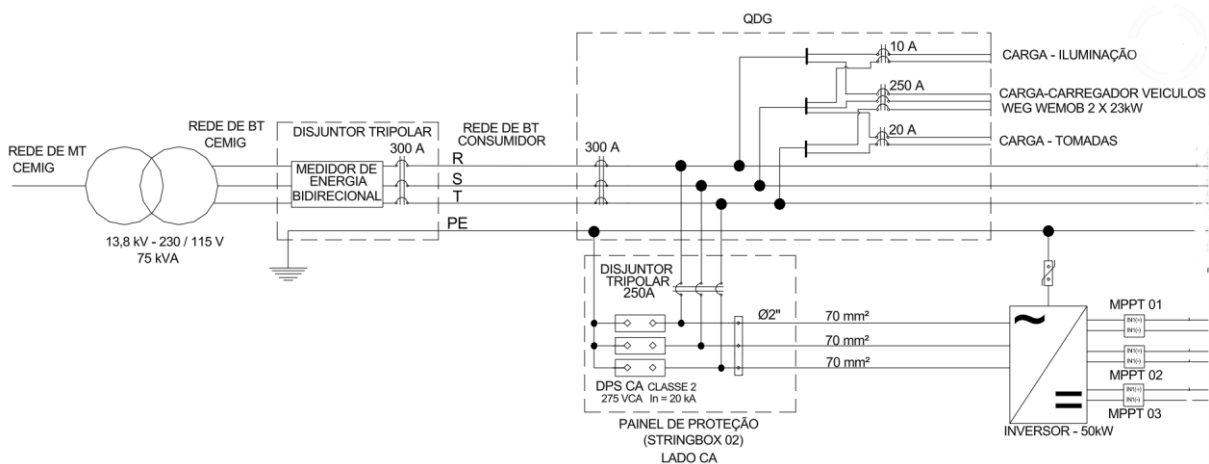


Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.3.7 Projeto final da estação de carregamento utilizando usina solar fotovoltaica

Nesta seção, é apresentado o projeto elétrico desenvolvido para o sistema de carregamento dos veículos elétricos alimentado por uma usina solar fotovoltaica. O objetivo é demonstrar a integração entre os componentes de corrente contínua (cc) e corrente alternada (ca), evidenciando o fluxo energético desde a geração até o ponto de recarga dos veículos. Para facilitar a visualização do sistema, a representação do projeto foi dividida em três etapas principais. A primeira ilustra o lado de corrente alternada (ca), abrangendo os circuitos de saída do inversor, quadro de distribuição e dispositivos de proteção.

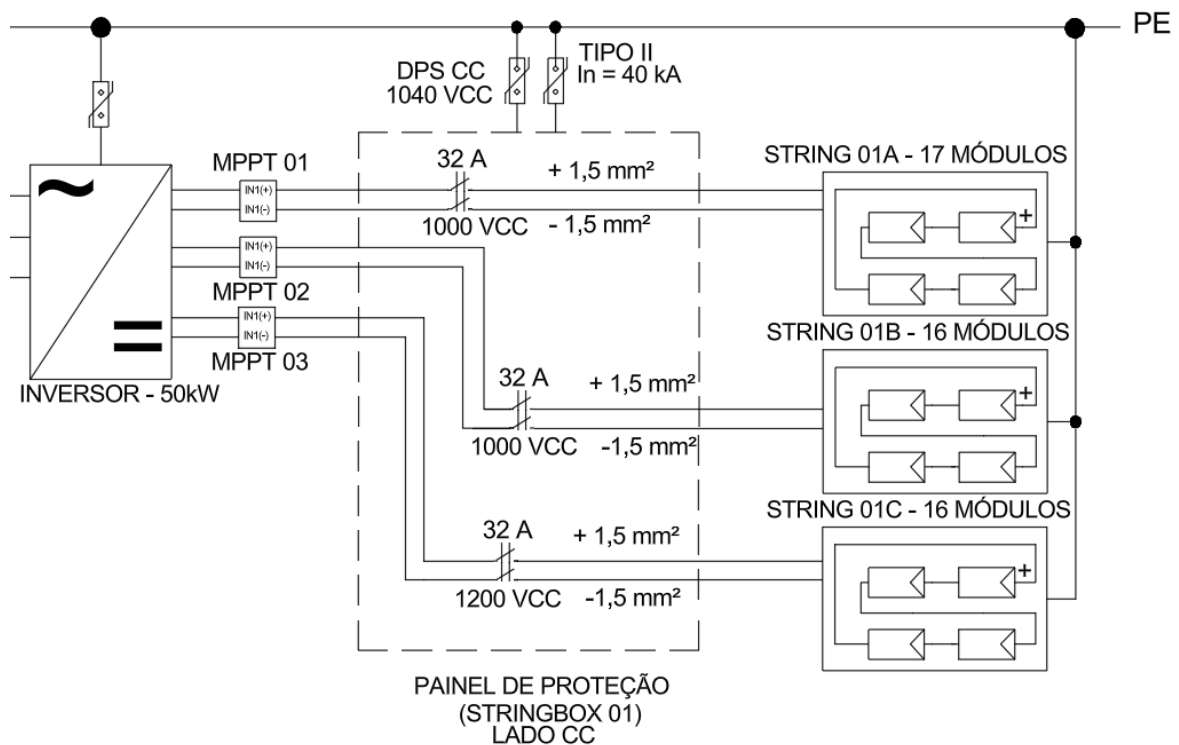
Figura 31 – Diagrama do lado ca



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A segunda apresenta o lado de corrente contínua (cc), destacando a configuração dos módulos fotovoltaicos, *string box* e conexões até o inversor.

Figura 32 – Diagrama do lado cc



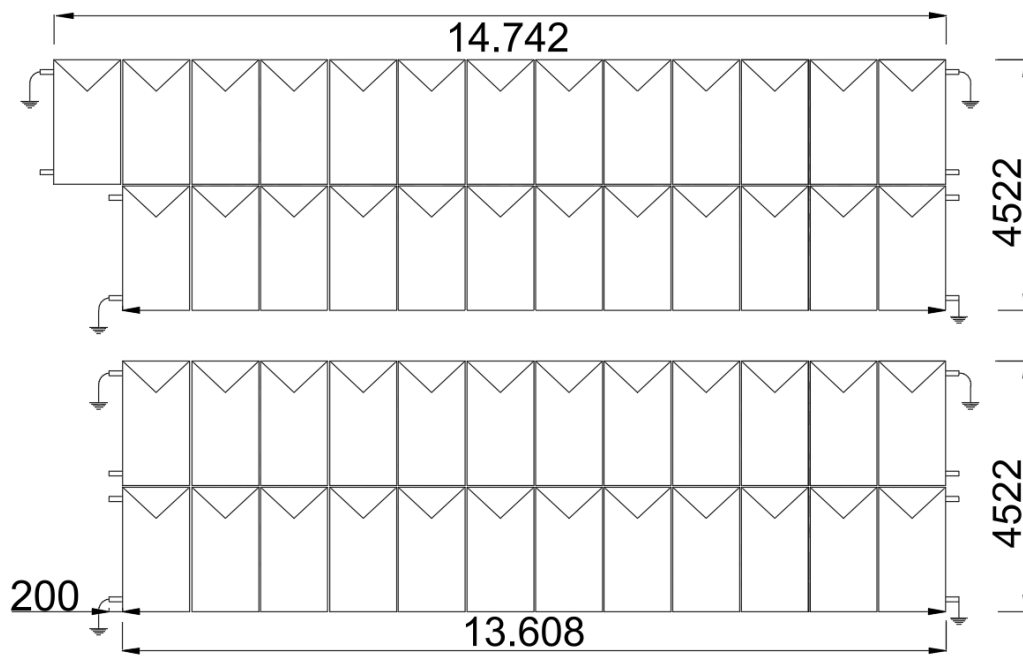
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A visão geral do sistema completo, que integra as duas partes anteriores e permite visualizar a interligação entre geração, conversão e consumo está disponível no Anexo A8.

Por fim, é apresentada uma vista superior da disposição dos módulos fotovoltaicos sobre os perfis metálicos de sustentação, permitindo observar a sugestão de arranjo físico da usina e a distribuição dos painéis em relação à área disponível. Essa abordagem visual visa

complementar a análise técnica e oferecer uma visão sistêmica do projeto, assegurando a coerência entre o dimensionamento e a implantação física. Para esse estudo é necessário aproximadamente 126m² para a implantação dos 49 módulos.

Figura 33 – Disposição dos 49 módulos



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.4 Estudo de viabilidade econômica

4.4.1 Cálculo de investimento inicial

Para o cálculo do investimento inicial do projeto foi considerado 3 fatores: A venda da frota atual a combustão, o custo de aquisição dos veículos elétricos e o custo de implantação da estação de recarga com a usina solar fotovoltaica.

Foi utilizado como base para a venda dos veículos a tabela FIPE (Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas) dos respectivos modelos mostrado a seguir (MOBIAUTO, 2025):

Tabela 12 – Valor de venda da frota a Combustão

Modelo Veículo	Quantidade	Valor Tabela Fipe (Set/2025)	Custo de venda total
Fiat Strada Endurance 2022	5	R\$ 71.593,00	R\$ 357.965,00
Citroën Jumpy Cargo 2022	3	R\$ 129.489,00	R\$ 388.467,00
VW Polo MSI 2021	2	R\$ 69.613,00	R\$ 139.226,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com isso, observa-se um valor de venda da frota à combustão de R\$ 885.658,00.

Para a aquisição dos veículos elétricos da nova frota, foi considerado os valores informados pelo fabricante (Set/2025):

Tabela 13 – Custo Aquisição VE's

Modelo Veículo	Quantidade	Valor Informado Pelo Fabricante	Custo de Compra total
JAC iEV-330P	5	R\$ 389.900,00	R\$ 1.949.500,00
Renault Kangoo E-Tech	3	R\$ 299.390,00	R\$ 898.170,00
Renault Kwid E-Tech	2	R\$ 99.990,00	R\$ 199.980,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Identifica-se, portanto, um custo de aquisição dos VE's de R\$ 3.047.650,00.

O custo de implantação de uma usina solar fotovoltaica é um componente crucial do investimento inicial. Segundo a nota técnica elaborada pela EPE e MME (2012, p22-24) para a usina solar fotovoltaica seu principal custo está relacionado aos módulos (60%) e inversores (10%), o restante é atribuído ao *Balance of System* (BoS) que refere-se ao conjunto de elementos complementares que compõem a instalação fotovoltaica, incluindo as estruturas mecânicas de suporte, dispositivos elétricos auxiliares, cabeamentos, conexões e os serviços de engenharia voltados à integração e adequação dos componentes, além dos custos relacionados à montagem e instalação do sistema.

Para esse estudo, foi realizado o levantamento do preço de aquisição dos módulos e do inversor. E para calcular o custo de instalação, utilizou-se a metodologia de custo percentual sugerida pela EPE e MME, com isso, o custo de instalação e infraestrutura da usina solar fotovoltaica corresponde a 30% (BoS) do valor de aquisição dos módulos e inversor. A Tabela 14 apresenta o valor para execução da usina solar fotovoltaica e estação de carregamento:

Tabela 14 – Custo implantação usina solar fotovoltaica

Item	Quantidade	Preço Unitário	Valor Total
Módulo CanadianSolar CS6W-550	49	R\$ 1.270,00	R\$ 62.230,00
Inversor Growatt MAC 50KTL3-X LV	1	R\$ 15.831,00	R\$ 15.831,00
Carregador WEG WEMOB (2 x 23kW)	1	R\$ 16.401,31	R\$ 16.401,31
Instalação e infraestrutura UFV	1	R\$ 23.418,30	R\$ 23.418,30
Instalação carregador	1	R\$ 2.423,19	R\$ 2.423,19

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Totalizando um custo de implantação da usina solar fotovoltaica de R\$ 120.303,80.

Com isso, tem-se um custo de investimento inicial de:

$$Custo\ Inv_{inicial} = (Custo_{aquisição\ VE} - Custo_{venda\ VC}) + Custo\ Usina\ FV$$

Substituindo os valores calculados anteriormente:

$$Custo\ Inv_{inicial} = (R\$ 3.037.650,00 - R\$ 885.658,00) + R\$ 120.303,80$$

$$Custo\ Inv_{inicial} = R\$ 2.272.295,80$$

4.4.2 Cálculo do Fluxo de Caixa

Para a definição do fluxo de caixa anual, foram analisados três fatores determinantes: a economia gerada pela redução do consumo de combustível, a economia proveniente da geração da usina solar fotovoltaica e o custo anual de manutenção do sistema fotovoltaico, dado por:

$$\text{Fluxo de Caixa}_{ano} = (Econ_{combustivel} + Econ_{UFV/ano} + Econ_{manut/ano}) - Manut_{UFV/ano}$$

A economia anual pela redução do consumo de combustível é calculada pela equação:

$$Econ_{combustivel} = (Econ_{gasolina/mês} \times 12) + (Econ_{diesel/mês} \times 12)$$

onde, $Econ_{gasolina/mês}$ refere-se a economia de abastecimento de gasolina mensal em reais (R\$), e $Econ_{diesel/mês}$ apresenta a economia de abastecimento de diesel em reais (R\$).

Substituindo os valores discutidos na seção 4.1, obtém-se:

$$Econ_{combustivel} = (R\$ 3.454,62 \times 12) + (R\$ 2.906,72 \times 12) = R\$ 76.336,08$$

Além disso, para avaliar o potencial de compensação energética da usina fotovoltaica proposta, foi considerada a economia obtida em relação ao custo de energia elétrica que seria pago à concessionária, caso o carregamento dos veículos fosse realizado exclusivamente pela rede. Dessa forma, estimou-se a produção média mensal da usina necessária para suprir o consumo da frota elétrica, utilizando como referência as premissas apresentadas a seguir:

- Consumo mensal conforme estimado na seção 4.3.1: 2.404 kWh;
- Consumo mínimo trifásico (CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais): 100kWh;

A produção média mensal da usina fotovoltaica pode ser determinada pela equação:

$$\text{Produção Média Usina}_{mês} = Dias_{mês} \times N_{módulos} \times W_{módulo}$$

onde, $Dias_{mês}$ representa o número médio de dias de operação no mês, $N_{módulos}$ é o número total de módulos fotovoltaicos instalados e $W_{módulo}$ é a energia média diária gerada por cada módulo, expressa em kWh/dia.

Substituindo os valores adotados:

$$\text{Produção Média Usina}_{mês} = 30 \times 49 \times 2,279 = 3.345,72 \text{ kWh/mês}$$

- Custo mensal consumo bandeira verde (CEMIG: B3 – Demais classes): 0,85858 R\$/kwh.

$$\text{Custo Energia}_{mês} = Consumo_{mes} \times Taxa_{CEMIG} = 2.404 \times 0,85858 = R\$ 2.064,03$$

Esse seria o valor a se pagar caso não fosse implantado a usina solar fotovoltaica. Como a geração é maior do que o mínimo exigido, é necessário o pagamento somente da tarifa de disponibilidade.

$$Custo_{disponibilidade} = 100kWh \times 0,85858 = R\$ 85,86$$

Com isso, a economia gerada pela usina solar fotovoltaica é de:

$$Econ_{UFV/mês} = R\$ 2.064,03 - R\$ 85,86 = R\$ 1.978,17$$

Totalizando uma economia anual de R\$ 23.738,04.

O custo de manutenção para o sistema de recarga e usina solar fotovoltaica pode ser considerado 0,5% do investimento inicial por ano (PATRIOTA, 2021). Segundo Garcia (2025) a diferença de custo de manutenção de um veículo elétrico em comparação a um veículo a combustão é de 0,20 R\$/km. Como discutido na seção 4.1 a frota da empresa apresenta uma média de 12.000km mensal, com isso, é obtido a economia anual referente a manutenção abaixo:

$$Econ_{manut/ano} = 0,20 \left(\frac{R\$}{km} \right) \times 12000(km) \times 12(meses) = R\$ 28.800$$

E a diferença do custo de manutenção dos veículos elétricos em comparação aos veículos elétricos é de 0,0445 R\$/km (OLIVEIRA; SOUZA, 2023) porém, segundo o estudo de caso realizado por Pereira *et al.* (2015) a diferença de custo de manutenção é 0,372 R\$/km. Para esse estudo será realizado a média dos custos dos dois trabalhos citados, resultando em 0,208 R\$/km. Como observado nas seções anteriores, a empresa apresenta uma média de 12000km/mês, com isso observa-se o fluxo de caixa anual:

$$Fluxo\ de\ Caixa_{ano} = (R\$ 76.336,08 + R\$ 23.738,04 + R\$ 28.800) - R\$ 601,52$$

$$Fluxo\ de\ Caixa_{ano} = R\$ 128.272,60$$

Para além das economias diretas citadas (economia com combustível, economia com energia elétrica e economia com manutenção) existem economias indiretas que podem ser mensuradas em um cenário real (que não é o caso desse estudo) como: Aumento da disponibilidade operacional devido a menor necessidade de manutenção, valorização de mercado devido a práticas ESG e a comercialização de créditos de carbono regulamentado pela lei 15.042 de 2024.

4.4.3 Definição do Horizonte de planejamento (N) e Taxa Mínima de atratividade (TMA)

Ao definir o horizonte de planejamento, foi analisado a vida útil dos principais equipamentos que compõem o sistema de carregamento com utilização da usina solar fotovoltaica, sendo eles: módulos, inversores e estação de recarga. Conforme os dados do módulo escolhido, o fabricante garante 25 anos de desempenho. Já para o inversor, o fabricante não determina essa vida útil, no entanto, conforme citado por Campos e Basso (2020) estima-se uma durabilidade média de 12 anos.

O fabricante da estação de recarga também não informa a vida útil do componente, porém, informa que a vida útil do plugue é superior a 10.000 ciclos, conforme dados do *datasheet* do anexo A1. Conforme descrito na seção 4.3.1 o carregador será utilizado aproximadamente 51 vezes no mês, totalizando 612 vezes ao ano. Dessa forma, a vida útil mínima esperada para a estação de recarga, baseada na limitação dos ciclos do plugue, pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$Vida\ util_{carregador} = \frac{Número\ de\ ciclos_{plugue}}{Qtde\ Recargas_{ano}}$$

Substituindo os valores discutidos anteriormente:

$$Vida\ util_{carregador} = \frac{10.000}{612} \approx 16\ anos$$

Dessa forma, o horizonte de planejamento (N) foi fixado em 25 anos, acompanhando a vida útil dos módulos, com a premissa de que os componentes de menor durabilidade serão substituídos. Os custos dessas substituições serão devidamente incorporados como saídas de capital no Fluxo de Caixa nos respectivos períodos:

- A substituição do Inversor será realizada no 12º ano de operação.
- A substituição da Estação de Recarga será realizada no 16º ano de operação.

A taxa mínima de atratividade (TMA) utilizada para esse estudo é a média histórica dos últimos 5 anos da taxa Selic. Utilizando os dados do Banco central do Brasil (2025), a média da taxa Selic de 2020 a julho/2025 é 9,47% ao ano.

4.4.4 Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica

Além dos valores de TMA, N, Investimento inicial do projeto e Fluxo de caixa conforme as seções anteriores, foi considerado um valor de venda dos veículos ao final do ciclo do projeto (20% do valor de aquisição dos veículos). Utilizando o *software* SAVEPI, a Tabela 15 apresenta os resultados obtidos de fluxo de caixa descapitalizado.

Tabela 15 – Fluxo de caixa para o horizonte de 25 anos

Período	Fluxo de caixa	FC Descapitalizado	FC Descapitalizado Acumulado
0	-R\$ 2.272.295,80	-R\$ 2.272.295,80	-R\$ 2.272.295,80
1	R\$ 128.272,60	R\$ 117.176,03	-R\$ 2.155.119,77
2	R\$ 128.272,60	R\$ 107.039,40	-R\$ 2.048.080,37
3	R\$ 128.272,60	R\$ 97.779,66	-R\$ 1.950.300,71
4	R\$ 128.272,60	R\$ 89.320,97	-R\$ 1.860.979,74
5	R\$ 128.272,60	R\$ 81.594,02	-R\$ 1.779.385,72
6	R\$ 128.272,60	R\$ 74.535,50	-R\$ 1.704.850,22
7	R\$ 128.272,60	R\$ 68.087,61	-R\$ 1.636.762,61
8	R\$ 128.272,60	R\$ 62.197,50	-R\$ 1.574.565,11
9	R\$ 128.272,60	R\$ 56.816,94	-R\$ 1.517.748,17
10	R\$ 128.272,60	R\$ 51.901,84	-R\$ 1.465.846,33
11	R\$ 128.272,60	R\$ 47.411,93	-R\$ 1.418.434,41
12	R\$ 112.441,60	R\$ 37.965,19	-R\$ 1.380.469,22
13	R\$ 128.272,60	R\$ 39.563,74	-R\$ 1.340.905,47
14	R\$ 128.272,60	R\$ 36.141,17	-R\$ 1.304.764,30
15	R\$ 128.272,60	R\$ 33.014,68	-R\$ 1.271.749,62
16	R\$ 111.871,29	R\$ 26.302,48	-R\$ 1.245.447,13
17	R\$ 128.272,60	R\$ 27.549,70	-R\$ 1.217.897,43
18	R\$ 128.272,60	R\$ 25.166,44	-R\$ 1.192.730,99
19	R\$ 128.272,60	R\$ 22.989,35	-R\$ 1.169.741,65
20	R\$ 128.272,60	R\$ 21.000,59	-R\$ 1.148.741,05
21	R\$ 128.272,60	R\$ 19.183,88	-R\$ 1.129.557,18
22	R\$ 128.272,60	R\$ 17.524,33	-R\$ 1.112.032,85
23	R\$ 128.272,60	R\$ 16.008,34	-R\$ 1.096.024,51
24	R\$ 128.272,60	R\$ 14.623,49	-R\$ 1.081.401,02
25	R\$ 735.802,60	R\$ 76.627,27	-R\$ 1.004.773,75

Fonte: Adaptado de SAVEPI (2025)

A Tabela 16 apresenta os resultados dos indicadores da metodologia multi-índice calculado pelo *software* SAVEPI.

Tabela 16 – Resultado dos indicadores

Dimensão Econômica	Indicador	Resultado esperado	Resultado encontrado	Status
RETORNO	Valor Presente Líquido (VPL, R\$)	$VPL \geq 0$	-1.004.773,75	Não viável
	Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA, R\$)	$VPLA \geq 0$	-106.213,23	Não viável
	Índice Benefício/Custo (IBC)	$IBC \geq 1$	0,5578	Não viável
	Retorno Adicional sobre o Investimento (ROIA, %)	$ROIA \geq 0$	-2,31	Não viável
RISCOS	Taxa interna de retorno (TIR, %)	$TIR \geq TMA$	3,78	Não viável
	Índice TMA/TIR (%)	$TMA/TIR \leq 100\%$	250,51	Não viável
	Payback (anos)	$Payback \leq N$	Não se pagou	Não viável

Fonte: Adaptado de SAVEPI (2025)

De forma unânime, os resultados indicam a inviabilidade econômica do investimento sob as premissas atuais. Todos os indicadores de retorno (VPL, VPLA, IBC e ROIA) e os indicadores de risco (TIR e *Payback*) apresentaram um status de inviabilidade, conforme a relação entre o "Resultado Encontrado" e o "Resultado Esperado".

O principal fator de inviabilidade reside no risco, onde a Taxa Interna de Retorno (TIR) de 3,78% é muito inferior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 9,47%. Isso demonstra que o projeto falha em entregar uma rentabilidade superior ao custo de oportunidade do capital, confirmando que o investimento é financeiramente desinteressante.

4.4.5 Custo médio por quilômetro

A Tabela 17 apresenta o custo médio por quilômetro para a frota a combustão, utilizando os preços do combustível discutido na seção 4.1.

Tabela 17 – Custo/km frota a combustão

Veículo atual	Tipo	Uso principal	Quantidade	Consumo médio (km/l)	Custo do combustível (R\$)	Custo médio (R\$) por km
Fiat Strada 2022	Gasolina	Entregas urbanas	5	11,5	6,18	0,537
Citroën Jumpy Cargo	Diesel	Transporte de carga	3	11	5,92	0,538
VW Polo 2021	Gasolina	Uso corporativo	2	13	6,18	0,475

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Já a Tabela 18 apresenta o custo médio por quilômetro da frota de veículos elétricos se utilizado a recarga pela rede da concessionária.

Tabela 18 – Custo/km frota 100% elétrica carga pela concessionária

Categoria	Modelo Elétrico	Preço Médio (R\$)	Autonomia (km)	Bateria (kWh)	Consumo (km/kWh)	Taxa concessionária	Custo médio (R\$) por km
Utilitário leve	JAC iEV330P	289.900	330	65,3	5,054	0,85858	0,170
Veículo de carga	Renault Kangoo E-Tech	199.990	210	45	4,667	0,85858	0,184
Veículo corporativo	Renault Kwid E-Tech	99.990	185	27	6,852	0,85858	0,125

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Como o projeto contempla a implantação de uma usina solar fotovoltaica, para realizar o cálculo do custo de energia por quilômetro é necessário utilizar o custo nivelado da geração da energia solar (LCOE – *Levelized Cost of Energy*) e não uma tarifa da concessionária.

A Tabela 19 apresenta o cálculo do LCOE, realizado com base nas premissas a seguir.

- Energia anual gerada: A produção mensal estimada é de 3.345,72 kWh, resultando em uma geração anual de 40.148,64 kWh.

- Taxa de desconto: Utilizou-se a média dos últimos 5 anos da Taxa Selic, resultando em 9,47% ao ano.
- Degradação dos módulos fotovoltaicos: Conforme especificado no *datasheet* do equipamento, considerou-se uma degradação de 2% no primeiro ano e de 0,55% ao ano nos demais anos.
- Vida útil do sistema: O sistema fotovoltaico foi projetado para operar por 25 anos.
- Investimento inicial: O custo de implantação do sistema foi de R\$ 120.303,80.
- Custos operacionais: Estimou-se um custo anual com limpeza e manutenção equivalente a 0,5% do investimento inicial, conforme sugerido por Patriota (2021).

Tabela 19 - Cálculo LCOE

Ano	Custo Anual (R\$)	Energia Gerada Com Degradação (kWh)	Fator de desconto	Custo anual atualizado (R\$)	Energia anual atualizada (kWh)
1	R\$ 120.905,32	39.345,67	1,0947	R\$ 110.446,076	35.941,96
2	R\$ 601,52	39.129,27	1,1984	R\$ 501,948	32.652,13
3	R\$ 601,52	38.914,06	1,3119	R\$ 458,526	29.663,41
4	R\$ 601,52	38.700,03	1,4361	R\$ 418,860	26.948,26
5	R\$ 601,52	38.487,18	1,5721	R\$ 382,625	24.481,64
6	R\$ 601,52	38.275,50	1,7210	R\$ 349,525	22.240,79
7	R\$ 601,52	38.064,98	1,8839	R\$ 319,289	20.205,04
8	R\$ 601,52	37.855,63	2,0623	R\$ 291,668	18.355,64
9	R\$ 601,52	37.647,42	2,2576	R\$ 266,436	16.675,51
10	R\$ 601,52	37.440,36	2,4714	R\$ 243,387	15.149,17
11	R\$ 601,52	37.234,44	2,7055	R\$ 222,333	13.762,54
12	R\$ 601,52	37.029,65	2,9617	R\$ 203,099	12.502,83
13	R\$ 601,52	36.825,98	3,2422	R\$ 185,529	11.358,42
14	R\$ 601,52	36.623,44	3,5492	R\$ 169,480	10.318,76
15	R\$ 601,52	36.422,01	3,8853	R\$ 154,818	9.374,26
16	R\$ 601,52	36.221,69	4,2533	R\$ 141,425	8.516,22
17	R\$ 601,52	36.022,47	4,6560	R\$ 129,191	7.736,71
18	R\$ 601,52	35.824,35	5,0970	R\$ 118,015	7.028,56
19	R\$ 601,52	35.627,31	5,5797	R\$ 107,806	6.385,22
20	R\$ 601,52	35.431,36	6,1080	R\$ 98,480	5.800,77
21	R\$ 601,52	35.236,49	6,6865	R\$ 89,961	5.269,81
22	R\$ 601,52	35.042,69	7,3197	R\$ 82,178	4.787,46
23	R\$ 601,52	34.849,96	8,0129	R\$ 75,069	4.349,25
24	R\$ 601,52	34.658,28	8,7717	R\$ 68,575	3.951,16
25	R\$ 601,52	34.467,66	9,6024	R\$ 62,643	3.589,50
TOTAL				R\$ 115.586,943	357.045,01

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com isso, ao dividir o valor total do custo pelo total de energia gerada, tem-se um LCOE de 0,3237. Com o valor do LCOE calculado, é estimado o custo médio por quilômetro da nova

frota de veículos elétricos com recarga pela usina solar fotovoltaica. Tais resultados são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Custo/km frota 100% elétrica carga pela UFV

Categoria	Modelo Elétrico	Preço Médio (R\$)	Autonomia (km)	Bateria (kWh)	Consumo (km/kWh)	LCOE	Custo médio (R\$) por km
Utilitário leve	JAC iEV330P	289.900	330	65,3	5,05	0,3237	0,064
Veículo de carga	Renault Kangoo E-Tech	199.990	210	45	4,67	0,3237	0,069
Veículo corporativo	Renault Kwid E-Tech	99.990	185	27	6,85	0,3237	0,047

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.5 Discussão dos resultados

Com base nos estudos realizados, observou-se que a frota a combustão atualmente utilizada pela empresa é responsável por uma elevada emissão de CO₂, a qual é completamente eliminada com a adoção da frota elétrica proposta. No que se refere ao custo por quilômetro rodado, a frota a combustão apresenta uma média de R\$ 0,517. Esse valor é significativamente reduzido para R\$ 0,160 quando se considera o uso de uma frota elétrica recarregada diretamente pela rede da concessionária. No entanto, o maior destaque foi para a frota elétrica alimentada por uma usina solar fotovoltaica própria, cujo custo médio por quilômetro foi de apenas R\$ 0,060, representando uma redução de aproximadamente 88% em relação à frota convencional.

Apesar dos benefícios ambientais e operacionais identificados, a análise da Tabela 16, que apresenta os principais indicadores de viabilidade econômica do projeto de substituição da frota a combustão por uma frota 100% elétrica abastecida com energia solar fotovoltaica, evidencia que o projeto é economicamente inviável nas condições da empresa fictícia.

O projeto obteve um Valor Presente Líquido (VPL) negativo, em -R\$ 1.004.773,75, indicando que as receitas projetadas ao longo do horizonte de 25 anos não são suficientes para cobrir o investimento inicial do projeto, mesmo considerando a venda da frota elétrica no último ano como valor residual.

De forma semelhante, o Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA) também foi negativo, com -R\$ 106.213,23, reforçando que, mesmo distribuindo os fluxos ao longo do tempo, o retorno financeiro não se sustenta. O Índice Benefício/Custo (IBC) foi de apenas 0,5578, o que significa que para cada R\$ 1,00 investido, há retorno de apenas R\$ 0,56, evidenciando a ineficiência econômica do projeto.

O Retorno Adicional sobre o Investimento (ROIA), que avalia o quanto o projeto supera (ou não) a TMA (Taxa Mínima de Atratividade), foi de -2,31%, ficando abaixo da taxa adotada de 9,47% (Média da taxa SELIC), o que demonstra que o projeto não entrega rentabilidade adicional. A Taxa Interna de Retorno (TIR) foi de apenas 3,78%, ela ainda se manteve inferior à TMA, indicando que o projeto não apresenta atratividade econômica. Além disso, o índice TMA/TIR, que expressa a relação entre essas duas taxas e serve como indicador de risco financeiro, apresentou valor de 250,51%, superior ao limite de 100% esperado para projetos

viáveis, o que confirma o alto risco e a baixa rentabilidade do investimento. Por fim, o *Payback* não foi atingido ao longo dos 25 anos de planejamento, o que significa que o projeto não conseguiu sequer recuperar o capital investido. Em uma simulação feita, o *payback* nunca seria atingido mesmo aumentando o horizonte de planejamento.

Esses resultados deixam claro que, do ponto de vista estritamente econômico, o projeto de substituição da frota se mostra inviável, apresentando um alto risco e um baixo retorno. Os resultados negativos foram fortemente influenciados pelo elevado custo de aquisição de veículos elétricos no Brasil, agravado pela carga tributária incidente. Segundo a Rodobens (2025), a compra de um veículo no país pode incluir até 50% de tributos no seu valor final, principalmente em modelos importados. Esse cenário é ainda pior para o consumidor final, já que cerca de 78,2% dessa carga tributária incidem diretamente sobre ele, enquanto apenas 21,8% recaem sobre a indústria (DeSOUZA, 2010).

Apesar da inviabilidade econômica identificada nas condições atuais, os resultados obtidos fornecem subsídios relevantes para a proposição de alternativas que possam tornar o investimento mais atrativo. Como engenheiro, é fundamental não apenas apontar as limitações, mas também propor soluções que viabilizem o projeto sob diferentes condições operacionais e financeiras (HOLTZAPPLE; REECE, 2006). Nesse sentido, foi definido um cenário alternativo para reavaliação da viabilidade econômica. O cenário avalia a aquisição de veículos elétricos seminovos, buscando representar uma situação mais realista e economicamente favorável. Esse cenário será analisado a seguir, com o objetivo de identificar em quais condições o projeto de eletrificação da frota corporativa da empresa fictícia se tornaria economicamente viável, fornecendo insumos técnicos e estratégicos que podem orientar empresas interessadas em adotar soluções de mobilidade elétrica de forma sustentável e financeiramente equilibrada.

4.6 Análise de cenário alternativo

O cenário busca explorar o potencial de viabilidade do projeto mediante a aquisição de veículos elétricos seminovos, alternativa que representa redução significativa do investimento inicial. Nesse caso, considera-se a mesma TMA e o mesmo horizonte de planejamento do estudo base. Os dados de custo de aquisição da frota de veículos elétricos estão consolidados na Tabela 21, considerando a premissa de utilização de veículos seminovos.

Tabela 21 – Custo aquisição veículos elétricos seminovos

Modelo Seminovo	Tabela Fipe	Quantidade	Total
Jac iEV 330 (2023)	R\$ 272.673,00	3	R\$ 818.019,00
Kangoo e-tech (2024)	R\$ 283.833,00	3	R\$ 851.499,00
Kwid e-tech (2024)	R\$ 69.674,00	2	R\$ 139.348,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O mercado de veículos elétricos leves no Brasil não possui um substituto direto e de mesmo porte para o modelo Fiat Strada, amplamente utilizado pela empresa. A Fiat Strada é uma picape de entrada que atende a necessidades específicas de transporte leve com baixo custo

operacional. A JAC iEV330P é uma picape elétrica com capacidade de carga superior e preço significativamente maior que a Strada. A substituição direta de todas as Fiat Strada por um número igual de JAC iEV330P resultou em um custo de investimento inicial excessivamente elevado. Dessa forma, a fim de mitigar o aumento considerável do custo inicial e considerando o porte maior e a capacidade superior da JAC iEV330P, foi estabelecida uma equivalência de substituição de 1 JAC iEV330P para cada 2 Fiat Strada na frota original. Essa proporção permite reduzir o investimento inicial sem comprometer a capacidade de serviço da frota, otimizando o uso do veículo elétrico de maior porte. Com isso, o custo bruto de aquisição da frota de veículos elétricos é de R\$ 1.808.866,00. No entanto, o investimento inicial do projeto, que resulta da soma do custo de implantação da usina com o saldo da diferença de valores obtidos na venda dos veículos a combustão, conforme a seção 4.4.1, totaliza R\$ 1.049.693,00.

A adoção de veículos seminovos reduz o investimento inicial e possibilita um retorno mais rápido sobre o investimento, sem comprometer o desempenho técnico ou a autonomia da frota, visto que as baterias modernas têm uma degradação relativamente baixa, de cerca de 1,8% ao ano (GEOTAB, 2025). Contudo, reconhece-se que veículos com até dois anos de uso podem apresentar um acréscimo marginal de custos de manutenção em comparação a modelos novos, para representar esse maior esforço de manutenção, foi aplicado um fator de correção de 15% sobre a economia anual de manutenção obtida no cenário base. Assim, o cenário permite avaliar se a redução no custo de aquisição é suficiente para reverter a inviabilidade observada anteriormente, mantendo os benefícios ambientais e operacionais da eletrificação. A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos de fluxo de caixa descapitalizado para o cenário alternativo.

Tabela 22 – Fluxo de caixa cenário alternativo

Período	Fluxo de caixa	FC Descapitalizado	FC Descapitalizado Acumulado
0	-R\$ 1.049.693,00	-R\$ 1.049.693,00	-R\$ 1.049.693,00
1	R\$ 123.952,60	R\$ 113.229,74	-R\$ 936.463,26
2	R\$ 123.952,60	R\$ 103.434,50	-R\$ 833.028,76
3	R\$ 123.952,60	R\$ 94.486,61	-R\$ 738.542,15
4	R\$ 123.952,60	R\$ 86.312,79	-R\$ 652.229,35
5	R\$ 123.952,60	R\$ 78.846,07	-R\$ 573.383,28
6	R\$ 123.952,60	R\$ 72.025,28	-R\$ 501.358,01
7	R\$ 123.952,60	R\$ 65.794,53	-R\$ 435.563,47
8	R\$ 123.952,60	R\$ 60.102,80	-R\$ 375.460,67
9	R\$ 123.952,60	R\$ 54.903,44	-R\$ 320.557,23
10	R\$ 123.952,60	R\$ 50.153,87	-R\$ 270.403,36
11	R\$ 123.952,60	R\$ 45.815,17	-R\$ 224.588,19
12	R\$ 108.121,60	R\$ 36.506,57	-R\$ 188.081,62
13	R\$ 123.952,60	R\$ 38.231,30	-R\$ 149.850,31
14	R\$ 123.952,60	R\$ 34.924,00	-R\$ 114.926,31
15	R\$ 123.952,60	R\$ 31.902,81	-R\$ 83.023,51
16	R\$ 107.551,29	R\$ 25.286,79	-R\$ 57.736,71
17	R\$ 123.952,60	R\$ 26.621,87	-R\$ 31.114,84
18	R\$ 123.952,60	R\$ 24.318,88	-R\$ 6.795,96
19	R\$ 123.952,60	R\$ 22.215,11	R\$ 15.419,14
20	R\$ 123.952,60	R\$ 20.293,33	R\$ 35.712,47
21	R\$ 123.952,60	R\$ 18.537,80	R\$ 54.250,27
22	R\$ 123.952,60	R\$ 16.934,14	R\$ 71.184,41
23	R\$ 123.952,60	R\$ 15.469,20	R\$ 86.653,61
24	R\$ 123.952,60	R\$ 14.131,00	R\$ 100.784,61
25	R\$ 485.725,80	R\$ 50.584,01	R\$ 151.368,61

Fonte: Adaptado de SAVEPI (2025)

A Tabela 23 apresenta os resultados dos indicadores para o cenário alternativo.

Tabela 23 – Resultados do *software* SAVEPI para o cenário alternativo

Dimensão Econômica	Indicador	Resultado esperado	Resultado encontrado	Status
RETORNO	Valor Presente Líquido (VPL, R\$)	$VPL \geq 0$	151.368,61	Viável
	Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA, R\$)	$VPLA \geq 0$	16.000,97	Viável
	Índice Benefício/Custo (IBC)	$IBC \geq 1$	1,1442	Viável
	Retorno Adicional sobre o Investimento (ROIA, %)	$ROIA \geq 0$	0,54	Viável
RISCOS	Taxa interna de retorno (TIR, %)	$TIR \geq TMA$	11,16	Viável
	Índice TMA/TIR (%)	$TMA/TIR \leq 100\%$	76	Viável
	Payback (anos)	$Payback \leq N$	19	Viável

Fonte: Adaptado de SAVEPI (2025)

O cenário alternativo apresentou resultados mais favoráveis, comprovando que a redução do investimento inicial, por meio da compra de veículos elétricos seminovos, tem potencial para viabilizar economicamente o projeto. O VPL positivo de R\$ 151.368,61 e o IBC de 1,1442 indicam uma relação custo-benefício bastante satisfatória, enquanto a TIR de 11,16%, acima da TMA adotada, demonstra um desempenho sólido em termos de retorno real. O *payback* foi alcançado no 19º ano, mostrando um equilíbrio entre rentabilidade e prazo de recuperação, podendo ser considerada como retorno e risco intermediário. Esses resultados indicam que a adoção de uma frota seminova representa uma boa alternativa para empresas que buscam eletrificar suas operações com menor custo inicial.

Além do cenário alternativo adotado neste estudo, outras abordagens poderiam ser exploradas para avaliar caminhos de viabilização econômica. Uma delas seria a redução da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), analisando o projeto sob condições financeiras menos restritivas. A principal vantagem desse cenário é verificar a sensibilidade da viabilidade em relação ao custo de oportunidade do capital, especialmente relevante em projetos estratégicos de longo prazo. No entanto, essa análise apresenta limitações importantes: ao utilizar uma TMA muito abaixo das condições reais de mercado, corre-se o risco de superestimar o retorno do projeto, criando uma imagem de viabilidade que depende mais de parâmetros financeiros artificiais do que do desempenho operacional da frota elétrica.

Outro cenário possível seria a substituição progressiva da frota, permitindo que a transição para a mobilidade elétrica ocorra em etapas. Essa abordagem reduz o desembolso inicial e possibilita reinvestir economias anuais na aquisição de novos veículos, tornando o investimento mais palatável para empresas com restrições orçamentárias. Entretanto, quando associada ao uso de dividendos provenientes da aplicação financeira do capital não investido, surgem distorções relevantes: parte da atratividade econômica passa a ser resultado do rendimento financeiro temporário dos recursos e não da operação dos veículos elétricos nem da geração fotovoltaica. Assim, o cenário pode produzir indicadores artificiais de alta rentabilidade, que não refletem fielmente a realidade operacional do projeto.

Essas possibilidades, embora úteis para explorar a sensibilidade econômica, apresentam limitações conceituais e metodológicas que justificam sua não adoção como cenário principal da análise.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve o objetivo de realizar um estudo de viabilidade econômica da substituição de uma frota de veículos a combustão por uma frota 100% elétrica abastecida com energia solar fotovoltaica, considerando uma empresa fictícia de pequeno porte do setor logístico na cidade de Belo Horizonte/MG. Foi demonstrado que, sob o ponto de vista do custo médio por quilômetro rodado, a frota elétrica com energia solar se destacou como a mais econômica. Além disso, essa configuração se mostrou significativamente vantajosa do ponto de vista ambiental, zerando as emissões de dióxido de carbono (CO₂) quando comparada à frota a combustão.

No entanto, ao aplicar a metodologia multi-índice para a avaliação da viabilidade econômica, os resultados indicaram que o projeto é economicamente inviável no horizonte de planejamento de 25 anos. O projeto apresentou alto risco, ausência de retorno financeiro, e sequer se pagou durante o período analisado. Esses fatores comprometem a sustentabilidade financeira do projeto, mesmo com os benefícios ambientais e operacionais identificados. A inviabilidade está principalmente relacionada aos elevados custos de aquisição dos veículos no Brasil, mesmo com os incentivos para aquisição dos carros elétricos, o elevado custo ainda dificultam sua adoção em larga escala para empresas com perfil semelhante à analisada.

A partir dessa constatação, foi proposto a análise de um cenário alternativo com a aquisição de veículos elétricos seminovos e um ajuste no número de veículos de acordo com sua capacidade, apresentou-se uma melhora nos indicadores, com indicadores de retorno e risco positivos e *payback* atingido antes do final do período de análise. Dessa forma, o cenário alternativo permitiu identificar que a viabilidade do projeto depende fortemente de fatores como o custo inicial dos veículos e o custo de capital adotado.

Uma das contribuições deste trabalho é oferecer subsídios técnicos e econômicos para auxiliar empresas no processo de tomada de decisão sobre a substituição de suas frotas, especialmente aquelas que buscam alinhar suas operações aos princípios de sustentabilidade. Mesmo que o cenário base não tenha se mostrado viável, as análises complementares indicam caminhos concretos para viabilização, especialmente da utilização de veículos seminovos. Além disso, sob uma perspectiva estratégica e comercial, a adoção de uma frota 100% elétrica pode representar um diferencial competitivo relevante, especialmente para pequenas e médias empresas que desejam se destacar frente aos grandes *players* do seu ramo de atuação. Em um cenário hipotético de concorrência por contratos com empresas que não valorizam práticas ambientais e políticas ESG, a presença de uma frota elétrica alimentada por fonte renovável pode posicionar melhor a empresa e agregar valor à sua marca, contribuindo para a sua imagem institucional verde e responsabilidade socioambiental, fatores que podem atrair mais clientes e, consequentemente, gerar maior lucratividade. Pesquisas realizadas nos EUA mostram que os consumidores estão dispostos a pagar até 10% a mais em produtos com boas alegações ESG (CARBON FREE, 2025).

Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se o aprofundamento das análises e a realização de estudos focados em identificar perfis empresariais nos quais a substituição da frota possa ser economicamente viável, seja por volume de operação, incentivos fiscais,

modelos de negócio específicos ou evolução tecnológica que reduza o custo dos veículos elétricos. Também se recomenda uma análise internacional comparativa, avaliando o mesmo projeto em países com potencial fotovoltaico similar, mas com menores custos de aquisição de veículos elétricos, o que pode alterar significativamente os indicadores de viabilidade e ampliar a aplicabilidade do modelo estudado. Propõe-se também, aplicar simulação de Monte Carlo para quantificar a incerteza dos indicadores econômicos e estimar a probabilidade de viabilidade do projeto sob variabilidade realista das entradas. Essa abordagem fornece uma avaliação mais robusta do risco financeiro do projeto, identifica quais variáveis têm maior influência na viabilidade e orienta decisões gerenciais

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil (Infográfico N.º 81). 2025. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/> . Acesso em: 27 jul. 2025.

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. Energia Solar: Estudo Da Geração De Energia Elétrica Através Dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid E Off-Grid. 2019. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf. Acesso em: 28 jul. 2025.

ANDERSON, J.; ANDERSON, C. Electric and Hybrid Cars: A History. McFarland Co., London, UK, 2015.

ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. 2012. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2025.

ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015. 2015. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2025.

ANEEL. Resolução Normativa ANEEL nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023. 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>. Acesso em: 29 jul. 2025.

ANEEL. Painel Interativo – Geração Distribuída. 2025. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 01 out. 2025.

ANFAVEA. O que é o Programa Rota 2030. 2023. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/rota-2030/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). ABVE e iE divulgam a Carta da Eletromobilidade. Disponível em: <https://abve.org.br/abve-e-ie-divulgam-a-carta-da-eletromobilidade/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). BI Eletropostos. Disponível em: <https://abve.org.br/abve-data/bi-eletropostos/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). Eletrificados seguem crescendo no semestre e se consolidam na faixa de 8% de participação de mercado. 8 jul. 2025. Disponível em: <https://abve.org.br/elettrificados-seguem-crescendo-no-semester-e-se-consolidam-na-faixa-de-8-de-participacao-de-mercado/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5410:2004 – Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16690:2019 – Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14653-4:2002 – Avaliação de bens – Parte 4: Empreendimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

BARAN, R.; LEGY, 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: 22 jul. 2025.

BCB. Taxa Selic Banco Central do Brasil. 2025. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 30 jul. 2025.

BRANKER, K.; PATHAK, M. J. M.; PEARCE, J. M. A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Dezembro 2011., p. 4470-4482

BRASIL. Congresso Nacional. Projeto de Lei n. 2132, de 2025. Brasília, DF: Congresso Nacional, [2025?]. Disponível em: <https://www.congressonacional.leg.br/materias/materias-bicameras/-/ver/pl-2132-2025>. Acesso em: 25 jul. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm. Acesso em: 29 jul. 2025.

BRASIL. Presidência da República. Mover: Programa de Mobilidade Verde é lançado. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2023/12/mover-novo-programa-amplia-aco-es-para-mobilidade-verde-e-descarbonizacao>. Acesso em: 27 jul. 2024.

Brasil Indicadores. Poupança: rendimento hoje, acumulado e histórico. Disponível em: <https://brasilindicadores.com.br/poupanca/>. Acesso em: 28 out. 2025.

CARBON FREE. Consumidores estão direcionando seus gastos a produtos com alegações de ESG. Carbon Free Brasil, 11 abr. 2025. Disponível em: <https://carbonfreebrasil.com/consumidores-estao-direcionando-seus-gastos-a-produtos-com-alegacoes-de-esg/>. Acesso em: 01 ago. 2025.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. Brasília: IPEA, abr. 2011. (Texto para Discussão, n. 1606). Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.

CAMPOS, Alana; BASSO, Leonardo. Energia solar: uma fonte de energia alternativa e sustentável para uso privado no Brasil. 2020. DOI: 10.22533/at.ed.83420080612.

CASAGRANDE JUNIOR, E. F.; et al. Energia solar fotovoltaica e automóveis elétricos: a combinação de um modelo para redução de emissões de carbono na cidade de Curitiba. R. Tecnol. Soc., Curitiba, v. 15, n. 37, p. 653-678, jul./set. 2019. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts>. Acesso em: 16 jul. 2025.

CEPEL; CRESSESSEB. Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos. 2014.

CLIMAINFO. Uma breve história dos veículos elétricos. 25 set. 2017. Disponível em: <https://climainfo.org.br/2017/09/25/uma-breve-historia-dos-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

CUNHA, Thiago Henrique J. R. da; SILVA, Antônio Manoel Batista da. Baterias estacionárias e tracionárias aplicadas em sistemas off-grid e híbridos. In: EDEPA - ENCONTRO DE DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AGROINDUSTRIAS, 4., 2020, Uberaba. Artigo. Uberaba: Uniube, 2020. p. 1-7. Disponível em: <http://dspace.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/1440>. Acesso em: 28 jul. 2025.

CELL REPORTS PHYSICAL SCIENCE. End-Of-Life Or Second-Life Options For Retired Electric Vehicle Batteries. Publicação em agosto de 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100537>>. Acesso em: 02 Out. 2025.

DeSOUZA, Sérgio A.; PETTERINI, Francis C.; MIRO, Vitor Hugo. A tributação nas vendas de automóveis no Brasil: quem paga a maior parte da conta? Revista Economia, v.11, n.3, p.559-596, set./dez. 2010.

ELETRICUS. Carros elétricos e a regulação governamental. 2022. Disponível em: <https://electricus.com.br/carros-eletricos-e-a-regulamentacao-governamental/>. Acesso em: 25 jul. 2025

ENERGY SHOP. Inversor híbrido off grid. Blog Energy Shop, 14 maio 2025. Disponível em: <https://blog.energyshop.com.br/inversor-hibrido-off-grid/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

EPE; MME. Nota Técnica: Energia solar fotovoltaica: inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira. Rio de Janeiro: EPE/MME, 12 maio 2012. Disponível em: https://bibliotecadigital.economia.gov.br/bitstream/123456789/242/1/NT_EnergiaSolar_2012.pdf. Acesso em: 03 ago. 2025.

Fearnside, P.M. 2019. Emissões de gases de efeito estufa das represas hidrelétricas da Amazônia brasileira. pp. 87-90. In: P.M. Fearnside (ed.) Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras. Vol. 3. Editora do INPA, Manaus. 148 p.

FOCUS2MOVE. World Car Market - Best 100 Models Ranking 2024. 2025. Disponível em: <https://www.focus2move.com/world-car-market-2024/>. Acesso em: 30 set. 2025.

GARCIA, Iago. Carro elétrico: vantagem sobre a combustão? Autoesporte, 15 jun. 2025. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/servicos/seu-bolso/noticia/2025/06/carro-eletrico-vantagem-combustao.ghtml>. Acesso em: 24 out. 2025.

GEOTAB TEAM. Quanto tempo duram as baterias de um carro elétrico? Veja o que a análise de 10 mil VEs revela. Geotab, 19 ago. 2025. Disponível em: <https://www.geotab.com/pt-br/blog/degradacao-da-bateria-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 2 out. 2025.

YIN, Robert K. Estudo de Caso: Planejamento e métodos. Bookman editora, 2015.

HOLTZAPPLE, M. T.; REECE, W.D. Introdução à Engenharia. 1ªed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2006. ISBN 8521615116.

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

INSIDEEVS. Combustível mais caro? Compare o custo de abastecer e carregar um elétrico. 4 fev. 2025. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/749483/precos-combustiveis-recarga-carroseletricos/>. Acesso em: 23 jul. 2025

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (Inmetro). PBE Veicular: 16º Ciclo – Tabelas de Eficiência Energética de Veículos Leves 2024. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2024-1.pdf/view>. Acesso em: 23 jul. 2025.

INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION (ICCT). Comparação das emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida de carros de passeio a combustão e elétricos no Brasil. Out. 2023. Disponível em: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/10/Brazil-LDV-LCA-report-A4-PORT-v4.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Global EV Outlook 2025. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>. Acesso em: 22 jul. 2025.

IRENA. Renewable energy highlights: Renewable energy statistics 2025. Abu Dhabi: IRENA, 10 jul. 2025. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Jul/IRENA_DAT_Renewable_energy_highlights_2025.pdf. Acesso em: 19 jul. 2025.

JATO DYNAMICS. Tesla Model Y to be crowned world's best-selling vehicle of 2023. Press release, 25 jan. 2024. Disponível em: <https://www.jato.com/resources/media-and-press-releases/tesla-model-y-worlds-best-selling-car-2023>. Acesso em: 28 jul. 2025.

LIMA, J.D. de; SOUTHER, L.F.P. Manual do Usuário do SAVEPI: Guia Geral. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR – Câmpus Pato Branco). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS). 2017. Disponível em: <http://pb.utfpr.edu.br/SAVEPI>. Acesso em: 31 jul. 2025.

LIMA, T. Z. F. Desenvolvimento de código computacional de planejamento geoespacial para implantação de tecnologias off-grid em assentamentos na Amazônia (Tese). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília – UNB, 2024.

LUSA. É oficial. Parlamento Europeu aprova proibição da venda carros a gasolina e gasóleo a partir de 2035. 2023. Disponível em: <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/automovel/detalhe/e-oficial-parlamento-europeu-aprova-proibicao-da-venda-carros-a-gasolina-e-gasoleo-a-partir-de-2035/>. Acesso em: 20 jul. 2025.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. Revista Virtual de Química, 2014. Disponível em: <http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664>. Acesso em: 27 jul. 2025.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Plano Decenal de Expansão de Energia 2032: Caderno de Eletromobilidade. Brasília: MME, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-e-epe-lancam-caderno-do-pde-2032-sobre-a-eletrificacao-do-transporte-no-brasil/copy_of_CadernodeEletromobilidade_PDE2032002.pdf. Acesso em: 24 jul. 2025.

MOBIAUTO. Chevrolet Chevette elétrico existiu bem antes de as chinesas dominarem o mercado. Revista Mobiauto, 2023. Disponível em: <https://www.mobiauto.com.br/revista/chevrolet-chevette-eletrico-existiu-bem-antes-de-as-chinesas-dominarem-mercado/7617>. Acesso em: 26 jul. 2025.

MOBIAUTO. Tabela Fipe – Citroën Jumpy 2022 Cargo 1.5 Turbo Diesel. 2025. Disponível em: <https://www.mobiauto.com.br/tabela-fipe/carros/citroen/jumpy/2022/cargo-1-5-turbo-diesel>. Acesso em: 25 jul. 2025.

MOBIAUTO. Tabela Fipe – Fiat Strada 2022. 2025. Disponível em: <https://www.mobiauto.com.br/tabela-fipe/carros/fiat/strada/2022>. Acesso em: 25 jul. 2025.

MOBIAUTO. Tabela Fipe – Volkswagen Polo 2021 1.6 MSI Aut. Flex. 2025. Disponível em: <https://www.mobiauto.com.br/tabela-fipe/carros/volkswagen/polo/2021/1-6-msi-aut-flex>. Acesso em: 25 jul. 2025.

MORAES, Caio. Uma Introdução aos Sistemas fotovoltaicos. Eletrônica de Potência, 27 out. 2021. Disponível em: <https://eletronicadepotencia.com/sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

NEOCHARGE. Tipo de carregador de carro elétrico: tudo o que você precisa saber. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carregador-carro-eletrico/tipo-carregador-ve?srsId=AfmBOoqkoKZT58QET3bX-33rPTIYkL0qqJccp32QcI13vJYbmHjJUDs5>.

Acesso em: 26 jul. 2025.

PATRIOTA, Raniere. Quanto custa a manutenção em energia solar?. Liberty Energia, 14 jul. 2021. Disponível em: <https://www.libertyenergia.eco.br/quanto-custa-a-manutencao-em-energia-solar/>. Acesso em: 31 jul. 2025.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em: 27 jul. 2025

PETROBRAS. Composição de preços da gasolina. Rio de Janeiro: Petrobras, 2025. Disponível em: <https://precos.petrobras.com.br/sele%C3%A7%C3%A3o-de-estados-gasolina>. Acesso em: 07 jul. 2025.

RODOBENS. Quais são os impostos que incidem na compra de veículos. Rodobens, 9 abr. 2025. Disponível em: <https://rodobens.com.br/blog/veiculos/quais-sao-os-impostos-que-incidem-na-compra-de-veiculos>. Acesso em: 01 ago. 2025

SALES, Jeannie Lacerda. Análise de viabilidade econômica de uma estação de recarga para carros elétricos no Brasil. 2024. 77 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024.

SANTOS, A. C. F. R. (2017). Análise Da Viabilidade Técnica e Econômica de um Veículo Elétrico Versus Veículo a Combustão. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Eficiência Energética). UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12590/TCCE_EEAPP_EaD_2017_SANTOS_A_NA.pdf?sequence=1>. Acesso em: 23 ago. 2025.

SANTOS, Rayon. Estudos de caso e comparação da viabilidade econômica para a implementação de um sistema fotovoltaico on-grid e off-grid. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/33936-santos,-r.-a.-estudo-de-casoe-comparacao-da-viabilidade-economica-para-a-implementacao-de-um-sistema-fotovoltaico-ongrid-e-off-grid.-tcc,-2019..pdf> 2019. Acesso em: 28 jul. 2025.

SEBRAE. Pequenos negócios serão certificados com selo ESG de acordo com norma da ABNT. Agência Sebrae de Notícias, 4 jun. 2024. Disponível em: <https://agenciasebrae.com.br/inovacao-e-tecnologia/pequenos-negocios-serao-certificados-com-selo-esg-de-acordo-com-norma-da-abnt/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SENADO. Projeto de Lei n 6020, de 2019. Agência Senado, 2019. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/139840>. Acesso em: 25 jul. 2025

SEVERINE, Márcio. Veículos eletrificados: conheça as tecnologias disponíveis. ABVE, 30 jan. 2025. Disponível em: <https://abve.org.br/coluna/veiculos-eletrificados-conheca-as-tecnologias-disponiveis/>. Acesso em: 22 jul. 2025

Silva, B. A. O. (2023). Aproveitamento e potencial da energia solar no nordeste brasileiro. Meio Ambiente (Brasil), v.5, n.1, p.55-66.)

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. Decisões Financeiras E Análises de Investimentos: Fundamentos, Técnicas e Aplicações. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOUZA, C.; HIROI, J. O Mercado de carros elétricos no Brasil: análise de entraves e sugestões para expansão. Práticas em Contabilidade e Gestão, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 1–19, 2021. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/pcg/article/view/14150>. Acesso em: 26 jul. 2025.

SOLARGIS. Maps of Global Horizontal Irradiation (GHI). 2019. Disponível em: <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI>. Acesso em: 30 set. 2025.

TESLA, INC. Model Y – Medium-size SUV electric vehicle. [S.l.], [2025]. Disponível em: <https://www.tesla.com/modely>. Acesso em: 28 jul. 2025.

THIS IS MONEY. We test replica of Gustave Trouvé's 1881 rechargeable electric vehicle. ThisIsMoney.co.uk, [S.l.], 2021. Disponível em: <https://www.thisismoney.co.uk/money/cars/article-9512103/We-test-replica-Gustave-Trouves-1881-rechargeable-electric-vehicle.html>. Acesso em: 26 jul. 2025.

TOYOTA. Toyota launches the revolutionary PRIUS hybrid passenger vehicle. Tokyo: Toyota Motor Corporation, 14 out. 1997. Disponível em: <https://global.toyota/en/detail/7905316>. Acesso em: 04 nov. 2025.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Emissões de metano estão impulsionando a mudança climática: veja por quê. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 21 Ago. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/emissoes-de-metano-estao-impulsionando-mudanca-climatica-veja>. Acesso em: 1 out. 2025.

VIEIRA, Ariany Alves Orosco Fernandes; OLIVEIRA, Maria Mariah da Costa Sales e; ABRITTA, Camila do Carmo Almeida; MORAES, Camile Arêdes Moraes. Estudo de Dimensionamento de Sistemas Solares Fotovoltaicos. Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica, Juiz de Fora, v. 9, n. 1, jan. 2023. Disponível em: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/ANL/article/view/3862>. Acesso em: 16 jul. 2025.

ANEXOS

A.1 DATASHEET CARREGADOR WEG WEMOB


www.weg.net

PARKING

GERENCIANDO E COMPARTILHANDO

ENERGIA PELA CIDADE

ATUALIZAÇÃO REMOTA OVER-THE-AIR
sua estação de recarga sempre atualizada

CONECTIVIDADE
opções para conexão à internet via 4G, cabo Ethernet ou Wi-Fi¹⁾

DISPLAY COLORIDO
em altura ergonômica, acessível e fácil de ler

CONECTOR TIPO 2
posicionado para facilitar o acesso

CABOS DE 5 METROS

RECARGA DE ATÉ DOIS VEÍCULOS
simultaneamente, com até 22 kW cada

MEDIÇÃO DE ENERGIA
possibilitando a coleta das informações de consumo

INSTALAÇÃO EM QUALQUER TENSÃO
pode ser instalada de 100 a 240 V monofásica/trifásica ou até 415 V trifásica

CONTROLE DE ACESSO SEGURO
via cartões de proximidade (RFID), aplicativo para celular ou software de gestão²⁾

PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO ABERTO
OCPP 1.6 J193N permite interoperabilidade entre estações e sistemas na nuvem

UTILIZAÇÃO AO TEMPO
resistente a jatos de água, raios UV e poeira

NA PAREDE OU EM PEDESTAL
compacta e fácil de instalar

A Estação de Recarga WEMOB® PARKING foi desenvolvida especialmente para uso compartilhado em estacionamentos públicos e privados, em condomínios ou em frotistas.

Acesse o guia para seleção de Estações de Recarga (CA) para Veículos Elétricos:





EM 2 VERSÕES
COM E SEM TELA LCD
COM 1 OU 2 SAÍDAS DE ATÉ 22 kW

Notas: 1) Assinatura para uso da plataforma e aplicativo para celular não inclusos, podem ser adquiridos separadamente.
2) Para conexão utilizando 4G, o cartão SIM e o plano de dados não estão inclusos, devem ser providenciados pelo cliente.

ANATEL
INMET
BRNDES

6 | WEMOB

www.weg.net

WEMOB | 7

www.weg.net

www.weg.net

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

GERAL	Modelo
	Código
ENTRADA CA	Tensão de alimentação
	Frequência
	Corrente máxima de entrada
	Potência máxima consumida
SAÍDA CA	Potência máxima de saída
	Tensão de saída
	Corrente de saída
	Quantidade de tomadas
	Tipo de conector
	Tamanho do cabo de conexão com plugue
CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS	Tela LCD alta resolução
	Temperatura
	Grau de proteção
	Proteção contra impactos mecânicos externos
	Dimensão sem conector/soquete A x L x P
	Dimensão com conector/soquete A x L x P
	Peso
PROTEÇÕES ELÉTRICAS	Sobrecorrente
	Sobretensão
	Falha de comunicação com o VE
	Deteção de falta à terra
	Surto de tensão (controle)
CARACTERÍSTICAS ADICIONAIS	Medição de energia
	Identificação
	Interação com o usuário
	ANATEL
NORMAS ATENDIDAS	IEC 62955
	IEC 61851-1
	IEC 61439-2
	OCPP 1.6 J193N
COMUNICAÇÃO	RFID
	WEMOB® Management Platform
	Wi-Fi
	4G LTE Cat M1 ou LTE Cat NB1
	Ethernet

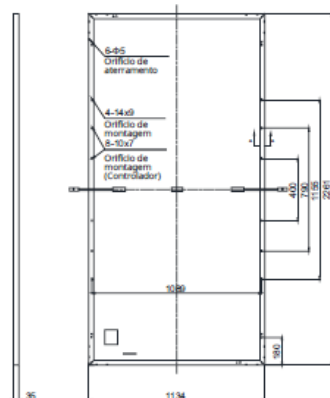
WALL	PARKING
WEMOB-W-007-W-R-1T1	WEMOB-W-007-W-R-1T2
WEMOB-P-023-W-R-1T2	WEMOB-P-023-W-R-1T2
WEMOB-P-046-W-E-4G-R-1T2	WEMOB-P-046-W-E-4G-R-1T2
WEMOB-P-046-W-E-4G-R-1T2	WEMOB-P-046-W-E-4G-R-1T2
16089163	15744306
15846064	15709966
15361450	
100-240 V CA ±10% F+N+T/F-F-T	100-240 V CA F+N+T/F-F-T ou 100-240 V CA ±10% 3F+N+T
50/60 Hz ±5%	
6 a 32 A	
7,4 kW até 7,4 kW ¹⁾	22 kW até 22 kW ¹⁾
	44 kW 2 x até 22 kW ¹⁾
	Conforme tensão de alimentação
	6 a 32 A por fase
1 cabo com conector	2 cabos com conectores
5 metros	Inclusa
-25 °C a 50 °C	
IP65	
426 x 293 x 144 mm	536 x 355 x 156 mm
426 x 293 x 254 mm	536 x 355 x 266 mm
6 kg	12 kg
	14 kg
Incluso	
Incluso	
Incluso	
RCD - 30 mA CA e 6 mA CC	
Incluso - via variador	
Inclusa	
LEDs	LEDs e Tela LCD
Automático / RFID / Software de gestão ²⁾	
Sim	
Sim	
Sim	
Sim	
Incluso	
Incluso (cartões RFID não inclusos, podem ser adquiridos separadamente)	
Opção ³⁾ (assinatura não inclusa, pode ser adquirida separadamente)	
Incluso	
Incluso ³⁾ (cartão SIM e plano de dados não inclusos)	
Incluso	

Notas: 1) A potência de saída depende da tensão e corrente de alimentação. Para obter a potência máxima, é necessário alimentar na tensão e corrente máximas.
2) O software de gestão não é obrigatório para o funcionamento da estação, mas pode ser adquirido caso desejado. Consulte mais informações na página 15, seção "Plataforma WEMOB".
3) Deverá ser providenciado pelo cliente um chip bem como a escolha de operadora e o pagamento pelos serviços de comunicação de dados são de responsabilidade do cliente.

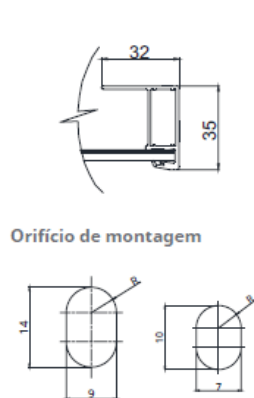
A.2 DATASHEET MÓDULO CANADIAN SOLAR

DESENHO DE ENGENHARIA (mm)

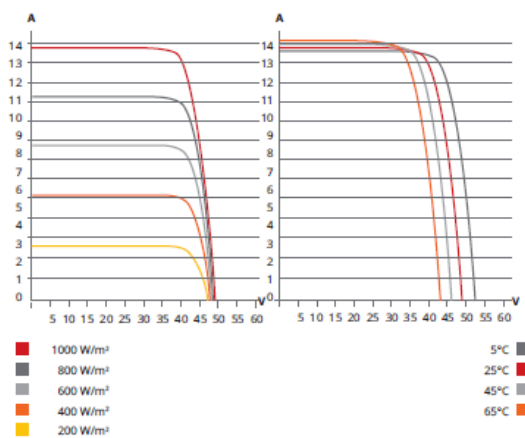
Vista traseira



Seção transversal do quadro A-A



CS6W-530MS / CURVAS I-V



DADOS ELÉTRICOS | STC*

CS6W	525MS	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS
Máx. Potência Nominal (Pmax)	525 W	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W
Opt. Tensão de Operação (Vmp)	40,7 V	40,9 V	41,1 V	41,3 V	41,5 V	41,7 V
Opt. Corrente de Operação (Imp)	12,90 A	12,96 A	13,02 A	13,08 A	13,14 A	13,20 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	48,6 V	48,8 V	49,0 V	49,2 V	49,4 V	49,6 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	13,75 A	13,80 A	13,85 A	13,90 A	13,95 A	14,00 A
Eficiência de Módulo	20,5%	20,7%	20,9%	21,1%	21,3%	21,5%
Temperatura de Operação	-40°C ~ +85°C					
Máx. Tensão de Sistema	1500V (IEC/UL) ou 1000V (IEC/UL)					
Desempenho antichamas do módulo	TIPO 1 (UL 61730 1500V) ou TIPO 2 (UL 61730 1000V) ou CLASSE C (IEC 61730)					
Máx. valor nominal do fusível de série	25 A					
Classe da aplicação	Classe A					
Tolerância de potência	0 ~ + 10 W					

* Sob condições de teste padrão (STC), irradiância de 1000 W/m², espectro AM 1,5 e temperatura de célula de 25°C.

DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo de célula	Monocristalina
Arranjo de células	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensões	2261 X 1134 X 35 mm (89,0 X 44,6 X 1,38 in)
Peso	27,8 kg (61,3 lbs)
Capa dianteira	Vidro temperado de 3,2 mm
Quadro	Liga de Alumínio Anodizado
Caixa J	IP68, 3 diodos de bypass
Cabo	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Comprimento do cabo (Incluindo conector)	410 mm (16,1 pol.) (+) / 290 mm (11,4 pol.) (-) ou comprimento personalizado*
Conector	Série T4 ou H4 UTX ou MC4-EVO2
Por palete	30 peças
Por contêiner (40' HQ)	600 peças

* Para informações detalhadas, contate seu Representante de Vendas ou Representante Técnico local.

DADOS ELÉTRICOS | NMOT*

CS6W	525MS	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS
Máx. Potência Nominal (Pmax)	392 W	396 W	400 W	403 W	407 W	411 W
Opt. Tensão de Operação (Vmp)	38,0 V	38,2 V	38,4 V	38,6 V	38,8 V	39,0 V
Opt. Corrente de Operação (Imp)	10,33 A	10,37 A	10,42 A	10,45 A	10,49 A	10,54 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	45,8 V	46,0 V	46,2 V	46,4 V	46,6 V	46,8 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	11,09 A	11,13 A	11,17 A	11,21 A	11,25 A	11,30 A

* Sob temperatura nominal de operação do módulo (NMOT), irradiância de 800 W/m², espectro AM 1,5, temperatura ambiente de 20°C e velocidade do vento de 1 m/s.

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificação	Dados
Coefficiente de Temperatura (Pmax)	-0,34 % / °C
Coefficiente de Temperatura (Voc)	-0,26 % / °C
Coefficiente de Temperatura (Isc)	0,05 % / °C
Temperatura Nominal de Operação do Módulo	42 ± 3°C

A.3 DATASHEET INVERSOR GROWATT

Ficha de dados	MAC 50KTL3-X LV	MAC 60KTL3-X LV
Dados de entrada		
Máx. potência CC	75000W	90000W
Máxima tensão de CC		1100V
Tensão de partida		250V
Tensão nominal	600V	600V
Faixa de tensão FV		200V-1000V
Tensão CC de carga total	600V-850V	600V-850V
Máx. corrente de entrada por MPPT	50A/37.5A/37.5A	50A/50A/50A
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	3/4+3+3	3/4+4+4
Dados de saída (CA)		
Potência nominal de saída CA	50000W	60000W
Potência aparente máxima de CA	55500VA	66600VA
Tensão nominal de saída	220V/380V	220V/380V
Frequência de rede CA		50/60 Hz
Corrente máxima de saída	80.5A	96.6A
Fator de potência		0.8I-0.8c
THDi		<3%
Tipo de conexão da rede CA	3W+N+PE	3W+N+PE
Eficiência		
Máxima eficiência		98.8%
Eficiência europeia		98.5%
Eficiência MPPT		99.9%
Dispositivos de proteção		
Proteção de polaridade reversa de CC		sim
Interruptor CC		sim
Proteção de sobretensão CC		Tipo II
Monitoramento de falta à terra		sim
Proteção contra curto-circuito de saída		sim
Proteção de sobretensão CA		Tipo II
Dados Gerais		
Dimensões (L/A/P)		680/508/281mm
Peso		≤52kg
Faixa de temperatura operacional		-25°C ... +60°C
Humidade relativa		0~100%
Altitude		4000m
Auto-consumo		<1W
Topologia		Sem transformador
Forma de resfriamento		Arefecimento inteligente
Características		
Exibição		OLED+LED/WIFI+APP
Interfaces:USB/RS485		sim/sim
Garantia: 10 anos		Sim
IEC61000-6/3,IEC 62109-1/2, IEC 61727, IEC 62116		

A4. Tabelas: NBR 5410 E NBR 16612

Tabela 37 - NBR 5410 2004

Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: EPR ou XLPE

Temperatura no condutor: 90°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1 122	923	711	596
800	885	792	805	721	1 158	1020	952	837	1 311	1 074	811	679
1 000	1014	908	923	826	1332	1 173	1 088	957	1 515	1 237	916	767
Alumínio												
16	64	58	60	55	79	71	72	64	84	76	73	61
25	84	76	78	71	105	93	94	84	101	90	93	78
35	103	94	96	87	130	116	115	103	126	112	112	94
50	125	113	115	104	157	140	138	124	154	136	132	112
70	158	142	145	131	200	179	175	156	198	174	163	138
95	191	171	175	157	242	217	210	188	241	211	193	164
120	220	197	201	180	281	251	242	216	280	245	220	186
150	253	226	230	206	323	289	277	248	324	283	249	210
185	288	256	262	233	368	330	314	281	371	323	279	236
240	338	300	307	273	433	389	368	329	439	382	322	272
300	387	344	352	313	499	447	421	377	508	440	364	308
400	462	409	421	372	597	536	500	448	612	529	426	361
500	530	468	483	426	687	617	573	513	707	610	482	408
630	611	538	556	490	794	714	658	590	821	707	547	464
800	708	622	644	566	922	830	760	682	958	824	624	529
1 000	812	712	739	648	1061	955	870	780	1108	950	706	598

Tabela C1 NBR 16612

Tabela C.1 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 20 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C

Seção mm ²	Instalação ao ar livre protegida do sol				Instalação ao ar livre exposta ao sol			
	Modo de instalação				Modo de instalação			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1,5	29	28	33	29	26	25	30	26
2,5	39	38	44	39	35	34	41	35
4	51	51	58	52	46	45	54	46
6	65	65	74	66	58	57	69	59
10	91	90	104	93	80	80	95	82
16	120	120	137	124	106	106	125	110
25	160	161	182	166	139	140	165	146
35	199	201	226	208	172	174	205	183
50	251	254	285	264	215	219	256	231

Tabela P13 – Dados cabo flexicom antichama 450/750V (Retirado do catálogo do fabricante)

SEÇÃO NOMINAL (mm ²)	CLASSE ENCOR.	DIÂMETRO DO CONDUTOR (mm)	ESPESSURA DA ISOLAÇÃO (mm)	DIÂMETRO EXTERNO (mm)	PESO LÍQUIDO (kg/100 m)	RESISTÊNCIA ELÉTRICA MÁX. Ω/km a 20 °C	COR DA ISOLAÇÃO	ACOND.
0,5	C4	0,9	0,9	2,15	0,90	39,00		
0,75	C4	1,1	1,1	2,25	1,15	26,00		
1	C4	1,3	1,3	2,5	1,41	19,50		
1,5	C4	1,5	1,5	2,8	1,94	13,30		
2,5	C4	1,9	1,9	3,45	3,00	7,98		
4	C4	2,5	2,5	3,9	4,45	4,95		
6	C4	3,0	3,0	4,55	6,30	3,30		
10	C5	4,0	4,0	5,9	10,9	1,91		
16	C5	5,1	5,1	6,8	16,0	1,21		
25	C5	6,7	6,7	8,9	25,3	0,780		
35	C5	7,9	7,9	10,0	34,3	0,554		
50	C5	9,5	9,5	12,3	49,8	0,386		
70	C5	11,1	11,1	14,0	67,6	0,272		
95	C5	13,0	13,0	16,0	89,0	0,206		
120	C5	14,6	14,6	17,8	110,0	0,161		
150	C5	16,4	16,4	19,8	138,0	0,129		
185	C5	17,9	17,9	22,0	168,0	0,106		
240	C5	20,6	20,6	24,4	222,0	0,0801		
300	C5	23,0	23,0	27,8	283,0	0,0641		
400	C5	27,0	27,0	32,2	382,7	0,0486		
500	C5	30,0	30,0	35,8	485,2	0,0384		

SEÇÕES NOMINAIS APENAS SOB CONSULTA.

A5. Ficha técnica Renault Kwid E-tech

especificações técnicas

Arquitetura	carroceria monobloco, monovolume, 4 lugares, 4 portas
Motor	elétrico, síncrono de ímãs permanentes com redutor integrado
Alimentação	baterias de íon-lítio
Bateria	26,8 kWh
Potência máxima (ABNT)	65 cv
Torque máximo (ABNT)	11,5 kgfm
Rodas e pneus	175/70 R14
Freios	discos ventilados na dianteira e tambor na traseira
Direção	elétrica com assistência variável
Câmbio	transmissão automática: uma marcha à frente e uma à ré
Autonomia (PBEV)	185 km*
Porta de carregamento	AC: CCS Type 2 DC: CCS Combo 2
Carregador portátil	127V/220V (2,2 kW max - 220V_10A) - tomada com pino de 20A necessária
Tempo de recarga	recarga rápida DC 30 kW (15-80%) - 40 min wallbox AC 7,4 kW (15-80%) - 2h54 carregador portátil 220V 10A (15-80%) - 8h57
Porta-malas	290 litros
Peso em ordem de marcha	977 kg
Peso da bateria	188 kg
Velocidade máxima	130 km/h
Aceleração 0-50 km/h	4,1 segundos
Aceleração 0-100 km/h	14,6 segundos

A6. Ficha técnica Renault Kangoo E-tech

motorizações E-Tech

	Cargo
Motorização	
Motor	elétrico
Potência máxima kW (cv) Normal/ECO mode	90 kW (120 cv) / 55 kW (75 cv)
Torque máximo ABNT	25,0 kgfm
Alimentação	baterias de íon-lítio
Regeneração de energia	3 modos de regeneração de frenagem
Bateria	
Capacidade (kWh)	45
Autonomia PBEV (km) ⁽¹⁾	210
Capacidade de recarga	AC: 2,3 kW + 3,7 kW + 7,3 kW + 11 kW + 22 kW DC: 80 kW
Peso da bateria (kg)	250
Câmbio	
Tipo	caixa automática de relação única
Pneus	
Medida	195/65 R16C
Massa	
Carga útil (kg)	até 690 kg
Massa máxima rebocável (com freios/sem freios) (kg)	1.500 kg / até 750 kg

(1) PBEV (Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular) - Inmetro.

A7. Ficha técnica JAC iev330P

JAC iEV330P

Especificações técnicas



DIMENSÕES (MM)

Dimensões totais - Comp. x Larg. X Alt. (mm)	5.325 x 1.880 x 1.850
Dimensões totais Caçamba- Comp. x Larg. X Alt. (mm)	1.520 x 1.520 x 470
Entre Eixo (mm)	3.090
Mínima Altura livre do solo em PBT (mm)	205
Lotação	Condutor + 4 Passageiros

PRINCIPAIS PARÂMETROS - PESOS

Peso em ordem de Marcha (Tara)	2.200
Peso Bruto Total (kg)	3.000
Capacidade Máxima de Carga Útil (kg)	800
Capacidade de rampa em PBT (%)	30%

PERFORMANCE

Velocidade Máxima	100 km/h
Tipo de Motor	100% elétrico
Potência Máxima (kW / cv)	150 / 204
Torque Máximo (N.m)	295
Autonomia Método NEDC (km)	330
Autonomia velocidade a 60km/h	400
Tração	4x2

BATERIA DE TRACÇÃO

Tipo de Bateria	LFP-Fosfato de Ferro-Lítio
Capacidade de energia (kWh)	65,3 kWh
Voltagem	345,6 V
Fabricante	GUOXUAN

SISTEMA DE CARREGAMENTO - INTERFACE DAS TOMADAS

Tomada padrão de carregamento	GBT
Tomada padrão de carregamento	GBT

SISTEMA DE CARREGAMENTO - TEMPOS

Carregamento AC WALLBOX (lento) (20%-100%)	8h40min
Carregamento DC (Rápido) (20%-100%) 50 Kwh	1h

SUSPENSÃO

Suspensão dianteira	Independentes MacPherson
Suspensão traseira	feixe de molas

FREIO

Tipo	Hidráulico (ABS + ESC + EBD)
Dianteira	Discos Ventilados
Traseiro	Tambor

RODAS E PNEUS

Rodas em Liga de Alumínio Aro 18	•
Pneus	265/60 R18

SEGURANÇA

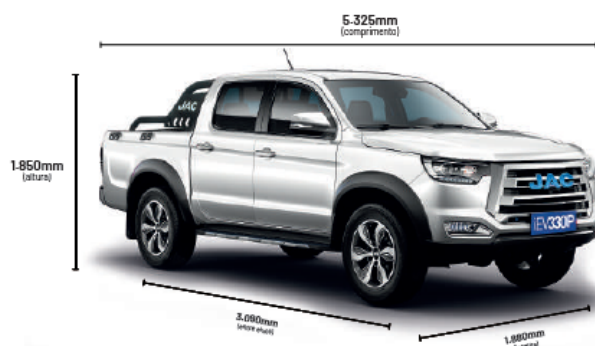
Chave com destravamento remoto das portas	•
Airbags Duplo frontal	•
Cintos de segurança com três pontos	•
Câmera de ré	•
Sensor de estacionamento Traseiro	•
Travamento automático das portas á 15km/h	•
Travamento central das portas	•
Proteção de desligamento automatico para colisão	•
Corte automático da alta tensão pós colisão	•
Desbloqueio automático das portas pós colisão	•

CONFORTO E TECNOLOGIA

Modo de Condução ECO/Normal	•
Sistema de regeneração durante a frenagem	•
Direção eletro-hidráulica	•
Ar condicionado automático	•
Piloto Automático	•
iPedal	•
DRL - Luzes diurnas em LED	•
Faróis com regulagem elétrica de altura	•
Faróis e lanternas de neblina	•
Vidros Elétricos	•
Espelhos retrovisores elétricos	•
Travamento automático das portas	•
Computador de bordo	•
Painel de instrumento em LED	•
Apoio de braço dianteiro	•

MULTIMÍDIA

Central multimídia com tela de 10.25" em LCD	•
01 Entrada USB console central	•



A8. Diagrama multifilar completo do sistema

