

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FEELT – FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE
CARREGADORES CONVENCIONAIS POR UM CARREGADOR RÁPIDO EM
ESTAÇÃO COLETIVA DE RECARGA VEICULAR

LUCAS NASCIMENTO PACHECO

UBERLÂNDIA – MG

2025

LUCAS NASCIMENTO PACHECO

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE
CARREGADORES CONVENCIONAIS POR UM CARREGADOR RÁPIDO EM
ESTAÇÃO COLETIVA DE RECARGA VEICULAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Nunes Santos

UBERLÂNDIA – MG

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

P116 2025	<p>Pacheco, Lucas Nascimento, 2002- Análise de Viabilidade Econômica para a Substituição de Carregadores Convencionais por um Carregador Rápido em Estação Coletiva de Recarga Veicular [recurso eletrônico] / Lucas Nascimento Pacheco. - 2025.</p> <p>Orientador: Ivan Nunes Santos. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia Elétrica. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Engenharia elétrica. I. Santos, Ivan Nunes, 1979-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.</p> <p>CDU: 621.3</p>
--------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

LUCAS NASCIMENTO PACHECO

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE
CARREGADORES CONVENCIONAIS POR UM CARREGADOR RÁPIDO EM
ESTAÇÃO COLETIVA DE RECARGA VEICULAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Nunes Santos

Uberlândia, 07 de maio de 2025

Banca Examinadora:

Ivan Nunes Santos – Doutor (UFU)

Paulo Henrique Oliveira Rezende – Doutor (UFU)

Vinícius Henrique Farias Brito – Mestre/Doutorando (UFU)



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	1449BI - Graduação em Engenharia Elétrica: Bacharelado - Integral				
Defesa de:	FEELT31917 - Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica				
Data:	07/05/2025	Hora de início:	9h	Hora de encerramento:	10h
Matrícula do Discente:	12011EEL002				
Nome do Discente:	Lucas Nascimento Pacheco				
Título do Trabalho:	Análise de Viabilidade Econômica para a Substituição de Carregadores Convencionais por um Carregador Rápido em Estação Coletiva de Recarga Veicular				
A carga horária curricular foi cumprida integralmente?		(X) Sim () Não			

Reuniu-se, em plataforma digital de comunicação, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, assim composta: **Dr. Paulo Henrique Oliveira Rezende (FEELT/UFU); Me. Vinícius Henrique Farias Brito (FEELT/UFU); e Dr. Ivan Nunes Santos (FEELT/UFU)**, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa, **Dr(a). Ivan Nunes Santos**, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

(X) Aprovado(a) sem nota.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ivan Nunes Santos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 07/05/2025, às 10:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Henrique Oliveira Rezende, Professor(a) do Magistério Superior**, em 07/05/2025, às 10:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vinícius Henrique Farias Brito, Usuário Externo**, em 07/05/2025, às 10:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6294420** e o código CRC **4B04072C**.

Referência: Processo nº 23117.027639/2025-97

SEI nº 6294420

Dedico a meus pais, pelo exemplo de caráter,
honestidade e perseverança.

AGRADECIMENTOS

Enfrentei desafios e aprendi lições que me transformaram profundamente. Ao concluir esta etapa, é com respeito e reconhecimento que volto meu olhar para todos que, de alguma forma, sustentaram meu caminho com apoio, ensinamentos e incentivo. Agradeço ao professor-orientador Ivan pela dedicação e disposição na elaboração deste trabalho. À Universidade Federal de Uberlândia, expresso meu sincero reconhecimento, instituição onde me formei como profissional e ser humano, partindo convicto de que sou melhor do que quando aqui cheguei.

Aos meus pais, Adriana e José Augusto, pilares sobre os quais ergui minha vida e meus sonhos, presto sincera homenagem. Mesmo quando diferenças interpuseram-se entre nós, vosso amor inabalável e dedicação constante iluminaram cada etapa desta jornada e tornaram possível a conquista que ora se consagra. À minha irmã, Lissa, e à sua filha, minha querida sobrinha Alice, agradeço pela ternura e pela alegria que semearam em meus dias de estudo, oferecendo-me cumplicidade e um refúgio de afeto quando o cansaço ameaçava vencer-me.

Aos amigos que, com companheirismo inabalável, compartilharam comigo esta jornada, em especial João Vitor e Guilherme Neto, pelos quais dedico meu mais profundo apreço. Entre risos, brindes e uma amizade firme desde o início até este momento, cada instante ao lado de vocês foi um presente, um suporte que me fortaleceu nas horas alegres e nas difíceis. Sem vossa presença e lealdade, este caminho teria sido bem mais árduo e as conquistas menos completas.

À minha amada Jayne, as palavras são pequenas diante de tudo o que você significa para mim. Em cada passo, tua presença foi o alicerce que me sustentou, tua paciência a luz que me guiou e teu amor a força que me fez acreditar, mesmo quando tudo parecia difícil. Não há como mensurar o impacto do teu apoio incondicional e, no íntimo do meu coração, estou certo de que, ao olhar para esta trajetória no futuro, qualquer omissão ao teu papel seria uma falha que jamais poderia permitir. O amor que sinto por você é mais do que uma palavra ou gesto: é a certeza de que, ao seu lado, encontrei um propósito maior para cada desafio enfrentado e para cada etapa concluída. Nada receio. Tenho a ciência de que, contigo, todas as dificuldades podem ser superadas, por mais duras que se apresentem, venham elas de onde vierem, mesmo quando partem de quem mais amamos, e cada passo é firme, seguro e guiado pela força de nosso amor.

Hoje, solenemente, ergo minha voz em humilde gratidão. **Persisti** quando os ventos contrários ciciavam desistência. **Prudência** guiou cada passo, para que nenhum ideal se perdesse no ímpeto da pressa. **Resiliência** sustentou-me nas quedas, reerguendo-me como aço temperado no fogo da adversidade. **Inquieto** por conhecimento, sorvi da fonte inesgotável do estudo. **Meticuloso**, lapidei cada detalhe, como artífice zeloso da própria obra. **Engajado** neste propósito, entrego este trabalho com a convicção de quem venceu, mas não cessará de lutar.

“Medo é o caminho para o lado sombrio. O medo leva à raiva, a raiva leva ao ódio, o ódio leva ao sofrimento.” (YODA, Star Wars: Episódio I – A Ameaça Fantasma, 1999).

RESUMO

A mobilidade elétrica tem se consolidado como uma alternativa viável e sustentável para a descarbonização do setor de transportes. No entanto, a expansão dessa tecnologia depende diretamente da existência de uma infraestrutura de recarga acessível, eficiente e tecnicamente compatível com as novas demandas de mercado. No Brasil, embora o número de veículos elétricos esteja em crescimento constante, a infraestrutura de recarga ainda apresenta limitações, especialmente no que se refere à disponibilidade de carregadores rápidos (DC), fundamentais para melhorar a experiência de uso e aumentar a atratividade da eletromobilidade em centros urbanos. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da substituição de três carregadores convencionais AC de 22 kW por um carregador rápido DC de 30 kW na estação de recarga coletiva instalada no Center Shopping Uberlândia, operada pela empresa Lavita Energia. A metodologia adotada baseia-se em um estudo de caso com dados reais de utilização da estação, modelagem financeira dos dois cenários de infraestrutura (AC e DC), e aplicação de indicadores econômicos tradicionais, como Payback, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Além disso, foram realizadas simulações de Monte Carlo com o intuito de incorporar variabilidade estatística e incertezas operacionais às análises. Os resultados obtidos evidenciam que a substituição é viável sob determinadas condições operacionais, especialmente quando se considera a melhora no aproveitamento da estação, a redução no tempo de recarga e o aumento potencial na rotatividade dos usuários. A análise também revela a importância de políticas públicas, incentivos financeiros e planejamento urbano adequado para tornar esse tipo de solução economicamente atraente no cenário nacional. O trabalho contribui para a discussão sobre a eficiência da infraestrutura de recarga no Brasil e fornece subsídios para decisões estratégicas voltadas à ampliação da mobilidade elétrica em ambientes comerciais urbanos.

Palavras-chave: Mobilidade elétrica; Infraestrutura de recarga; Carregador rápido; Viabilidade econômica; Simulação de Monte Carlo.

ABSTRACT

Electric mobility has been consolidated as a viable and sustainable alternative for the decarbonization of the transportation sector. However, the expansion of this technology depends directly on the availability of an accessible and efficient charging infrastructure that meets the emerging demands of the market. In Brazil, although the number of electric vehicles has grown consistently, the charging infrastructure still faces limitations, especially regarding the availability of fast DC chargers, which are essential to enhance user experience and increase the attractiveness of electromobility in urban centers. In this context, this study aims to evaluate the technical and economic feasibility of replacing three conventional 22 kW AC chargers with a 30 kW DC fast charger at the collective charging station located at Center Shopping Uberlândia, operated by Lavita Energia. The methodology is based on a case study supported by real usage data, financial modeling of both infrastructure scenarios (AC and DC), and application of traditional economic indicators such as Payback, Net Present Value (NPV), and Internal Rate of Return (IRR). Additionally, Monte Carlo simulations were conducted to incorporate statistical variability and operational uncertainties into the analysis. The results indicate that the proposed replacement is feasible under specific operational conditions, particularly when considering the improved utilization of the station, reduced charging time, and increased user turnover potential. The analysis also highlights the importance of public policies, financial incentives, and adequate urban planning to make this type of solution economically attractive in the national context. This study contributes to the debate on charging infrastructure efficiency in Brazil and provides strategic insights for expanding electric mobility in urban commercial environments.

Keywords: Electric mobility; Charging infrastructure; Fast charger; Economic feasibility; Monte Carlo simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estação de recarga veicular da Lavita Energia no Center Shopping Uberlândia	24
Figura 2 - Esquema de funcionamento dos carregadores CA e CC para veículos elétricos.....	38
Figura 3 - Principais padrões de conectores para carregamento de veículos elétricos utilizados no mundo	49
Figura 4 - Carregador AC WEG WEMob 22 kW instalado na estação analisada	60
Figura 5 - Carregador Rápido DC NeoCharge NDC30 proposto para substituição.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Crescimento de eletropostos no Brasil (dezembro/2020-agosto/2024)	20
Gráfico 2 - Distribuição das vendas de veículos leves eletrificados por regiões do Brasil – setembro/2024	21
Gráfico 3 - Evolução das vendas de veículos leves eletrificados no Brasil (2012-2024)	25
Gráfico 4 - Participação dos elétricos nas vendas de automóveis na Noruega (2010-2022)....	27
Gráfico 5 - Crescimento da participação dos veículos elétricos nas vendas de automóveis na China (2009-2022).....	28
Gráfico 6 - Evolução anual dos indicadores econômicos da infraestrutura atual (AC)	83
Gráfico 7 - Fluxo de caixa e fluxo de caixa descontado para a infraestrutura atual (AC)	84
Gráfico 8 - Fluxo de caixa descontado e fluxo de caixa acumulado descontado para a infraestrutura atual (AC).....	85
Gráfico 9 - Evolução anual dos indicadores econômicos da infraestrutura proposta (DC)	99
Gráfico 10 - Fluxo de caixa e fluxo de caixa descontado para a infraestrutura proposta (DC)	100
Gráfico 11 - Fluxo de caixa descontado e fluxo de caixa descontado acumulado para a infraestrutura proposta (DC).....	101
Gráfico 12 - Comparativo dos indicativos TIR e TMA em função do preço do kWh vendido	106
Gráfico 13 - Comparativo dos indicativos TIR e TMA em função da expectativa de crescimento da demanda	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vendas de veículos leves eletrificados por tecnologia – dezembro/2024.....	15
Tabela 2 - Série histórica de vendas de veículos leves eletrificados no Brasil (2012-2024) ...	16
Tabela 3 - Vendas de veículos leves eletrificados por estado – setembro/2024.....	19
Tabela 4 - Características típicas de carregadores AC e DC	40
Tabela 5 - Potência máxima de carregamento AC e DC suportada pelos veículos elétricos mais vendidos no Brasil em 2024	61
Tabela 6 - Parâmetros gerais da infraestrutura atual	71
Tabela 7 - Investimento e retorno da infraestrutura atual.....	71
Tabela 8 - Custos fixos mensais da infraestrutura atual	72
Tabela 9 - Resultados financeiros parciais diários para a estação de recarga atual.....	79
Tabela 10 - Dados para a infraestrutura atual.....	81
Tabela 11 - Dados anuais de fluxo de caixa para a infraestrutura atual	81
Tabela 12 - Indicadores financeiros para a infraestrutura atual.....	86
Tabela 13 - Parâmetros gerais da infraestrutura proposta	90
Tabela 14 - Investimento e retorno para a infraestrutura proposta.....	91
Tabela 15 - Custos fixos mensais para infraestrutura proposta	91
Tabela 16 - Capacidade das baterias dos veículos elétricos mais vendidos no Brasil em 2024	94
Tabela 17 - Resultados financeiros parciais diários para a estação de recarga proposta.....	97
Tabela 18 - Dados anuais para a infraestrutura proposta.....	98
Tabela 19 - Dados anuais de fluxo de caixa para a infraestrutura proposta	98
Tabela 20 - Indicadores financeiros para a infraestrutura proposta.....	102
Tabela 21 - Variação do preço do kWh e impacto nos indicadores financeiros	105
Tabela 22 - Variação da taxa de crescimento da demanda e impacto nos indicadores financeiros	107
Tabela 23 - Comparativo entre os cenários estudados	109
Tabela 24 – Compilado de limitações do estudo e recomendações futuras	113
Tabela 25 – Compilado de possíveis estudos futuros e justificativas	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINC	Associação Brasileira da Internet das Coisas
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
AC	Corrente Alternada
BEV	Veículo Elétrico à Bateria
CCS	Sistema de Carga Combinado
CEMIG D	Companhia Energética do Estado de Minas Gerais Distribuição S.A.
CHAdEMO	Charge de Move
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
DC	Corrente Contínua
GB/T	Guobiao/Tuijian
HEV	Veículo Elétrico Híbrido
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
IEA	Agência Internacional de Energia
MOSFET	Transistor de Efeito de Campo de Metal-Óxido-Semicondutor
MOVER	Programa de Mobilidade Verde
OBC	Carregador de Bordo
SiC	Carbeto de Silício
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UL	Laboratórios Underwriters
V2G	Veículo para a Rede
V2H	Veículo para a Residência
VPL	Valor Presente Líquido
EV	Veículo Elétrico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Importância da Infraestrutura de Recarga para Veículos Elétricos.....	18
1.3	Problemática Enfrentada e Motivação do Estudo	22
1.4	Objetivos do Estudo	23
1.4.1	Objetivo Geral	23
1.4.2	Objetivos Específicos.....	23
1.5	Justificativa	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	Veículos Elétricos e Infraestrutura de Recarga	27
2.1.1	Panorama Global dos Veículos Elétricos e Infraestrutura de Recarga	27
2.1.2	Desafios e Oportunidades no Mercado Brasileiro de Veículos Elétricos	30
2.1.3	Impacto das Políticas Públicas e Incentivos no Setor de Mobilidade Elétrica	31
2.1.4	Tecnologias Emergentes na Infraestrutura de Recarga e Sustentabilidade.....	33
2.2	Tipos de Carregadores.....	35
2.2.1	Carregadores AC	35
2.2.2	Carregadores DC	37
2.3	Comparação de Carregadores AC e DC: Desempenho e Eficiência.....	41
2.3.1	Desempenho e Tempo de Carregamento	41
2.3.2	Eficiência Energética	41
2.3.3	Qualidade da Energia e Impactos na Rede Elétrica	42
2.3.4	Aplicações e Cenários de Uso.....	42
2.3.5	Custo e Complexidade de Instalação	43
2.4	Topologias de Conversores e Eficiência Energética.....	44
2.4.1	Tipos de Conversores Utilizados em Carregadores DC.....	44
2.4.2	Eficiência Energética e Redução de Perdas	45
2.4.3	Avanços Tecnológicos em Conversores para Carregamento Rápido	45
2.5	Padrões de Conectores e Compatibilidade Global	46
2.5.1	Tipos de Conectores para Carregamento AC e DC	46
2.5.2	Desafios de Compatibilidade Global	49
2.5.3	Padrões de Qualidade e Certificação.....	50
2.6	Tendências Futuras em Carregadores e Inovações Tecnológicas	51
2.6.1	Carregamento Ultrarrápido	51

2.6.2	Integração com Redes Inteligentes (Smart Grids)	51
2.6.3	Avanços no Design das Estações de Recarga	52
2.6.4	Carregamento em Movimento (Indução Magnética)	53
2.6.5	Desafios e Potencial para o Futuro	53
2.7	Estudos de Caso Sobre Implementação de Estações de Recarga.....	54
2.7.1	Implementação em Centros Comerciais.....	54
2.7.2	Implementação em Condomínios e Residências.....	55
2.7.3	Implementação em Rodovias	56
2.7.4	Desafios Econômicos e Soluções para Implantação em Mercados Emergentes.....	56
2.7.5	Exemplos Práticos e Casos de Sucesso.....	57
3	METODOLOGIA	58
3.1	Caracterização do Estudo e Abordagem Adotada.....	58
3.2	Levantamento de Dados e Fontes Utilizadas	59
3.2.1	Dados Operacionais da Estação de Recarga	59
3.2.2	Fontes de Dados Externas	62
3.3	Estruturação da Análise de Viabilidade Econômica	62
3.3.1	Indicadores Econômicos Utilizados.....	62
3.3.2	Modelagem Financeira e Cenários.....	63
3.3.3	Integração de Dados Reais e Simulados	64
3.4	Ferramentas de Análise Econômica Utilizadas.....	64
3.4.1	Payback e Payback Descontado	65
3.4.2	Valor Presente Líquido (VPL)	66
3.4.3	Taxa Interna de Retorno (TIR).....	66
3.4.4	Taxa Mínima de Atratividade (TMA).....	66
3.4.5	Simulação de Monte Carlo Aplicada à Análise Econômica	67
4	ANÁLISE DE VIABILIDADE DA INFRAESTRUTURA ATUAL	70
4.1	Caracterização da Estação de Recarga Existente	70
4.1.1	Infraestrutura Atual da Estação de Recarga	70
4.1.2	Dados Iniciais para Modelagem Financeira da Infraestrutura Atual	71
4.1.3	Problemas Identificados e Objetivo da Análise	74
4.2	Modelagem Financeira Baseada em Dados Reais	75
4.2.1	Passo a Passo da Modelagem Financeira para a Infraestrutura Atual.....	75
4.2.2	Resultados Parciais da Infraestrutura Atual	77
4.2.3	Projeções Anuais da Infraestrutura Atual	79

4.3	Cálculo dos Indicadores Econômicos para a Infraestrutura Atual	85
4.4	Simulação de Monte Carlo Aplicada à Análise da Infraestrutura Atual	87
4.4.1	Amostras de Tempo Total de Uso Diário	87
4.4.2	Amostras de Tempo de Uso por Usuário	87
5	ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA A INFRAESTRUTURA PROPOSTA.....	89
5.1	Caracterização da Nova Estação de Recarga com Carregador DC.....	89
5.1.1	Infraestrutura Proposta da Estação de Recarga.....	89
5.1.2	Dados Iniciais para Modelagem Financeira da Infraestrutura Proposta	90
5.2	Modelagem Financeira com Base em Simulações.....	93
5.2.1	Passo a Passo da Modelagem Financeira para a Infraestrutura Proposta.....	94
5.2.2	Resultados Parciais da Infraestrutura Proposta	96
5.2.3	Projeções Anuais da Infraestrutura Proposta	97
5.3	Cálculo dos Indicadores Econômicos para a Infraestrutura Proposta.....	101
5.4	Simulação de Monte Carlo Aplicada à Nova Infraestrutura com Carregador DC.....	102
5.4.1	Geração de Amostras com Base nas Características das Baterias	103
5.4.2	Simulação de Ocupação Diária e Atendimentos.....	103
5.5	Análise de Sensibilidade	104
5.5.1	Variação do Preço do kWh Vendido.....	105
5.5.2	Variação da Taxa de Crescimento da Demanda	106
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	109
6.1	Comparação Entre os Dois Cenários e Impactos Econômicos	109
6.2	Principais Fatores que Influenciam a Viabilidade do Projeto.....	110
6.3	Limitações do Estudo e Implicações para Futuras Implementações.....	112
7	CONCLUSÃO	115
7.1	Síntese dos Principais Achados do Estudo.....	115
7.2	Recomendações e Perspectivas para Estudos Futuros	116
	REFERÊNCIAS	118
	APÊNDICE A – DADOS COMPLEMENTARES DAS ANÁLISES ECONÔMICAS	125

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O mercado de veículos elétricos tem demonstrado um crescimento acelerado nos últimos anos, impulsionado por uma combinação de fatores, como avanços tecnológicos, preocupações ambientais e incentivos governamentais. De acordo com estimativas globais, as vendas de veículos elétricos ultrapassaram a marca de 10 milhões de unidades em 2022, representando aproximadamente 14% de todos os veículos leves vendidos no mundo (ABVE, 2024). A Tabela 1 abaixo mostra as vendas de veículos elétricos por tecnologia em dezembro de 2024, destacando o crescimento de cada tipo de veículo. Como podemos observar, os veículos PHEV¹ dominam as vendas, seguidos pelos BEV² e HEV³, refletindo uma tendência crescente de adoção de tecnologias híbridas no Brasil.

Tabela 1 - Vendas de veículos leves eletrificados por tecnologia – dezembro/2024

VENDAS POR TECNOLOGIA - Dezembro/2024

ABVE

TECNOLOGIA	DEZ/24	NOV/24	JAN A DEZ/2024	EVOLUÇÃO (DEZ/NOV)
BEV	4.368	5.417	61.615	-19,4%
HEV	1.622	1.330	15.272	21,9%
HEV FLEX	1.426	1.556	20.277	-8,4%
MHEV	3.697	1.918	16.185	92,8%
PHEV	10.521	6.922	64.009	52,0%
Total geral	21.634	17.143	177.358	26,2%

Fonte: ABVE (2024).

Este crescimento reflete não apenas os avanços na eficiência e sustentabilidade dos EV’s⁴ em comparação aos veículos tradicionais movidos a combustão interna, mas também a

¹ Veículos elétricos híbridos plug-in
² Veículos elétricos à bateria
³ Veículos elétricos híbridos
⁴ Veículos elétricos

resposta do setor automotivo às metas de redução de emissões de gases de efeito estufa, adotadas por diversos países (IEA, 2023).

No Brasil, o mercado de EV's ainda é incipiente em comparação aos países desenvolvidos, mas a tendência de crescimento é clara. A tabela a seguir mostra a evolução histórica das vendas de veículos eletrificados no Brasil, desde 2012 até 2024. Como podemos observar na Tabela 2, houve um aumento notável nas vendas nos últimos anos, especialmente a partir de 2021, evidenciando a crescente adoção de veículos elétricos e híbridos, impulsionada por políticas públicas e inovações tecnológicas.

Tabela 2 - Série histórica de vendas de veículos leves eletrificados no Brasil (2012-2024)

SÉRIE HISTÓRICA DE VENDAS DE VEÍCULOS LEVES ELETRIFICADOS NO BRASIL
(BEV+PHEV+HEV+HEV FLEX+MHEV) - 2012 a dezembro/24

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	139	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	2.558	3.435	3.851	3.123	3.387	4.073	3.136	4.249	6.391	4.460	4.995	5.587	49.245
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	15.996	16.044	18.942	173.530**
TOTAL GERAL (2012 A 2024)													393.561**

** Valores NÃO incluem os modelos híbridos com motorização de 12V, lançados no mercado no quarto trimestre de 2024.

Fonte: ABVE (2024).

Em 2024, as vendas de veículos eletrificados, incluindo modelos híbridos e totalmente elétricos, ultrapassaram as projeções do setor, atingindo recordes históricos no mercado nacional (ABVE, 2024). Esse avanço tem sido impulsionado por políticas públicas que promovem a eletromobidade, como a isenção de impostos, subsídios à produção e importação, além de incentivos à instalação de fábricas no país — elementos que têm favorecido o crescimento da frota elétrica. No entanto, apesar dos progressos, persistem desafios estruturais, entre os quais se destacam os altos custos iniciais dos veículos (Gnann et al., 2018) e a limitação da infraestrutura de recarga, esta última considerada um dos principais entraves à adoção em larga escala da tecnologia nas redes de distribuição brasileiras (Dayrell & Rezende, 2024).

A infraestrutura de recarga emerge como um dos principais obstáculos para a adoção em larga escala de veículos elétricos, especialmente em mercados emergentes como o Brasil. A "ansiedade de alcance", o medo de ficar sem carga durante viagens longas, continua a ser uma barreira psicológica significativa para os consumidores. Para superar esse desafio, a expansão de estações de recarga rápida e a implementação de políticas públicas voltadas para o incentivo à construção de infraestrutura de recarga são fundamentais. Além disso, a integração das fontes de energia renováveis, como solar e eólica, nas estações de recarga é uma estratégia crescente para promover a sustentabilidade do setor de mobilidade elétrica (Santos e Pereira, 2023).

A evolução tecnológica também desempenha um papel crucial nesse crescimento. Inovações nas baterias de íon-lítio têm ampliado a autonomia dos EV's, enquanto os tempos de recarga continuam a ser reduzidos. Os custos totais de propriedade dos veículos elétricos têm diminuído, tornando-os uma alternativa economicamente viável em muitos mercados. Com o avanço da tecnologia, as soluções para recarga mais rápida e eficiente também têm se destacado, oferecendo maior conveniência para os consumidores e reduzindo o impacto da infraestrutura de recarga sobre a rede elétrica.

Em âmbito global, a adoção de veículos elétricos segue uma trajetória positiva. De acordo com dados da IEA⁵ (2023), o número de veículos elétricos no mercado global pode ultrapassar os 10% da frota total de veículos até 2030, uma meta ambiciosa que demanda grandes esforços na expansão de infraestrutura de recarga e na integração de energias renováveis. Embora o Brasil ainda esteja em um estágio inicial, o aumento constante das vendas e a implementação de políticas públicas têm contribuído para o crescimento gradual do setor, com perspectiva de expansão significativa nos próximos anos (ABVE, 2024).

Portanto, a contextualização do mercado de EV's destaca não apenas os desafios do setor, mas também a necessidade urgente de investimentos em infraestrutura de recarga. Com o aumento da adoção de veículos elétricos, torna-se essencial preparar o mercado brasileiro para a crescente demanda por energia elétrica e soluções tecnológicas que possibilitem a integração de EV's à rede elétrica de forma sustentável e eficiente.

⁵ Agência Internacional de Energia

1.2 Importância da Infraestrutura de Recarga para Veículos Elétricos

A infraestrutura de recarga é um dos pilares fundamentais para o crescimento sustentável do mercado de veículos elétricos. Ela não apenas viabiliza o uso cotidiano desses veículos, mas também desempenha um papel crucial na superação da chamada "ansiedade de alcance" — o receio dos consumidores em não encontrar pontos de recarga acessíveis durante suas viagens (Neaimeh et al., 2017). Esse fator psicológico é apontado como uma das principais barreiras à adoção em larga escala de EV's, tanto em mercados emergentes quanto desenvolvidos (Wolbertus et al., 2019). De fato, à medida que os consumidores se tornam mais conscientes da viabilidade dos veículos elétricos, a disponibilidade de estações de recarga rápidas e de fácil acesso torna-se essencial para assegurar o seu uso diário.

Países que lideram a eletrificação veicular, como Noruega e China, demonstram que o sucesso na adoção de EV's está diretamente relacionado à existência de redes de recarga amplamente distribuídas e acessíveis. Nessas regiões, políticas públicas têm promovido a instalação de estações de recarga rápida em locais estratégicos, como rodovias, centros comerciais e áreas urbanas densamente povoadas (Baumgarte et al., 2021). Além disso, a integração de tecnologias de recarga rápida com fontes de energia renovável, como solar e eólica, tem reduzido custos operacionais e contribuído para a sustentabilidade ambiental (Gnann et al., 2018).

No Brasil, a limitação da infraestrutura de recarga é um dos principais fatores que restringem o crescimento da eletromobilidade. Para viabilizar uma adoção mais ampla, torna-se essencial ampliar os investimentos em estações de recarga, com atenção especial à expansão da capacidade instalada e à adequação das redes de distribuição elétrica. Segundo Dayrell & Rezende (2024), a superação desse desafio exige planejamento coordenado entre os setores público e privado, visando assegurar o fornecimento de energia mesmo em horários de pico e diante de demandas crescentes por carregamento rápido.

O aumento significativo da infraestrutura de recarga no Brasil, como evidenciado no gráfico abaixo, tem sido fundamental para o crescimento da adesão a veículos elétricos. Desde 2020, a quantidade de eletropostos cresceu expressivamente, refletindo um aumento de 179% no número de postos de recarga.

Tabela 3 - Vendas de veículos leves eletrificados por estado – setembro/2024

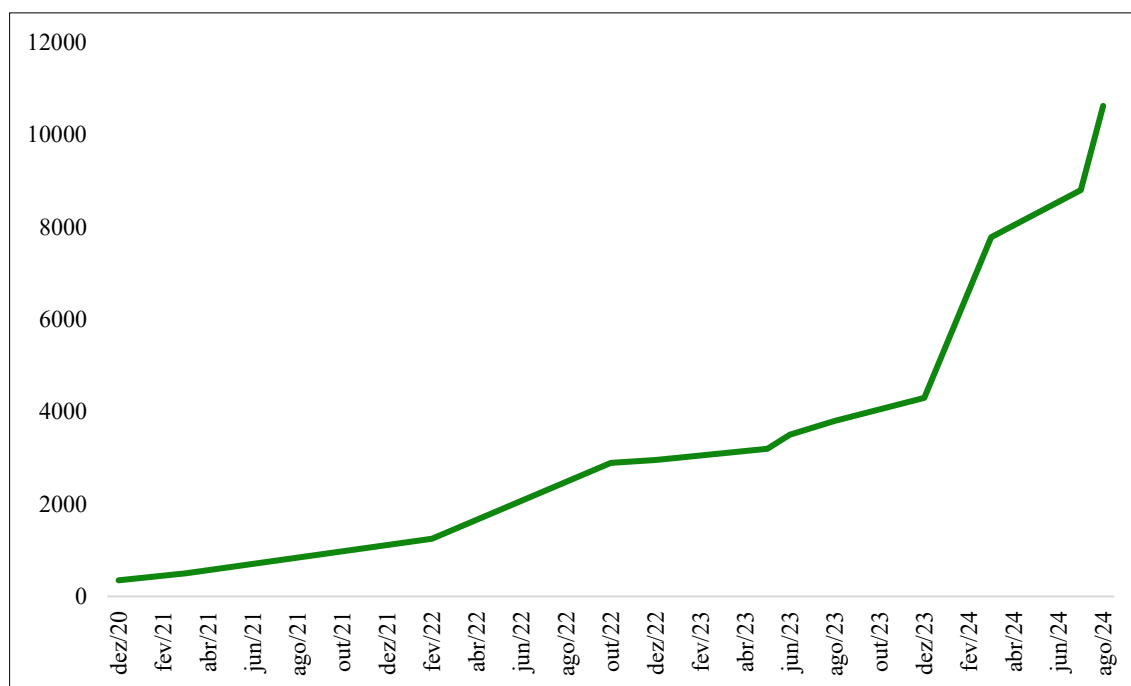
VENDAS VEÍCULOS LEVES ELETRIFICADOS POR ESTADO SET/2024			ABVE
Ranking	Estado	Qtd	
1º	SP	4047	
2º	RJ	1065	
3º	DF	1054	
4º	SC	873	
5º	PR	843	
6º	RS	810	
7º	MG	760	
8º	BA	531	
9º	GO	390	
10º	PE	385	
11º	ES	374	
12º	CE	329	
13º	MT	230	
14º	AM	204	
15º	AL	198	
16º	RN	177	
17º	MA	171	
18º	PA	170	
19º	PB	137	
20º	MS	119	
21º	PI	103	
22º	RO	91	
23º	SE	84	
24º	TO	46	
25º	RR	44	
26º	AC	16	
27º	AP	14	
Total Geral		13.265	

Fonte: ABVE (2024).

A Tabela 3 mostra as vendas de veículos elétricos por estado em setembro de 2024, destacando que São Paulo, Rio de Janeiro e Distrito Federal lideram as vendas. Esses estados possuem uma infraestrutura de recarga mais desenvolvida, refletindo a importância da disponibilidade de pontos de recarga para incentivar a adoção dos veículos eletrificados. Esse crescimento não apenas acompanha a tendência global, mas também reforça a necessidade de

expandir a rede de recarga para atender à crescente demanda por veículos elétricos, alinhando-se com as demandas emergentes de infraestrutura para a mobilidade sustentável.

Gráfico 1 - Crescimento de eletropostos no Brasil (dezembro/2020-agosto/2024)



Fonte: Elaborado pelo Autor com dados de ABVE (2025).

O número de eletropostos públicos e semi-públicos no país cresceu 22% entre novembro de 2024 e fevereiro de 2025, totalizando 14.827 unidades. Isso reflete um avanço importante, especialmente considerando o aumento de 60% nas estações de recarga rápida (DC), que já totalizam 2.430 unidades (ABVE, 2025).

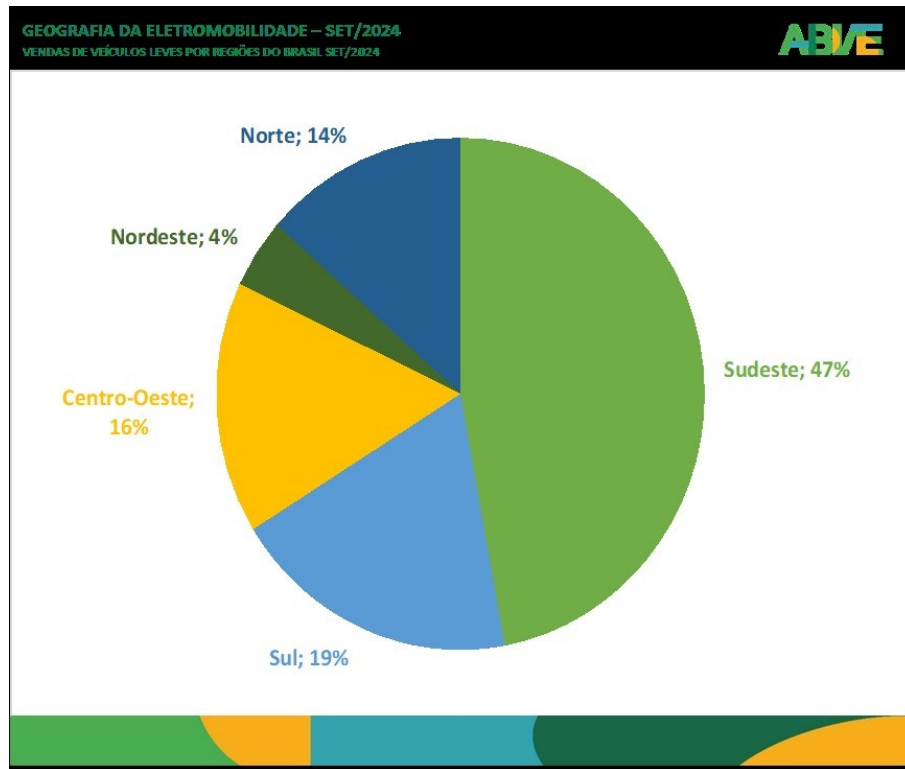
Além disso, iniciativas como as parcerias público-privadas têm demonstrado grande potencial para acelerar essa expansão. A Uber, por exemplo, se associou à ABVE⁶ para impulsionar a mobilidade elétrica no Brasil, com a instalação de carregadores rápidos em pontos estratégicos. Com isso, o Brasil começa a caminhar para um futuro mais elétrico, evidenciado pelo crescimento de 500% na frota de veículos elétricos cadastrados na plataforma da Uber em 2024 (Cezar, 2025). Esse crescimento reflete o impacto direto que a expansão da infraestrutura de recarga tem sobre a adoção de EV's.

O cenário brasileiro também ganha força com a interiorização da eletromobilidade. De acordo com a ABVE, 46% das vendas de veículos eletrificados no Brasil ocorreram fora das

⁶ Associação Brasileira do Veículo Elétrico

capitais, um reflexo da expansão da infraestrutura para regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos. No entanto, a interiorização da infraestrutura ainda enfrenta desafios, como a necessidade de instalação de mais estações de recarga rápida em rodovias e regiões de grande tráfego.

Gráfico 2 - Distribuição das vendas de veículos leves eletrificados por regiões do Brasil – setembro/2024



Fonte: ABVE (2024).

O Gráfico 2 ilustra como as vendas de veículos eletrificados estão distribuídas pelo Brasil, destacando que a região Sudeste concentra a maior parte das vendas. Porém, o Norte, Nordeste e Centro-Oeste também começam a ganhar destaque, evidenciando a evolução da infraestrutura de recarga em várias regiões do país.

Portanto, o desenvolvimento de uma infraestrutura de recarga robusta é essencial não apenas para sustentar o crescimento do mercado de EV's, mas também para impulsionar a transição global rumo a sistemas de transporte mais limpos e eficientes. A conexão entre investimentos em infraestrutura e o aumento da adesão a veículos elétricos reforça a necessidade de estratégias bem planejadas e alinhadas às demandas específicas de cada mercado (Schroeder et al., 2012). Ações como o crescimento já demonstrado na instalação de pontos de recarga em 2024 e a previsão de ampliação de mais de 10.000 eletropostos até o final de 2025

(ABVE, 2024) demonstram o potencial transformador que a expansão de infraestrutura de recarga tem para acelerar a transição para a mobilidade elétrica no Brasil.

1.3 Problemática Enfrentada e Motivação do Estudo

A infraestrutura de recarga no Brasil enfrenta desafios significativos, com a carência de estações de recarga rápidas e eficientes, fator crucial para o avanço da mobilidade elétrica. Embora o país tenha registrado um crescimento na frota de veículos elétricos nos últimos anos, a infraestrutura de apoio ainda não acompanha esse desenvolvimento de forma satisfatória, resultando em limitações operacionais e financeiras para os estabelecimentos que investem nesse setor, como é o caso da estação de recarga do Center Shopping Uberlândia, operada pela Lavita Energia.

Esta instalação, composta por carregadores convencionais AC de 22kW, foi estrategicamente posicionada em um shopping center com alto fluxo de veículos, mas o retorno financeiro gerado não atendeu às expectativas. O uso subótimo dos carregadores AC reflete não apenas uma baixa rotatividade de clientes, mas também uma insatisfação dos usuários, que enfrentam tempos de recarga mais longos. A falta de dados concretos sobre a utilização da infraestrutura e o comportamento imprevisível dos consumidores contribuem para a dificuldade em prever a demanda real e ajustar a operação de forma eficiente.

A ausência de carregadores rápidos DC, que apresentam tempos de recarga significativamente menores, é outro ponto crítico. Carregadores rápidos são essenciais para atrair consumidores em locais estratégicos, como shoppings, onde a experiência do usuário deve ser otimizada, permitindo recargas rápidas e práticas enquanto realizam suas atividades cotidianas. Em contrapartida, os carregadores AC têm um impacto negativo na experiência do usuário, uma vez que demandam tempos de recarga mais longos, resultando em uma menor rotatividade dos veículos.

A análise econômica dessa instalação, com base nos dados de uso reais coletados, oferece uma oportunidade para comparar a viabilidade entre a manutenção dos carregadores convencionais AC e a substituição por um carregador rápido DC de 30kW, considerando custos operacionais, tempo de recarga e retorno financeiro. Com isso, busca-se identificar uma solução que otimize o fluxo de clientes e gere maiores receitas, além de contribuir para a sustentabilidade do mercado de mobilidade elétrica no Brasil.

1.4 Objetivos do Estudo

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é avaliar a viabilidade econômica da substituição dos carregadores convencionais AC por carregadores rápidos DC na estação de recarga instalada no Center Shopping Uberlândia, analisando os impactos na eficiência operacional, fluxo de clientes, rotatividade de veículos, e retorno financeiro. A partir dessa avaliação, busca-se fornecer uma base sólida para a adoção de soluções tecnológicas mais eficientes, capazes de otimizar a operação de estações de recarga e contribuir para o crescimento sustentável da mobilidade elétrica no Brasil.

1.4.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos analisar os dados reais de utilização dos carregadores em corrente alternada atualmente instalados no Center Shopping Uberlândia, considerando aspectos como o tempo médio de recarga, o número de atendimentos realizados e o fluxo de clientes. Pretende-se, ainda, comparar o desempenho desses carregadores convencionais de 22 kW com um modelo de carregador rápido em corrente contínua (DC) de 30 kW, avaliando parâmetros como tempo de recarga, custo operacional e potencial de atração de novos usuários. Outro objetivo é estudar o impacto financeiro da substituição dos carregadores AC por um modelo DC, levando em conta a possibilidade de aumento da rotatividade de veículos, variações nas receitas e os custos associados à manutenção do sistema.

Além disso, o trabalho busca explorar as perspectivas de expansão da infraestrutura de recarga no Brasil, com ênfase na implantação de carregadores rápidos em locais estratégicos, como centros comerciais, e seus efeitos sobre o comportamento dos consumidores e a adesão à mobilidade elétrica. Por fim, objetiva-se elaborar um plano de otimização da estação de recarga, considerando não apenas a viabilidade econômica, mas também a sustentabilidade ambiental, com propostas voltadas à melhoria da experiência do usuário e à maximização da eficiência operacional.

1.5 Justificativa

O mercado de veículos elétricos no Brasil apresenta um cenário de crescimento, mas ainda enfrenta desafios relacionados à infraestrutura de recarga, o que impacta diretamente a adoção em larga escala dessa tecnologia. A justificativa para este estudo se baseia na necessidade de uma análise profunda da infraestrutura de recarga disponível, com foco na otimização das estações já em operação e no desenvolvimento de soluções para a melhoria de sua eficiência e rentabilidade. A estação de recarga instalada no Center Shopping Uberlândia, operando com carregadores convencionais AC, foi escolhida como objeto de estudo devido à sua importância estratégica, já que os shoppings centers são pontos de grande concentração de veículos eletrificados, sendo locais propensos para a instalação de estações de recarga devido ao grande fluxo de consumidores e à ampla permanência dos veículos em suas áreas de estacionamento.

A Figura 1 a seguir ilustra a estação de recarga localizada no Center Shopping Uberlândia, destacando a infraestrutura atual da estação, que está sendo analisada neste estudo. A escolha deste local se deve à alta circulação de veículos eletrificados em shopping centers, tornando-o um ponto estratégico para o sucesso da mobilidade elétrica urbana. A instalação conta com três carregadores AC de 22kW e serve como um exemplo relevante para este estudo sobre a viabilidade da troca para carregadores rápidos DC.

Figura 1 - Estação de recarga veicular da Lavita Energia no Center Shopping Uberlândia

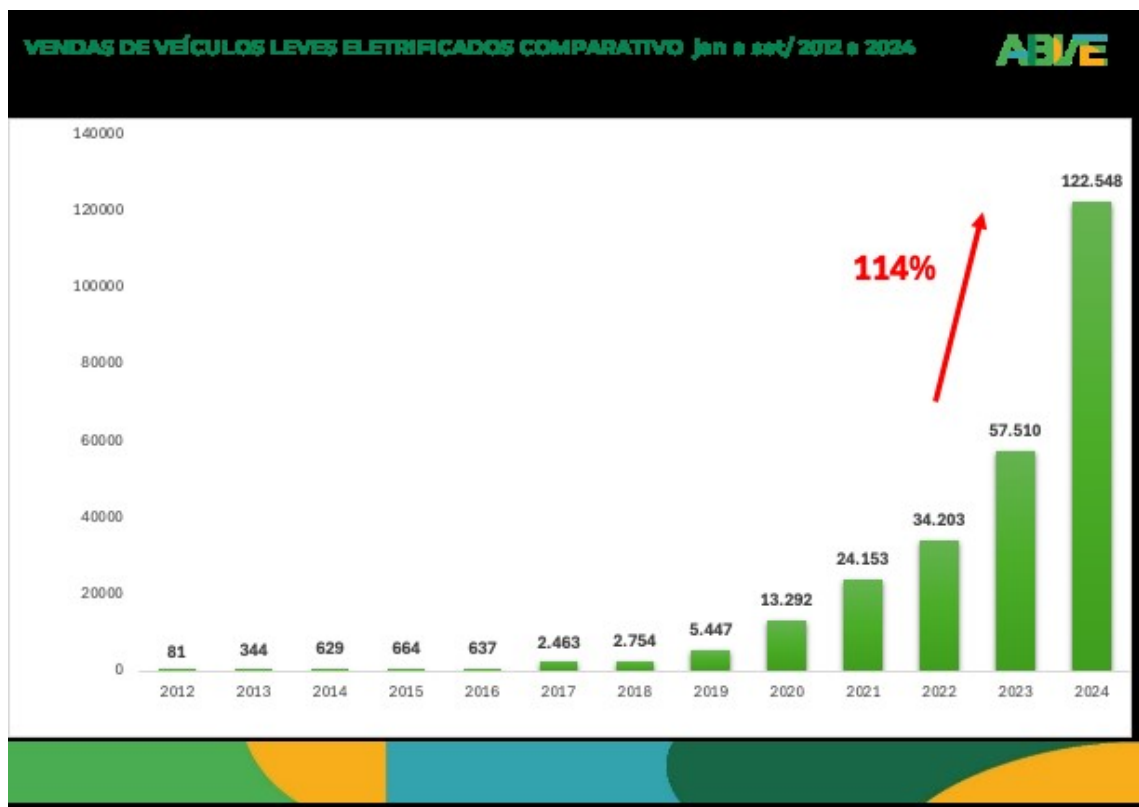


Fonte: Autor (2025).

A falta de uma infraestrutura robusta e rápida de recarga no Brasil é um dos principais obstáculos para o crescimento do mercado de veículos elétricos. O número de veículos eletrificados no país cresce a cada ano, mas a instalação de pontos de recarga não tem acompanhado o mesmo ritmo, o que leva a uma experiência insatisfatória para os usuários e limita o uso diário dos veículos. A troca dos carregadores convencionais AC por carregadores rápidos DC, com maior capacidade e menor tempo de recarga, pode ser a chave para resolver esse problema, ao promover maior eficiência e rotatividade de clientes na estação.

O Gráfico 3 abaixo ilustra o crescimento do mercado de veículos elétricos no Brasil ao longo dos últimos anos. Esse crescimento reflete o aumento da demanda por infraestrutura de recarga, especialmente em locais estratégicos como shoppings. A substituição dos carregadores convencionais por modelos rápidos se alinha a essa tendência crescente, proporcionando uma solução eficaz para os desafios enfrentados pela estação do Center Shopping Uberlândia.

Gráfico 3 - Evolução das vendas de veículos leves eletrificados no Brasil (2012-2024)



Fonte: ABVE (2024).

Além disso, o estudo justifica-se pela possibilidade de contribuir para a transição energética e para o fortalecimento do mercado de mobilidade elétrica no Brasil, que é um tema de crescente relevância tanto no contexto nacional quanto global. A análise econômica da troca

dos carregadores na estação do Center Shopping Uberlândia não só busca avaliar os impactos imediatos da mudança, mas também pretende fornecer insights valiosos sobre a viabilidade econômica e sustentabilidade de investimentos em infraestrutura de recarga em shoppings centers, o que pode servir como base para a expansão de soluções similares em outros locais do Brasil.

Ao abordar a eficiência operacional e rentabilidade da infraestrutura de recarga, este estudo contribui para a definição de estratégias de negócios mais eficazes para empresas que buscam impulsionar o uso de veículos elétricos e aumentar a satisfação dos consumidores. Com isso, a pesquisa não apenas favorece a redução de custos operacionais para a Lavita Energia, como também serve como base para decisões estratégicas no setor de mobilidade elétrica urbana no Brasil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Veículos Elétricos e Infraestrutura de Recarga

2.1.1 Panorama Global dos Veículos Elétricos e Infraestrutura de Recarga

A transição para os veículos elétricos tem ganhado força globalmente, com a crescente adesão a essa tecnologia sustentável, refletindo avanços tecnológicos, incentivo governamental e uma mudança de comportamento por parte dos consumidores. Países como Noruega, China e os Estados Unidos são exemplos claros do progresso acelerado na adoção de veículos elétricos e na expansão das infraestruturas de recarga, impulsionados por políticas públicas robustas e estratégias bem coordenadas.

Noruega é frequentemente apontada como líder mundial na implementação de veículos elétricos. Atualmente, a maioria esmagadora dos carros novos vendidos no país já são elétricos, consolidando a Noruega como um modelo de sucesso na transição para a mobilidade elétrica. O Gráfico 4 a seguir ilustra o rápido crescimento da participação dos veículos elétricos nas vendas de carros de passageiros na Noruega. Em 2022, o país alcançou impressionantes 79,5% de veículos elétricos vendidos, um reflexo do sucesso das políticas públicas e incentivos fiscais. (WRI Brasil, 2023).

Gráfico 4 - Participação dos elétricos nas vendas de automóveis na Noruega (2010-2022)



Fonte: Jaeger (2023).

Esse avanço não seria possível sem o apoio decisivo do governo, que implementou políticas de incentivos fiscais, isenção de impostos sobre veículos elétricos e a instalação massiva de estações de recarga públicas e semipúblicas. Até 2024, o país contava com aproximadamente 2.430 pontos de recarga rápida, representando um aumento de 119% em relação aos 1.109 pontos contabilizados em agosto de 2024, reflexo do esforço conjunto entre governo e setor privado para ampliar o acesso à mobilidade elétrica (Carneiro, 2025).

A China, por sua vez, lidera o mercado de veículos elétricos em termos absolutos, com mais de 10 milhões de unidades vendidas em 2022, representando cerca de 60% das vendas globais de EV's (IEA, 2023). Como pode ser observado no Gráfico 5, a participação dos veículos elétricos nas vendas de automóveis na China registrou um crescimento expressivo ao longo dos anos, atingindo 21,6% em 2022. Esse aumento reflete tanto a demanda interna quanto os incentivos governamentais para a transição energética.

Gráfico 5 - Crescimento da participação dos veículos elétricos nas vendas de automóveis na China (2009-2022)



Fonte: Jaeger (2023).

O governo chinês tem sido fundamental para esse sucesso, com políticas que incluem subsídios financeiros para a compra de veículos elétricos e grandes investimentos em infraestrutura de recarga. A China conta atualmente com mais de 1,76 milhão de pontos de recarga públicos, sendo cerca de 1 milhão lentos e 760 mil rápidos, o que demonstra a capacidade do país em suprir a demanda crescente por EV's (IEA, 2023).

Nos Estados Unidos, a infraestrutura de recarga tem se expandido de maneira acelerada, principalmente após o lançamento do plano “*National Electric Vehicle Infrastructure (NEVI) Program*”, iniciativa do governo Biden que visa instalar 500.000 novos pontos de recarga em todo o país até 2030, por meio de subsídios federais e parcerias público-privadas (U.S. Department of Transportation, 2024). Em 2024, o número de carregadores em operação no país ultrapassou 108.000, com crescimento expressivo dos pontos rápidos, que são fundamentais para viagens interurbanas e integração regional (U.S. Department of Energy, 2024). Embora a infraestrutura tenha avançado significativamente, o país ainda enfrenta desafios para alcançar uma cobertura equitativa, especialmente em áreas rurais e comunidades afastadas dos grandes centros urbanos.

Políticas públicas e incentivos governamentais têm desempenhado um papel central na aceleração dessa transição. Ainda de acordo com o WRI Brasil (2023), os incentivos fiscais, a isenção de impostos e os subsídios à compra de veículos elétricos são práticas comuns em países como Noruega e China. No caso da Noruega, além de isenções fiscais, o governo oferece facilidades como estacionamento gratuito e isenção de pedágios para veículos elétricos. Esses estímulos têm sido fundamentais para tornar os EV’s uma opção financeiramente acessível para os consumidores.

Na União Europeia, a transição para os veículos elétricos é impulsionada por um conjunto robusto de políticas climáticas e regulatórias voltadas à descarbonização do setor de transportes. Um dos principais marcos é a meta estabelecida pela Comissão Europeia que determina que, até 2035, todos os novos carros e vans vendidos nos países membros sejam veículos de emissão zero, como parte do pacote legislativo “Fit for 55”, que busca a neutralidade climática até 2050 (European Commission, 2023). Para viabilizar essa transformação, países como Alemanha e França têm adotado políticas nacionais complementares, incluindo subsídios à aquisição de veículos elétricos, isenção de impostos e programas de incentivo à expansão da infraestrutura de recarga. A Alemanha, por exemplo, estabeleceu como meta a instalação de um milhão de pontos de recarga acessíveis até 2030, enquanto a França desenvolve o programa ADVENIR, que oferece apoio financeiro para a implantação de estações em ambientes públicos e residenciais, contribuindo para ampliar o acesso e a confiança dos consumidores (U.S. Department of Commerce, 2023; Etrell, 2023).

Por outro lado, em países em desenvolvimento, como o Brasil, o crescimento da infraestrutura de recarga tem sido mais lento. Embora o número de veículos elétricos e híbridos no país tenha crescido significativamente nos últimos anos, a instalação de pontos de recarga rápidos ainda enfrenta desafios, como o alto custo inicial e a falta de incentivos públicos para

esse segmento. Apesar do aumento exponencial do número de eletropostos no país nos últimos anos, o Brasil ainda está longe de atingir a cobertura ideal para atender à crescente demanda por EV's (ABVE, 2024). No entanto, iniciativas como o Rota 2030 têm impulsionado investimentos no setor, com foco na modernização da indústria automotiva e na eletrificação da frota.

Em termos de sustentabilidade, a transição para veículos elétricos é fundamental não apenas para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também para a promoção de um futuro mais limpo e eficiente. A integração de fontes renováveis, como solar e eólica, nas estações de recarga tem se mostrado uma estratégia eficaz para reduzir os custos operacionais e minimizar os impactos ambientais. Em países como a Noruega e a China, as estações híbridas de recarga, que combinam energia solar e armazenamento de baterias, são cada vez mais comuns, contribuindo para uma rede de recarga mais sustentável e resiliente (Gnann et al., 2018).

Assim, o panorama global dos veículos elétricos e da infraestrutura de recarga mostra um progresso significativo, mas também evidencia a necessidade de políticas públicas consistentes, investimentos em tecnologia e infraestrutura, além de uma maior colaboração entre os setores público e privado. A transição para um sistema de transporte mais sustentável dependerá não apenas da adoção de veículos elétricos, mas também da criação de uma rede de recarga robusta, acessível e eficiente.

2.1.2 Desafios e Oportunidades no Mercado Brasileiro de Veículos Elétricos

O mercado de veículos elétricos no Brasil enfrenta uma série de desafios estruturais, com destaque para a infraestrutura de recarga, que ainda está em estágio inicial de desenvolvimento. Enquanto em mercados mais avançados, como a Noruega e a China, a infraestrutura de recarga está amplamente disseminada, proporcionando a confiança necessária para a adoção em massa de EV's, o Brasil ainda carece de uma rede de recarga eficiente e acessível. A distribuição desigual dos eletropostos pelo território brasileiro e a falta de uma infraestrutura robusta em regiões mais afastadas das grandes metrópoles limitam o alcance da mobilidade elétrica, especialmente para viagens interurbanas (WRI Brasil, 2023).

Embora o Brasil tenha registrado avanços na eletrificação da frota, com crescimento constante no número de veículos elétricos e híbridos, a expansão da infraestrutura de recarga ainda não acompanha esse ritmo. Dados de 2025 indicam que o país conta com

aproximadamente 14.827 pontos de recarga públicos e semipúblicos, sendo apenas 2.430 do tipo rápido, o que revela um descompasso frente à demanda crescente (ABVE, 2024). O elevado custo de aquisição e instalação desses carregadores, aliado à ausência de incentivos fiscais ou políticas específicas voltadas à sua disseminação, limita significativamente o acesso à recarga eficiente. Apesar de existirem programas que promovem a modernização da mobilidade, ainda falta um direcionamento claro e abrangente para viabilizar uma rede de carregamento robusta e funcional, capaz de sustentar a transição energética no setor automotivo brasileiro.

Ademais, a falta de uniformidade nas políticas estaduais e municipais também prejudica o desenvolvimento de uma rede de recarga eficiente e alinhada às necessidades do mercado. A implementação de políticas públicas que incentivem a instalação de mais pontos de recarga, especialmente nas rodovias e em locais de grande tráfego, é fundamental para aumentar a adesão aos veículos elétricos. Isso se reflete em experiências internacionais, como a da Noruega, onde o governo tem desempenhado um papel crucial, oferecendo incentivos fiscais e financeiros para a instalação de estações de recarga rápida, além de estabelecer metas rigorosas para a eletrificação do setor de transportes (WRI Brasil, 2023).

2.1.3 Impacto das Políticas Públicas e Incentivos no Setor de Mobilidade Elétrica

A implementação de políticas públicas eficazes tem se mostrado crucial para o sucesso da transição para a mobilidade elétrica, especialmente em países que já alcançaram avanços significativos nesse setor. Países como Noruega e China destacam-se como exemplos globais, cujas políticas públicas ajudaram a acelerar a adoção de veículos elétricos e a construção da infraestrutura necessária para suportá-los.

Na Noruega, o governo foi pioneiro ao adotar políticas abrangentes para incentivar a adoção de veículos elétricos. O país oferece incentivos fiscais substanciais, como isenção de impostos sobre a compra de EV's, redução de taxas de pedágio e acesso a faixas exclusivas de trânsito. Além disso, foi uma das primeiras nações a estabelecer uma meta ambiciosa de alcançar 100% de vendas de veículos de passageiros elétricos até 2025 (WRI Brasil, 2023). Essas políticas foram acompanhadas por um crescimento expressivo da infraestrutura de recarga: atualmente, o país conta com mais de 15.000 pontos de recarga públicos (Wallbox, 2023), sendo mais de 5.600 estações de recarga rápida distribuídas principalmente ao longo de rodovias e centros urbanos (Innovation News Network, 2024). Essa presença robusta de carregadores rápidos tem sido um fator decisivo para tornar a mobilidade elétrica uma opção

prática e atrativa para os consumidores, ao reduzir o tempo de espera e aumentar a conveniência no uso diário.

A China tem se consolidado como uma das principais líderes globais na adoção de veículos elétricos, tanto em volume de mercado quanto na expansão da infraestrutura de recarga. O governo chinês implementou subsídios substanciais para a compra de veículos elétricos, além de estabelecer metas obrigatórias de produção para os fabricantes nacionais, estimulando o crescimento da cadeia de mobilidade elétrica. Esses esforços são acompanhados por investimentos expressivos em infraestrutura: até o final de 2022, o país contava com aproximadamente 1,8 milhão de pontos de recarga públicos, sendo cerca de 760 mil deles carregadores rápidos, o que demonstra o comprometimento em suprir a demanda crescente por veículos elétricos (Blndu, 2023). Adicionalmente, a criação de zonas prioritárias para circulação de EV's, aliada à proibição progressiva de veículos a combustão em grandes centros urbanos, tem desempenhado um papel decisivo no avanço da mobilidade elétrica na China.

No caso do Brasil, embora haja avanços, as políticas públicas voltadas à eletromobilidade ainda estão em fase de consolidação. O programa Rota 2030, lançado em 2018, teve como objetivo principal incentivar a eficiência energética e o desenvolvimento de tecnologias limpas na indústria automotiva nacional, promovendo a redução de emissões e a modernização da frota. No entanto, sua abordagem limitada em relação à infraestrutura de recarga e à concessão de incentivos financeiros mais robustos tem sido apontada como um entrave à expansão do mercado de veículos elétricos no país. Para que o Brasil avance de forma consistente na adoção de EV's, torna-se fundamental adotar uma estratégia integrada que combine metas de eletrificação com subsídios efetivos e a ampliação da rede de carregamento, especialmente em centros urbanos e corredores rodoviários.

A adoção de um modelo semelhante ao implementado em países líderes, como Noruega e China, poderia acelerar a transição da frota brasileira para veículos elétricos, ao mesmo tempo em que impulsiona o mercado de infraestrutura de recarga. Entre as medidas recomendadas estão a concessão de subsídios diretos à aquisição de veículos elétricos, isenções fiscais para a instalação de carregadores rápidos e a definição de metas obrigatórias para a expansão da rede de recarga. Políticas de estímulo à inovação também se mostram estratégicas, como o financiamento de startups e empresas que desenvolvem tecnologias de carregamento sustentável e de integração com fontes renováveis. Essas ações combinadas são essenciais para consolidar um ecossistema competitivo e resiliente de mobilidade elétrica no Brasil.

Nesse sentido, a criação do Programa Mobilidade Verde e Inovação (Mover) representa um avanço significativo em relação ao Rota 2030. Substituindo o programa anterior, o Mover

introduz mecanismos mais alinhados à transição energética, como o IPI Verde, que estabelece incentivos fiscais vinculados à sustentabilidade e à descarbonização da produção automotiva. A iniciativa prevê até R\$ 19 bilhões em créditos fiscais até 2028 e amplia o escopo das políticas públicas para além dos veículos leves, incluindo bicicletas elétricas e veículos pesados. Segundo a ABVE (2024), o novo programa sinaliza um compromisso mais sólido com a mobilidade elétrica e pode representar um ponto de inflexão para a adoção em larga escala de veículos elétricos no Brasil, desde que articulado com metas de infraestrutura e políticas de acesso à tecnologia.

2.1.4 Tecnologias Emergentes na Infraestrutura de Recarga e Sustentabilidade

O avanço das tecnologias de recarga de veículos elétricos tem sido fundamental para a adoção mais ampla desses veículos. Com o aumento da demanda por infraestruturas de recarga rápidas e eficientes, novas tecnologias têm surgido, não apenas para melhorar a velocidade de carregamento, mas também para otimizar os custos operacionais e promover a sustentabilidade. Entre as inovações mais promissoras, destaca-se a integração de fontes de energia renovável, como solar e eólica, com sistemas de recarga de EV's, além de tecnologias como estações híbridas de recarga e o uso de armazenamento de energia.

As estações híbridas de recarga, que combinam o uso de fontes renováveis e baterias de armazenamento, surgem como uma solução interessante. Elas têm o potencial de reduzir os custos operacionais ao diminuir a dependência da rede elétrica para o fornecimento de energia. Essa abordagem pode ser particularmente útil em regiões remotas ou de difícil acesso, onde a infraestrutura de distribuição de energia convencional ainda é limitada. Além disso, o armazenamento de energia nas baterias integradas permite que a estação opere de forma mais eficiente, utilizando energia armazenada em períodos de baixa demanda ou aproveitando picos de produção das fontes renováveis (Pardo-Bosch et al., 2021).

Porém, a implementação dessas tecnologias enfrenta desafios significativos, especialmente no Brasil, onde a infraestrutura de recarga ainda está em desenvolvimento. O alto custo inicial para a instalação de estações híbridas, bem como a necessidade de adaptar as redes elétricas existentes, são obstáculos que demandam políticas públicas e incentivos financeiros. A adaptação da infraestrutura de recarga a diferentes tipos de redes de distribuição e a implementação de soluções tecnológicas sustentáveis exigem investimentos significativos tanto do setor público quanto privado.

A sustentabilidade também é um ponto chave nas novas tecnologias. Ao integrar fontes renováveis com sistemas de recarga de EV's, as emissões de gases de efeito estufa podem ser reduzidas, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais do setor de transporte. A aplicação de soluções como o uso de energia solar para alimentar estações de recarga em áreas de alta incidência solar é um exemplo de como a mobilidade elétrica pode ser ainda mais ambientalmente eficiente. Além disso, o armazenamento de energia ajuda a equilibrar a oferta e demanda de eletricidade, minimizando os impactos sobre a rede elétrica (Baumgarte et al., 2021).

Outra tecnologia emergente que vem ganhando atenção é a infraestrutura de recarga ultra-rápida, que permite que os veículos elétricos sejam carregados em um período significativamente mais curto do que as tecnologias convencionais. A implementação dessa tecnologia envolve desafios técnicos e econômicos, como o aumento da demanda por energia nas redes e a necessidade de adaptar os carregadores para suportar maiores potências. Porém, os benefícios da recarga rápida, em termos de conveniência para os consumidores e otimização do tempo de uso dos veículos, são inegáveis. Essa tecnologia se alinha diretamente às necessidades de expansão da infraestrutura de recarga, especialmente em locais de grande tráfego, como rodovias e centros urbanos (Neaimeh et al., 2017).

A combinação de tecnologias de recarga rápida com fontes de energia renovável e soluções de armazenamento promete não só atender à crescente demanda por infraestruturas de recarga mais eficientes, mas também tornar o sistema de mobilidade elétrica mais sustentável a longo prazo. O avanço dessas tecnologias emergentes será crucial para a transição do setor de transporte para modelos mais limpos e eficientes, que contribuam tanto para o crescimento do mercado de veículos elétricos quanto para os objetivos globais de sustentabilidade (Wolbertus & van den Hoed, 2019).

A Noruega se destaca globalmente pela sua liderança na transição para a mobilidade elétrica. Esse protagonismo resulta de uma estratégia governamental clara, sustentada por políticas públicas eficazes, como a isenção do imposto sobre valor agregado (IVA) na compra de veículos elétricos, isenção de taxas de importação, descontos em pedágios e estacionamento, além do uso de faixas exclusivas de ônibus por veículos elétricos, medidas que tornaram os EV's economicamente atrativos e amplamente acessíveis à população (Ingizza, 2025).

Além disso, o país estabeleceu, ainda em 2017, a meta ambiciosa de encerrar a venda de veículos movidos a combustão até 2025. Segundo dados recentes, essa meta está prestes a ser alcançada: em 2024, os veículos elétricos já representavam quase 90% das novas vendas no

país, consolidando um dos maiores índices de eletrificação da frota no mundo (El País, 2025). A confiança do consumidor norueguês nessa transição foi viabilizada não apenas pelos incentivos fiscais, mas também por uma infraestrutura de recarga confiável e abrangente, capaz de atender tanto ao uso urbano quanto a longas distâncias. Isso tem sido essencial para mitigar o receio comum em relação à autonomia das baterias, um fator historicamente apontado como barreira à adoção em outros países (The Guardian, 2024).

A experiência norueguesa evidencia que políticas públicas bem estruturadas, combinadas com metas ambiciosas e investimentos contínuos em infraestrutura, podem acelerar significativamente a transição para uma mobilidade mais sustentável. A consolidação dos veículos elétricos naquele país não foi resultado de ações isoladas, mas de uma estratégia integrada que envolveu incentivos fiscais, confiança institucional e foco no acesso eficiente à recarga. Para o Brasil, que ainda enfrenta barreiras relevantes nesse setor, esse modelo oferece aprendizados valiosos. Adaptar essas lições ao contexto nacional — com políticas de incentivo mais robustas, planejamento de longo prazo e expansão da infraestrutura de carregamento — pode ser determinante para impulsionar a eletromobilidade e contribuir efetivamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes.

2.2 Tipos de Carregadores

2.2.1 Carregadores AC

Os carregadores de corrente alternada (AC) são amplamente utilizados na infraestrutura de recarga de veículos elétricos, especialmente em ambientes residenciais e comerciais. Eles funcionam fornecendo corrente alternada ao veículo, onde a conversão para corrente contínua (DC) é realizada pelo carregador de bordo (OBC, do inglês *On-Board Charger*), permitindo que a bateria do veículo armazene energia. A principal vantagem dos carregadores AC é a facilidade de instalação, pois podem ser conectados diretamente às redes elétricas convencionais de baixa tensão, como as redes residenciais, sem grandes modificações na infraestrutura elétrica existente (Saraswathi et al., 2024).

Os carregadores AC podem ser classificados principalmente em dois tipos, com base na potência fornecida e no tempo necessário para recarga:

- Carregadores Nível 1 (Lento)

Os carregadores Nível 1 operam com potências entre 1 kW e 3,7 kW, conectando-se diretamente a uma tomada comum de 110/220V, dependendo da região. São tipicamente usados em residências, onde o veículo permanece estacionado por longos períodos, como durante a noite. O tempo de recarga pode variar entre 8 e 20 horas, dependendo da capacidade da bateria do veículo. Embora a velocidade de carregamento seja limitada, os carregadores Nível 1 representam uma solução prática e econômica, adequada para motoristas que percorrem distâncias curtas diariamente e não necessitam de recargas rápidas (Kardan et al., 2024).

- Carregadores Nível 2 (Semi-rápido)

Os carregadores Nível 2 operam com capacidades de 3,7 kW a 22 kW e exigem uma instalação elétrica dedicada, utilizando circuitos de 240V. São comuns em locais de trabalho, estacionamentos comerciais e áreas residenciais com maior demanda por mobilidade elétrica. O tempo de recarga é consideravelmente reduzido, variando entre 3 e 8 horas, dependendo do veículo e da capacidade da bateria. Essa solução oferece um bom equilíbrio entre custo e eficiência, sendo ideal para quem precisa de recargas mais rápidas sem recorrer a carregadores ultrarrápidos (Saraswathi et al., 2024).

Embora os carregadores AC sejam uma opção prática e acessível, eles apresentam algumas limitações. A principal restrição é a potência de carregamento, que é limitada pela conversão de corrente alternada para corrente contínua realizada pelo OBC⁷ no próprio veículo. Como o OBC tem uma capacidade térmica limitada e um tamanho reduzido, o tempo de carregamento será significativamente mais longo para baterias de maior capacidade, comparado aos carregadores rápidos de corrente contínua.

Além disso, a eficiência energética dos carregadores AC tende a ser inferior, uma vez que há perdas durante o processo de conversão, que ocorre dentro do próprio veículo. Isso significa que a potência disponível para carregamento é menor, tornando o processo mais lento e menos eficiente do que os carregadores DC rápidos. A eficiência do OBC é um fator crítico, já que ele também precisa gerenciar o controle de carga, o que pode gerar perdas adicionais (Saraswathi et al., 2024; Rempel et al., 2022).

Além disso, muitos sistemas de carregadores de bordo operam de forma unidirecional, ou seja, não permitem o fluxo de energia do veículo para a rede elétrica — uma funcionalidade

⁷ On-board charger (carregador de bordo)

conhecida como Vehicle-to-Grid (V2G). Essa limitação restringe o uso dos veículos como ativos energéticos na rede. Por outro lado, carregadores externos DC bidirecionais já possibilitam esse recurso, apontando uma direção para futuras inovações. O desenvolvimento de OBCs mais eficientes tem sido uma tendência promissora, com avanços voltados à redução das perdas de conversão, otimização da gestão térmica e melhora na eficiência energética, o que contribui diretamente para a redução do tempo de carregamento e do consumo total de energia (Vargha, 2024).

Carregadores AC, por sua vez, são mais adequados para contextos nos quais o tempo de carregamento não é um fator crítico, como em residências ou locais de trabalho. Nessas situações, é possível deixar o veículo conectado por várias horas sem prejuízo à rotina do usuário. Essa característica torna os carregadores AC uma alternativa viável para motoristas que percorrem distâncias curtas no dia a dia. No cenário brasileiro, onde a infraestrutura de recarga ainda está em expansão, eles representam uma solução prática e economicamente acessível, com custos de instalação consideravelmente inferiores aos dos carregadores rápidos do tipo DC.

Embora os carregadores AC não ofereçam a mesma velocidade de carregamento dos sistemas DC, eles desempenham um papel essencial na construção da infraestrutura inicial de mobilidade elétrica. Sua implementação em locais como residências e empresas de pequeno porte permite uma adoção gradual dos veículos elétricos, criando uma base sólida para a expansão da rede de carregamento à medida que a infraestrutura de recarga evolui (Gouveia et al., 2023).

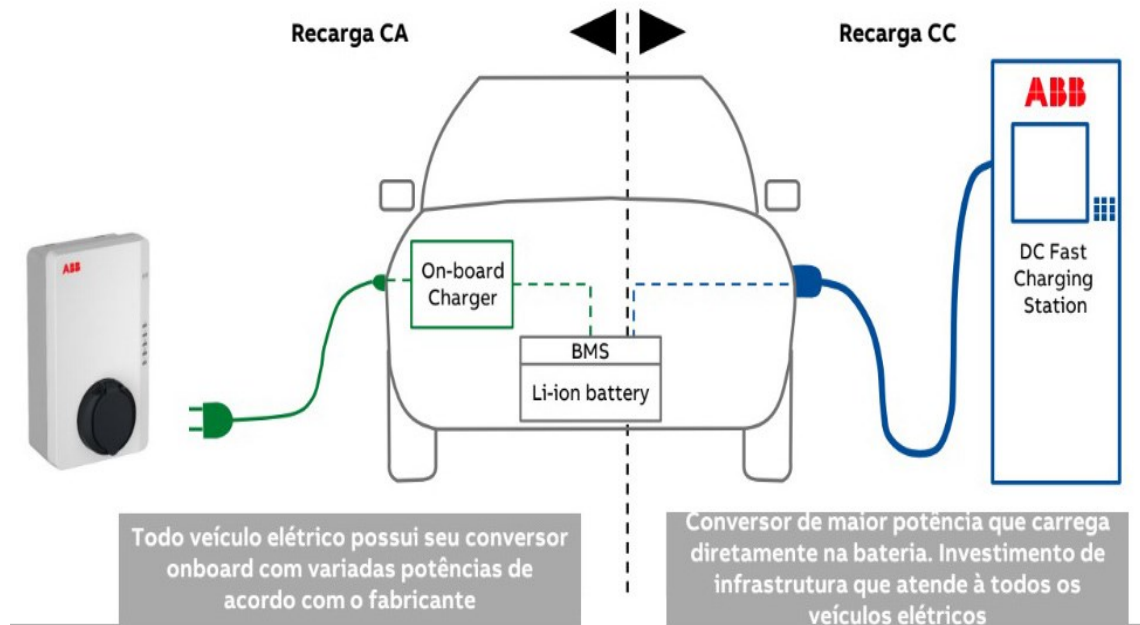
2.2.2 Carregadores DC

Os carregadores de corrente contínua são essenciais para oferecer recargas rápidas e eficientes para veículos elétricos, especialmente em locais de grande tráfego, como rodovias e pontos de recarga pública. Diferentemente dos carregadores AC, que dependem do carregador de bordo do veículo para realizar a conversão de corrente, os carregadores DC realizam essa conversão fora do veículo, permitindo uma maior potência de carregamento e, conseqüentemente, uma recarga muito mais rápida. Essa configuração é fundamental para possibilitar viagens de longo alcance e melhorar a experiência do usuário (Zentani et al., 2024).

Para ilustrar as diferenças entre o carregamento em corrente alternada e corrente contínua, a Figura 2 mostra os dois tipos de processo de carregamento. À esquerda, o

carregamento AC ocorre por meio do carregador de bordo do veículo, que converte a corrente alternada em corrente contínua para carregar a bateria do veículo. À direita, no carregamento DC, a conversão é feita diretamente na estação de recarga, permitindo carregamentos rápidos, sem a necessidade de conversão interna no veículo.

Figura 2 - Esquema de funcionamento dos carregadores CA e CC para veículos elétricos



Fonte: Energise (2024).

Os carregadores DC são, em geral, classificados como nível 3 ou superior, em um sistema que organiza os tipos de carregamento com base na potência fornecida e no tempo necessário para recarga:

- Carregadores Nível 3 (Rápidos)

Os carregadores Nível 3, ou carregadores rápidos DC, são a opção de recarga mais rápida disponível atualmente. Eles operam com potências superiores a 50 kW e podem chegar até 350 kW, dependendo do modelo. Esses carregadores são usados em pontos de alto tráfego, como rodovias e estações de recarga públicas. A principal vantagem do Nível 3 é o tempo significativamente reduzido de recarga, permitindo que os veículos atinjam até 80% de sua carga em menos de 30 minutos, o que torna viável a utilização de veículos elétricos em viagens de longa distância (Michelbacher et al., 2017). O fornecimento de energia é feito diretamente à bateria do veículo, sem a necessidade de conversão interna pelo OBC, o que proporciona maior eficiência e velocidade de carregamento. Embora a literatura frequentemente considere o Nível 3 como restrito a potências acima de 50 kW, não há consenso absoluto quanto a esse limite. Por

isso, carregadores DC com potências intermediárias — como o de 30 kW adotado neste estudo — também podem ser enquadrados nessa categoria, devido às suas características técnicas e operacionais similares às dos carregadores rápidos convencionais.

- Carregadores Ultrarrápidos (acima de 350 kW)

Os carregadores ultra-rápidos são uma categoria emergente que visa reduzir ainda mais o tempo de recarga, com potências que superam os 350 kW. Embora ainda estejam em fase de desenvolvimento em muitos mercados, eles prometem transformar a experiência de carregamento, oferecendo tempos de recarga extremamente curtos, praticamente equivalentes ao tempo necessário para abastecer um veículo a combustão interna. Eles são projetados para atender a uma crescente demanda por veículos elétricos de longo alcance e são ideais para locais de tráfego intenso, como em grandes rodovias e centros urbanos de alta densidade (Rempel et al., 2022).

Os carregadores DC têm a vantagem de oferecer tempos de recarga muito mais rápidos do que os carregadores AC, devido à sua capacidade de fornecer corrente contínua diretamente à bateria, sem a necessidade de conversão adicional dentro do veículo. Isso resulta em uma carga mais eficiente e em menor tempo. Além disso, a infraestrutura de carregamento DC é projetada para suportar veículos com baterias de maior capacidade, o que é crucial para a adoção em massa de veículos elétricos, especialmente com o aumento do número de veículos elétricos de grande autonomia (Saraswathi et al., 2024).

No entanto, esses carregadores exigem uma infraestrutura elétrica mais robusta e sistemas de resfriamento eficientes para lidar com o calor gerado pela alta potência de carregamento. A implementação de carregadores rápidos DC também pode demandar investimentos substanciais em infraestrutura, incluindo a modernização das redes de distribuição elétrica para suportar a alta demanda de energia (Kardan et al., 2024).

Além disso, muitos dos carregadores rápidos, especialmente os de alta potência, estão evoluindo para incluir funcionalidades como Vehicle-to-Grid (V2G) e Vehicle-to-Home (V2H), onde a energia da bateria do veículo pode ser utilizada para fornecer suporte à rede elétrica ou à residência do usuário, um avanço tecnológico que amplia as possibilidades de integração de veículos elétricos com as infraestruturas de energia inteligentes.

A implementação de carregadores DC apresenta desafios significativos, principalmente devido ao alto custo de instalação e manutenção. Os sistemas de resfriamento, os conversores de alta potência e a necessidade de uma infraestrutura elétrica robusta aumentam o custo total

dessas estações de recarga. Em mercados emergentes, como o Brasil, esses custos podem ser um obstáculo significativo para a implantação de uma rede de carregamento rápido (Schroeder et al., 2012).

Além disso, a instalação de carregadores DC exige que a infraestrutura elétrica local seja capaz de suportar os altos picos de demanda de energia, o que pode representar desafios adicionais em regiões com redes elétricas menos desenvolvidas (Shafiei et al., 2022).

Os carregadores DC, especialmente os de Nível 3, são essenciais para a criação de uma rede de recarga rápida, permitindo a adoção em larga escala de veículos elétricos. Eles são ideais para locais de alto tráfego, como rodovias, centros comerciais e áreas metropolitanas, onde os motoristas precisam de uma recarga rápida para continuar suas viagens. No entanto, devido ao alto custo de instalação, esses carregadores são mais comuns em locais públicos de grande circulação e em áreas estratégicas onde a demanda é mais concentrada.

Embora sua instalação seja mais cara, estes oferecem uma solução eficiente para a recarga rápida, que é crucial para a popularização dos veículos elétricos de longo alcance. Com o aumento da demanda por mobilidade elétrica e o avanço das tecnologias de bateria, espera-se que o custo de implementação desses carregadores diminua, tornando-os mais acessíveis e viáveis para uma implantação em maior escala (Zentani et al., 2024).

Tabela 4 - Características típicas de carregadores AC e DC

Característica	Carregador AC	Carregador DC
Tipo de Corrente	Corrente Alternada (AC) fornecida à bateria após conversão pelo carregador integrado do veículo.	Corrente Contínua (DC) fornecida diretamente à bateria, sem necessidade de conversão adicional.
Velocidade	Carregamento mais lento; ideal para uso residencial ou locais onde o veículo permanece estacionado por períodos prolongados.	Carregamento rápido; adequado para viagens longas ou quando é necessário recarregar rapidamente.
Potência	Geralmente até 22 kW.	Pode fornecer até 350 kW ou mais, dependendo da estação de carregamento.
Custo de Instalação	Mais acessível; ideal para instalações domésticas.	Mais elevado; geralmente encontrado em estações de carregamento públicas devido ao custo.
Aplicação	Carregamento doméstico ou em locais de trabalho.	Estações de carregamento rápido em rodovias e áreas urbanas movimentadas.

Fonte: Elaborado pelo Autor com dados de Volvo Cars (2024).

2.3 Comparação de Carregadores AC e DC: Desempenho e Eficiência

A comparação entre os carregadores AC e DC para veículos elétricos é fundamental para entender as diferenças em termos de desempenho, eficiência energética e tempo de recarga. Ambos os tipos de carregadores desempenham papéis essenciais na infraestrutura de recarga, mas com características e capacidades distintas que afetam sua aplicação, especialmente em função das necessidades de recarga em diferentes cenários.

2.3.1 Desempenho e Tempo de Carregamento

Os carregadores DC se destacam pela capacidade de oferecer uma recarga muito mais rápida do que os carregadores AC. Com potências que podem ultrapassar os 350 kW, os carregadores DC rápidos são capazes de carregar até 80% da bateria em menos de 30 minutos. Isso é particularmente vantajoso para rodovias e estações de recarga públicas de alto tráfego, onde a rapidez de recarga é crucial para garantir a continuidade das viagens e a adoção de veículos elétricos para percursos longos. Comparado aos carregadores AC de Nível 1 e 2, que variam de 1 kW a 22 kW, o tempo de recarga com os carregadores DC é significativamente reduzido, tornando-os mais adequados para locais de alta rotatividade (Zentani et al., 2024; Michelbacher, 2017).

Por outro lado, os carregadores AC são mais comuns em ambientes como residências e comércios, onde o tempo de recarga não é uma prioridade urgente. Com o Nível 1, a recarga pode levar até 20 horas para baterias maiores, enquanto os Nível 2, com potências de até 22 kW, podem reduzir o tempo de carregamento para 3 a 8 horas, dependendo do veículo e da capacidade da bateria (Saraswathi et al., 2024). Esses carregadores são ideais para situações em que o veículo permanece estacionado por longos períodos, como durante a noite ou no trabalho.

2.3.2 Eficiência Energética

Em termos de eficiência energética, os carregadores DC têm a vantagem de realizar a conversão de corrente alternada (AC) para corrente contínua (DC) de forma externa ao veículo, no próprio carregador, o que elimina as perdas associadas à conversão feita pelo carregador de bordo nos carregadores AC. Isso significa que a eficiência energética dos carregadores DC é

geralmente mais alta, pois não há perdas internas significativas dentro do veículo. Com uma conversão mais direta e com menor impacto de perdas, os carregadores DC conseguem aproveitar de forma mais eficaz a energia fornecida pela rede (Saraswathi et al., 2024; Zentani et al., 2024).

Em contraste, os carregadores AC são limitados pela capacidade do OBC do veículo, que deve realizar a conversão de AC para DC. Isso significa que, embora a instalação seja mais simples e econômica, a eficiência é menor, especialmente em veículos com baterias maiores, onde as perdas de conversão podem ser mais significativas. A eficiência dos carregadores AC tende a ser inferior, uma vez que o processo de conversão interna gera perdas adicionais, impactando diretamente no tempo de carregamento e na potência disponível para a bateria (Rempel et al., 2022; Kardan et al., 2024).

2.3.3 Qualidade da Energia e Impactos na Rede Elétrica

Tanto os carregadores AC quanto os DC podem impactar a qualidade da energia elétrica, mas de maneiras diferentes. Os carregadores DC, especialmente os de alta potência, podem gerar distorções harmônicas na rede elétrica, o que pode afetar a estabilidade da rede e a qualidade da energia fornecida. Isso ocorre devido à alta corrente que esses carregadores utilizam para carregar as baterias rapidamente. Essas distorções podem resultar em flutuações de tensão e aumento da sobrecarga nos sistemas de distribuição de energia (Rempel et al., 2022).

Já os carregadores AC, embora também possam causar pequenas variações de tensão, geralmente têm um impacto menos pronunciado na qualidade da energia, especialmente os Nível 1, que operam com potências menores. No entanto, à medida que a infraestrutura de recarga AC se expande, os carregadores Nível 2, com maior potência, podem começar a gerar distúrbios menores na rede, embora esses efeitos sejam geralmente mais controláveis e menos críticos do que os observados com os carregadores DC rápidos (Shafiei et al., 2022).

2.3.4 Aplicações e Cenários de Uso

A escolha entre carregadores AC e DC depende fortemente do contexto de uso e das necessidades do usuário. Os carregadores AC são mais adequados para residências e comércios, onde o tempo de recarga não seja uma preocupação urgente. Eles são ideais para motoristas que

não realizam viagens longas com frequência e podem deixar o veículo carregando por longos períodos. No Brasil, por exemplo, onde a infraestrutura de recarga ainda está em desenvolvimento, os carregadores AC são uma solução econômica e acessível, com custos de instalação significativamente mais baixos do que os carregadores rápidos DC (Gouveia et al., 2023).

Por outro lado, os carregadores DC são cruciais para a expansão da infraestrutura de recarga rápida, especialmente em rodovias e em estações de recarga públicas de alto tráfego, onde a rapidez de recarga é essencial. Com o aumento da demanda por veículos elétricos de longo alcance, tais carregadores de alta potência têm a capacidade de transformar a experiência do usuário, permitindo viagens de longa distância com tempos de recarga reduzidos (Zentani et al., 2024).

2.3.5 Custo e Complexidade de Instalação

A instalação de carregadores para veículos elétricos varia significativamente entre os modelos de corrente alternada e corrente contínua, tanto em termos de custo quanto de complexidade. Os carregadores AC, especialmente os de Nível 2, são frequentemente utilizados em residências e estabelecimentos comerciais de pequeno porte devido à sua instalação relativamente simples e custo mais acessível. Geralmente, podem ser integrados à rede elétrica existente com adaptações mínimas, como a adição de um circuito dedicado e, em alguns casos, a atualização do painel elétrico para suportar a nova carga. No entanto, é essencial que a instalação seja realizada por profissionais qualificados, garantindo a conformidade com as normas técnicas e de segurança vigentes (Drystore, 2024).

Por outro lado, os carregadores DC, destinados à recarga rápida, apresentam maior complexidade técnica e custos mais elevados. Sua instalação pode exigir uma infraestrutura elétrica robusta, incluindo transformadores dedicados, aumento da capacidade de fornecimento da rede e sistemas de proteção específicos. Além disso, esses carregadores frequentemente requerem sistemas de resfriamento ativo para gerenciar o calor gerado durante a operação em alta potência. Devido a essas exigências, os carregadores DC são mais apropriados para locais com alta demanda de recarga, como estações públicas em rodovias e centros urbanos movimentados. A decisão de instalar um destes deve ser precedida por uma análise detalhada da capacidade da rede elétrica local e das necessidades específicas de uso (Quatro Rodas, 2024).

2.4 Topologias de Conversores e Eficiência Energética

A topologia do conversor desempenha um papel crucial na eficiência energética dos sistemas de carregamento de veículos elétricos, especialmente nos carregadores DC rápidos, onde a conversão de energia deve ser feita de maneira eficiente e com perdas mínimas. A escolha adequada da topologia do conversor pode reduzir significativamente as perdas de energia durante o processo de carregamento, otimizar o uso de componentes e melhorar a capacidade geral de entrega de potência do sistema.

2.4.1 Tipos de Conversores Utilizados em Carregadores DC

A topologia do conversor refere-se ao design do circuito que define como a energia é convertida de uma forma para outra. Nos sistemas de carregamento rápido para veículos elétricos, os conversores DC-DC são os mais utilizados, pois permitem ajustar a tensão da fonte de energia para a tensão necessária pela bateria do veículo. Safayatullah et al. (2022) descrevem as principais topologias de conversores, que incluem:

- Conversores Buck

Os conversores Buck são frequentemente usados para reduzir a tensão de entrada para um valor mais baixo, adequado para carregar a bateria. Esses conversores são eficientes porque operam com alta frequência de comutação e têm uma boa capacidade de controle de potência, o que resulta em menores perdas de energia. Sua eficiência pode ser maximizada quando bem projetados, aproveitando ao máximo a energia fornecida pela rede elétrica. Eles são usados principalmente em situações onde a tensão de entrada é maior do que a tensão necessária para o carregamento da bateria, o que é comum em muitos carregadores DC rápidos.

- Conversores Boost

Em contrapartida, os conversores Boost são utilizados para aumentar a tensão de entrada para níveis adequados à carga da bateria. Esses conversores são aplicados quando a tensão da rede elétrica de entrada é inferior à necessidade de carga da bateria, permitindo a entrega de energia a altas potências. Eles também apresentam uma boa eficiência energética, mas a perda de energia tende a ser um pouco maior em comparação aos conversores Buck devido às características de aumento de tensão e ao controle de corrente.

- Conversores Multiportas e Bidirecionais

Recentemente, conversores multiportas e bidirecionais têm se tornado populares em carregadores DC, especialmente em estações de recarga com capacidade de integração com redes inteligentes (smart grids). Esses conversores permitem que a energia seja transferida de maneira eficiente não apenas da rede elétrica para o veículo, mas também do veículo para a rede (V2G⁸) ou para a residência (V2H⁹). Essa flexibilidade oferece vantagens tanto em termos de eficiência energética quanto na gestão da rede elétrica, pois permite que os veículos elétricos atuem como fontes temporárias de energia.

2.4.2 Eficiência Energética e Redução de Perdas

A eficiência energética dos conversores DC está diretamente ligada à capacidade de reduzir as perdas durante a conversão de energia. Conversores com alto índice de comutação e sistemas de controle otimizados podem minimizar essas perdas. A implementação de técnicas de controle avançadas, como o controle de modulação por largura de pulso (PWM) e técnicas de controle de corrente de modo fixo, tem mostrado grande eficácia na melhoria da eficiência energética, permitindo que os conversores operem com menores perdas de calor e maior desempenho, mesmo em condições de alta demanda de potência.

Além disso, a distribuição de calor nos conversores é um fator essencial para garantir que os sistemas de carregamento rápido operem com alta eficiência. Conversores de alta potência geram grandes quantidades de calor durante a operação, o que exige sistemas de resfriamento eficientes para evitar o superaquecimento e garantir que as perdas de energia não sejam exacerbadas pela alta temperatura. O design térmico do conversor deve, portanto, ser otimizado para minimizar as perdas térmicas e garantir a longevidade dos componentes (Safayatullah et al., 2022).

2.4.3 Avanços Tecnológicos em Conversores para Carregamento Rápido

A evolução dos sistemas de carregamento rápido de veículos elétricos tem sido fortemente impulsionada pelo desenvolvimento de semicondutores de banda larga,

⁸ Vehicle to Grid

⁹ Vehicle to Home

especialmente o carbeto de silício (SiC). Este material apresenta vantagens significativas sobre o silício tradicional, como a capacidade de operar em altas temperaturas, suportar maiores tensões e comutar em frequências mais elevadas, o que reduz perdas por comutação e melhora a eficiência energética dos conversores. Essas características são essenciais para aplicações que exigem alto desempenho, como os carregadores rápidos em corrente contínua, que operam com grandes fluxos de potência em pouco tempo.

A adoção de MOSFETs¹⁰ de carbeto de silício (SiC) consolidou-se como uma tendência fundamental no desenvolvimento de conversores para estações de recarga rápida. Esses dispositivos possibilitam maior eficiência energética e térmica, com operação em frequências mais elevadas, reduzindo perdas por comutação e minimizando a necessidade de sistemas robustos de resfriamento. O resultado é a viabilização de conversores mais compactos, leves e duráveis, especialmente úteis em aplicações que exigem alto desempenho em espaços limitados, como eletropostos urbanos ou integrados a estruturas comerciais. Além da redução do volume e peso dos sistemas, a tecnologia do SiC também favorece uma operação mais confiável e de menor custo operacional, reforçando seu papel estratégico na expansão das redes de carregamento rápido (Mouser Electronics, 2022).

2.5 Padrões de Conectores e Compatibilidade Global

A compatibilidade global nos sistemas de carregamento de veículos elétricos depende fortemente dos padrões de conectores utilizados nas estações de recarga. Existem vários tipos de conectores para carregamento em corrente alternada (AC) e corrente contínua (DC), e sua padronização é essencial para garantir a interoperabilidade entre diferentes modelos de veículos e infraestruturas de recarga ao redor do mundo. A diversidade de conectores tem implicações diretas na adoção de veículos elétricos, uma vez que a falta de compatibilidade pode limitar a expansão das redes de recarga e dificultar o uso de veículos em diferentes regiões.

2.5.1 Tipos de Conectores para Carregamento AC e DC

Os carregadores de veículos elétricos podem ser classificados, de forma geral, em duas categorias principais: os que operam em corrente alternada (AC) e os que utilizam corrente

¹⁰ Transistor de efeito de campo de metal-óxido-semicondutor

contínua (DC). Cada categoria adota padrões específicos de conectores, que variam conforme a região geográfica, o fabricante do veículo e a aplicação — residencial, comercial ou rodoviária.

Segundo Dayrell & Rezende (2024), os principais conectores utilizados para carregamento em corrente alternada são os modelos Tipo 1 e Tipo 2:

- Tipo 1

Trata-se de um conector monofásico, amplamente utilizado na América do Norte e em algumas regiões da Ásia. É comumente aplicado em carregadores de Nível 1 e Nível 2, especialmente em contextos residenciais. Fontes técnicas complementares apontam que este padrão opera entre 110 V e 240 V e suporta correntes de até 40 A.

- Tipo 2

Também conhecido como Mennekes, é o padrão europeu de carregamento AC, adotado em diversos países da América do Sul e Oceania. Permite configurações bifásicas e trifásicas, suportando potências de até 22 kW, sendo comum tanto em residências quanto em estações públicas.

Para aplicações em corrente contínua, o mesmo estudo destaca os seguintes padrões de conectores:

- CHAdeMO

Desenvolvido no Japão, é um dos primeiros padrões de carregamento rápido em DC. Embora tenha sido amplamente adotado por veículos asiáticos, vem gradualmente perdendo espaço para o CCS em vários mercados. Dados de especificações técnicas indicam que este conector pode fornecer até 62,5 kW, permitindo recargas rápidas de até 80% da capacidade da bateria em aproximadamente 30 minutos.

- CCS (Combined Charging System)

Sistema combinado que integra conectores AC e DC em uma única estrutura. Apresenta duas variantes: CCS Tipo 1 (utilizado na América do Norte) e CCS Tipo 2 (padrão europeu). É atualmente o sistema dominante em estações de recarga rápida, com suporte a potências superiores a 150 kW.

- Tesla Supercharger







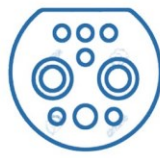

Conector proprietário da fabricante Tesla, também citado por Dayrell & Rezende (2024). Nos Estados Unidos, utiliza um design exclusivo da marca, enquanto na Europa passou a adotar o padrão CCS2 para fins de compatibilidade. A literatura técnica relata que essa tecnologia permite carregamentos ultrarrápidos, com potências de até 250 kW, integrando uma rede própria de recarga de alta eficiência.

Adicionalmente, o padrão GB/T, adotado oficialmente na China, é abordado por Dourie (2024). Esse conector é amplamente utilizado em veículos elétricos de passeio e comerciais, atendendo tanto carregamentos AC quanto DC. Seu uso predominante no território chinês representa um desafio à padronização global, considerando que ele não é compatível com os padrões CCS ou CHAdeMO. Especificações técnicas indicam suporte a potências de até 120 kW em aplicações de recarga rápida.

A Figura 3 apresenta os principais conectores utilizados mundialmente — Tipo 1, Tipo 2, CCS1, CCS2, CHAdeMO, GB/T AC, GB/T DC e Tesla Supercharger — e evidencia a diversidade de interfaces adotadas pelas diferentes regiões. Cada conector possui características técnicas específicas e distintas áreas de aplicação. Essa diversidade tecnológica, embora necessária frente às exigências regionais e de mercado, ainda representa um entrave à interoperabilidade global entre veículos elétricos e a infraestrutura de recarga disponível.

Figura 3 - Principais padrões de conectores para carregamento de veículos elétricos utilizados no mundo

OS TIPOS DE CARREGADORES MAIS USADOS NO MUNDO

<p>TIPO 1</p>  <p>Também chamado de SAE J1772, ele é mais usado nos EUA. No Brasil, veio na primeira geração do Chevrolet Bolt.</p>	<p>TIPO 2</p>  <p>Conector mais popular do mundo, ele é amplamente utilizado no Brasil para recargas públicas e domésticas.</p>	<p>GB/T AC</p>  <p>Usado para recargas em AC na China, tem bocal semelhante ao do tipo 2 e potência máxima ligeiramente maior.</p>	<p>CHAdMo</p>  <p>Padrão de corrente contínua japonês que vem sendo descontinuado até em montadoras daquele país.</p>
<p>CCS1</p>  <p>Igual ao tipo 1, mas com dois plugues extras, que operam em corrente contínua e ampliam a potência a até 350 kW.</p>	<p>CCS2</p>  <p>Equivalente ao tipo 2 do CCS1 e, portanto, bem comum no Brasil. É encontrado em posto de recarga rápida em DC.</p>	<p>GB/T DC</p>  <p>Utilizado em recargas rápidas na China, é um bocal completamente separado da conexão AC.</p>	<p>TESLA SUPERCHARGER</p>  <p>Padrão DC da Tesla que já foi abandonado pelos modelos de fabricação europeia da marca, por exemplo.</p>

Fonte: Rodriguez (2024).

2.5.2 Desafios de Compatibilidade Global

A diversidade de conectores entre as regiões pode gerar dificuldades de interoperabilidade para os motoristas de veículos elétricos, o que é apontado como um dos principais desafios para a adoção em larga escala. Por exemplo, um veículo elétrico com conector Tipo 2 pode não ser compatível com uma estação de recarga CHAdMO em outras regiões, como o Japão, ou mesmo uma estação CCS em áreas onde esse padrão é predominante. Esses desafios podem comprometer a conveniência e a adoção de veículos elétricos, especialmente para aqueles que precisam realizar viagens intercontinentais ou longas viagens internacionais, devido à falta de conectores compatíveis (Dayrell & Rezende, 2024).

A evolução para um sistema global unificado de conectores tem se mostrado uma necessidade crescente. Organizações internacionais como a IEC¹¹ têm trabalhado para promover a padronização de conectores, a fim de garantir a compatibilidade entre diferentes tipos de veículos e pontos de recarga. O CCS, por ser um sistema híbrido, combina as vantagens dos carregadores AC e DC, e está ganhando apoio global por sua capacidade de fornecer

¹¹ Comissão Eletrotécnica Internacional

soluções de carregamento tanto em alta potência quanto em baixas potências, além de ser adaptável para futuras inovações, como carregamento sem fio e tecnologias de carregamento ultrarrápido.

2.5.3 Padrões de Qualidade e Certificação

Além de garantir a compatibilidade dos conectores, a qualidade e certificação das estações de recarga desempenham um papel fundamental na interoperabilidade e segurança dos sistemas de carregamento de veículos elétricos. A certificação assegura que as estações de recarga atendam aos requisitos de segurança e eficiência energética, sendo essenciais para garantir o funcionamento adequado e seguro dos equipamentos.

A UL (Underwriters Laboratories) e a IEC são duas das principais organizações responsáveis por certificar as estações de recarga. A UL, uma organização de certificação globalmente reconhecida, tem um papel importante na avaliação de segurança elétrica e desempenho das estações de recarga, além de avaliar as características operacionais, como a resistência ao calor e à umidade. Já a IEC é a principal entidade que define os padrões técnicos globais para equipamentos elétricos e eletrônicos, incluindo as estações de recarga de veículos elétricos, garantindo que elas atendam aos critérios de compatibilidade internacional e interoperabilidade entre diferentes sistemas de recarga e modelos de veículos.

Esses padrões e certificações ajudam a evitar falhas no sistema, minimizam o risco de acidentes e garantem a eficiência energética, reduzindo as perdas de energia durante a conversão e fornecimento à bateria dos veículos. Como exemplo, o padrão CCS que é amplamente utilizado, se destaca por ser uma solução flexível, oferecendo uma plataforma eficiente para promover a interoperabilidade entre diferentes veículos elétricos e estações de recarga ao redor do mundo, facilitando a expansão da infraestrutura de recarga global (Voolta, 2023). Essas certificações garantem, portanto, não apenas a segurança do processo de carregamento, mas também contribuem para a adoção de soluções mais eficientes e sustentáveis para a mobilidade elétrica.

2.6 Tendências Futuras em Carregadores e Inovações Tecnológicas

O mercado de carregamento de veículos elétricos está em constante evolução, com inovações tecnológicas desempenhando um papel crucial na melhoria da infraestrutura de recarga e na expansão da mobilidade elétrica. As tendências futuras visam não apenas reduzir os tempos de recarga, mas também integrar as tecnologias de redes inteligentes, melhorar a eficiência energética e proporcionar uma experiência mais conveniente para os usuários.

2.6.1 Carregamento Ultrarrápido

A evolução dos carregadores ultrarrápidos representa um dos pilares mais promissores da infraestrutura de mobilidade elétrica, principalmente por seu potencial de aproximar a experiência de recarga à agilidade do abastecimento convencional de veículos a combustão. A fabricante BYD, por exemplo, desenvolveu um sistema de carregamento com potência de 1.000 kW, capaz de entregar 400 km de autonomia em apenas cinco minutos. Essa inovação não apenas reduz significativamente o tempo de recarga, como também se mostra estratégica para a popularização dos veículos elétricos em trajetos de longa distância, como rodovias e corredores logísticos, além de ambientes urbanos de alta rotatividade.

O impacto dessa tecnologia vai além da conveniência do usuário final. Estações de carregamento ultrarrápido tendem a ser decisivas para a viabilidade prática do transporte elétrico em larga escala, especialmente em países que buscam acelerar sua transição energética. A implantação dessas estações exige, entretanto, redes de energia bem estruturadas, capazes de suportar grandes demandas instantâneas de potência. Dessa forma, o avanço dos carregadores ultrarrápidos está intrinsecamente ligado ao fortalecimento da infraestrutura elétrica nacional, ampliando não apenas o alcance dos veículos elétricos, mas também a confiabilidade do sistema como um todo (Cadenaser, 2025).

2.6.2 Integração com Redes Inteligentes (Smart Grids)

A integração dos carregadores de veículos elétricos com redes inteligentes (smart grids) representa uma convergência tecnológica essencial para o futuro da mobilidade elétrica. As redes inteligentes permitem um gerenciamento energético dinâmico, no qual o carregamento dos veículos pode ser ajustado em tempo real conforme a demanda da rede elétrica. Um dos

destaques recentes nessa área é o desenvolvimento de carregadores bidirecionais, capazes de operar não apenas no carregamento, mas também no fornecimento de energia de volta à rede — tecnologia conhecida como Vehicle-to-Grid. Esse conceito transforma os veículos elétricos em agentes ativos da rede, funcionando como baterias móveis que contribuem para o equilíbrio e a estabilidade do sistema elétrico.

A Universidade do País Basco (UPV) está conduzindo pesquisas voltadas para a viabilização prática dessa abordagem, com foco em cenários urbanos como o da cidade de Vitoria. A aplicação em larga escala, no entanto, enfrenta desafios que vão desde a padronização tecnológica até mudanças regulatórias e tarifárias que incentivem a adesão por parte dos consumidores. Ainda assim, a integração com smart grids pode representar um novo paradigma de eficiência energética, onde o fluxo de energia se torna bidirecional, colaborativo e adaptável às necessidades da sociedade. Essa transformação no papel dos veículos elétricos dentro da matriz energética pode reduzir custos operacionais, evitar sobrecargas na rede e fortalecer a resiliência do sistema (Cadenaser, 2024).

2.6.3 Avanços no Design das Estações de Recarga

A transformação da infraestrutura de recarga de veículos elétricos não se limita ao aumento da potência dos carregadores, mas também envolve uma reconfiguração completa do ambiente e da experiência do usuário. Empresas como a Moeve estão reformulando o conceito tradicional de postos de serviço, propondo estações multienergia, digitalizadas e sustentáveis. Um exemplo emblemático é o projeto desenvolvido em Campo de las Naciones, em Madri, que integra carregadores ultrarrápidos de 350 kW alimentados por energia 100% renovável, além de painéis solares, jardins verticais e sistemas inteligentes de gestão de energia. A proposta vai além da simples recarga: ela insere o usuário em um ambiente que valoriza o conforto, a sustentabilidade e a inovação.

Essas estações reinventadas incorporam espaços de lazer, alimentação, descanso e comércio, incluindo parcerias com redes como Carrefour, áreas de conveniência, food halls e até estruturas para lavagem veicular de alta eficiência. Essa abordagem representa uma mudança no paradigma da mobilidade elétrica, em que a recarga deixa de ser apenas uma necessidade técnica e passa a integrar uma experiência de serviço completa e agradável. A Moeve, ligada à Cepsa, planeja converter cerca de 1.800 estações na Espanha e Portugal até

2027, com o objetivo de consolidar um novo padrão de infraestrutura voltado à descarbonização, digitalização e bem-estar do usuário (Diario AS, 2024).

2.6.4 Carregamento em Movimento (Indução Magnética)

Uma das inovações mais promissoras no campo da mobilidade elétrica é o desenvolvimento de sistemas que possibilitam o carregamento dinâmico de veículos elétricos por indução magnética, ou seja, enquanto estão em movimento. Essa tecnologia visa eliminar a necessidade de paradas em estações de recarga, permitindo que os veículos sejam abastecidos energeticamente enquanto trafegam por rodovias equipadas com a infraestrutura adequada. A França é um dos países pioneiros nessa abordagem e iniciará, em 2025, a fase experimental de uma rodovia com essas características. O projeto será implementado em um trecho de 2 km da autoestrada A10, próximo à região de Paris, e tem como objetivo avaliar o desempenho e a viabilidade técnica do sistema em condições reais de uso.

Essa solução pode representar uma revolução na forma como a energia é fornecida para veículos elétricos, especialmente em longos percursos, onde a autonomia limitada e o tempo de recarga ainda são desafios relevantes. Ao permitir que os veículos mantenham sua carga durante o deslocamento, o sistema de indução em rodovias pode reduzir significativamente o tempo total de viagem e otimizar o fluxo de transporte elétrico em corredores logísticos e áreas urbanas de alta densidade. O sucesso da iniciativa francesa poderá abrir caminho para uma reestruturação das infraestruturas rodoviárias em escala global, aproximando ainda mais os veículos elétricos de um uso contínuo, eficiente e plenamente integrado ao sistema de transporte moderno (Le Monde, 2024).

2.6.5 Desafios e Potencial para o Futuro

Apesar dos avanços notáveis no desenvolvimento de carregadores ultrarrápidos, integração com redes inteligentes, estações multifuncionais e carregamento dinâmico, a consolidação dessas tecnologias em larga escala ainda enfrenta desafios estruturais. A adoção de tais inovações demanda investimentos robustos em infraestrutura elétrica, padronização internacional de equipamentos e protocolos, e revisões regulatórias que acompanhem o ritmo da transformação tecnológica. Além disso, é necessário garantir a interoperabilidade entre

sistemas e a acessibilidade econômica para que a mobilidade elétrica se torne uma alternativa viável e equitativa para toda a população.

Apesar desses obstáculos, o cenário futuro aponta para um ecossistema de carregamento cada vez mais eficiente, sustentável e centrado na experiência do usuário. A tendência é que os sistemas se tornem mais inteligentes, integrados e automatizados, promovendo a transição para uma matriz energética limpa e uma mobilidade urbana de baixa emissão. A combinação entre inovação tecnológica, políticas públicas eficazes e colaboração entre setores público e privado será determinante para viabilizar esse novo paradigma energético, que redefine não apenas como os veículos são carregados, mas também como a energia é distribuída e consumida nas cidades do futuro.

2.7 Estudos de Caso Sobre Implementação de Estações de Recarga

A implementação de estações de recarga de veículos elétricos tem avançado rapidamente, mas a viabilidade econômica dessas infraestruturas ainda representa um grande desafio, especialmente em locais de alto tráfego, como shoppings e centros comerciais. No Center Shopping Uberlândia, a atual infraestrutura de recarga não está gerando os resultados esperados em termos de retorno financeiro, com um tempo de payback elevado. Este estudo busca explorar alternativas mais eficientes, como a substituição dos carregadores existentes por soluções mais avançadas, a fim de reduzir o tempo de retorno do investimento e aumentar a rentabilidade. Para isso, é fundamental analisar como outras implementações ao redor do mundo têm lidado com os aspectos econômicos e operacionais das estações de recarga, oferecendo insights valiosos para otimizar a operação no shopping.

2.7.1 Implementação em Centros Comerciais

A adoção de estações de recarga em centros comerciais, especialmente shoppings centers, tem se mostrado uma estratégia vantajosa tanto sob o ponto de vista operacional quanto econômico. Estudos apontam que a presença de infraestrutura de carregamento contribui diretamente para o aumento do tempo de permanência dos clientes nos estabelecimentos, o que pode gerar maior consumo em lojas e serviços, resultando em elevação das receitas. De acordo com a Tayniu, a instalação de carregadores em shoppings deve ser planejada com atenção às

particularidades do modelo de negócios, considerando, por exemplo, a alta demanda energética e a necessidade de integrar soluções sustentáveis, como sistemas solares fotovoltaicos. O estudo destaca que, embora os carregadores de corrente contínua apresentem custos iniciais mais elevados, o uso combinado com energia solar pode compensar esse investimento ao reduzir os custos operacionais e melhorar a viabilidade econômica do projeto a longo prazo.

No contexto brasileiro, empresas do setor já têm investido fortemente nesse tipo de infraestrutura. A Multiplan, por exemplo, instalou 123 carregadores em diversos shoppings de seu portfólio, com investimento aproximado de R\$ 2,6 milhões. A ação foi considerada estratégica, pois respondeu à crescente demanda por mobilidade elétrica por parte dos consumidores e, ao mesmo tempo, reforçou os compromissos da empresa com inovação e sustentabilidade. Segundo a Revista Shopping Centers, essa iniciativa também posiciona os empreendimentos da rede como ambientes modernos, alinhados com as tendências globais de descarbonização e eficiência energética.

2.7.2 Implementação em Condomínios e Residências

A instalação de estações de recarga em condomínios residenciais tem ganhado espaço à medida que cresce a frota de veículos elétricos no Brasil. A possibilidade de carregar o veículo na própria vaga representa um grande atrativo para os moradores, e tem impulsionado debates sobre a viabilidade técnica e jurídica dessa infraestrutura. Como relatado por Noéli Nobre (2025), a tramitação de propostas como o Projeto de Lei 158/25 busca garantir o direito dos condôminos de instalarem pontos individuais de recarga, desde que respeitadas as normas técnicas e a convenção do condomínio. Mesmo sem regulamentação definitiva, já é comum a instalação em condomínios horizontais e, cada vez mais, em edifícios verticais com garagem coberta.

Uma das soluções mais adotadas nesses projetos é a integração com sistemas de energia solar fotovoltaica, que permite utilizar a geração própria de eletricidade para alimentar os carregadores, reduzindo os custos com energia e aumentando a autonomia dos moradores. Algumas tecnologias atuais já oferecem inversores fotovoltaicos com carregadores veiculares integrados, o que facilita a instalação e melhora o aproveitamento energético (Flavio Abreu, 2024). Além disso, inovações como o Vehicle-to-Grid, que permite devolver energia da bateria do veículo para a rede do condomínio, vêm sendo apontadas como caminho promissor para equilibrar a carga elétrica e reduzir ainda mais os gastos coletivos (PV Magazine, 2024). No

entanto, a implementação exige planejamento adequado, avaliação da rede elétrica interna e contratação de profissionais habilitados, conforme previsto em normas como a NBR 17019. Quando bem executado, o sistema contribui não só para a comodidade dos usuários, mas também para a valorização do imóvel e o alinhamento do condomínio às metas de sustentabilidade (Habitacional, 2024).

2.7.3 Implementação em Rodovias

A instalação de estações de recarga em rodovias é essencial para garantir a viabilidade da mobilidade elétrica em longas distâncias. A infraestrutura de recarga deve ser estrategicamente posicionada para atender eficientemente os motoristas de veículos elétricos, especialmente em regiões com alto tráfego. Estudo realizado pelo Grupo de Estudos do Setor Elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) revelou que as estações de recarga em rodovias precisam ter uma integração com sistemas de geração de energia renovável e carregamento inteligente, como a utilização de fontes solares e baterias de armazenamento, para garantir uma operação eficiente e econômica. As rodovias são locais ideais para a instalação de carregadores rápidos, pois têm grande fluxo de veículos e uma alta demanda por recarga rápida. A implementação de sistemas de recarga rápidos, como demonstrado em estudos internacionais, garante que o tempo de espera dos motoristas seja reduzido significativamente, otimizando a utilização das estações e aumentando a rentabilidade do projeto (Ludovique et al, 2024).

2.7.4 Desafios Econômicos e Soluções para Implantação em Mercados Emergentes

Nos mercados emergentes, como o Brasil, a adoção de veículos elétricos enfrenta desafios significativos, especialmente em relação à infraestrutura de recarga. Um estudo realizado sobre a implementação de carregadores rápidos DC em áreas urbanas do Brasil aponta que o alto custo inicial das instalações, aliado à infraestrutura elétrica ainda em desenvolvimento, limita a expansão da rede de recarga. A pesquisa destacou que parcerias público-privadas e incentivos fiscais são cruciais para viabilizar economicamente a instalação de estações de recarga. Além disso, o estudo enfatizou que os subsídios governamentais são fundamentais para a instalação de carregadores rápidos DC em locais de grande tráfego, o que pode acelerar a adoção de veículos elétricos no país. Esse apoio é particularmente relevante em

áreas onde a adoção de veículos elétricos ainda é incipiente, como nas regiões mais distantes dos grandes centros urbanos, onde a infraestrutura de recarga é escassa (Veríssimo, 2024).

2.7.5 Exemplos Práticos e Casos de Sucesso

Diversos estudos de caso ilustram a viabilidade e os desafios da implementação de estações de recarga. Um estudo realizado no Centro de Tecnologia da UFRJ (Calçado, 2015), sobre a instalação de estações de recarga em ambientes urbanos mostrou que a viabilidade econômica depende fortemente da demanda local e da capacidade de adaptação da infraestrutura elétrica. O estudo analisou a viabilidade de instalações em condomínios e áreas comerciais, sugerindo que a instalação de carregadores rápidos DC pode ser uma solução rentável em locais de grande fluxo de veículos. Em outro estudo, a CPFL¹² Energia investiu R\$ 17 milhões na construção de um laboratório real para testar novas tecnologias de eletropostos, buscando desenvolver e aprimorar soluções para a expansão da rede de recarga no Brasil. Esses exemplos destacam como investimentos em infraestrutura e inovação tecnológica podem ser determinantes para o sucesso da implementação de estações de recarga (PNME, 2023).

¹² Companhia Paulista de Força e Luz

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização do Estudo e Abordagem Adotada

Este estudo é de natureza quantitativa e descritiva, com foco na análise de viabilidade econômica da substituição de três carregadores de veículos elétricos convencionais AC de 22 kW por um único carregador rápido DC de 30 kW. A perspectiva será exploratória, uma vez que visa investigar um cenário específico na infraestrutura de recarga de veículos elétricos, considerando a escassez de dados disponíveis sobre a situação no mercado nacional, especialmente em shoppings centers, que apresentam alta rotatividade de veículos.

A escolha do shopping center como local de análise se justifica pela sua alta circulação de carros, o que potencializa a demanda por soluções de recarga rápidas. A estação de recarga do Center Shopping Uberlândia, operada pela Lavita Energia, foi escolhida como o caso de estudo. Ela possui carregadores AC de 22 kW, que apresentam um baixo desempenho em termos de rotatividade de veículos, além de um retorno financeiro abaixo do esperado. O problema central gira em torno dos tempos de recarga elevados dos carregadores AC, que não atendem adequadamente à necessidade de recargas rápidas, impactando negativamente a experiência do usuário.

O objetivo principal do estudo é realizar uma análise econômica comparativa entre a manutenção da infraestrutura atual (três carregadores AC de 22 kW) e a substituição por um carregador DC rápido de 30 kW, com o intuito de melhorar a viabilidade financeira da estação de recarga, otimizando o fluxo de clientes e melhorando a rentabilidade da operação.

A metodologia adotada consiste em análise de dados reais provenientes da estação de recarga do Center Shopping Uberlândia. Como a amostragem de dados reais é limitada, simulações baseadas na técnica de Monte Carlo serão utilizadas para criar cenários plausíveis e enriquecer a análise, permitindo uma avaliação mais robusta das possíveis variações de custos e receitas. Essa abordagem, combinando dados reais com simulações, busca fornecer uma visão detalhada do impacto econômico da substituição da infraestrutura de recarga, considerando o cenário de demanda e as variáveis de custo operacionais.

3.2 Levantamento de Dados e Fontes Utilizadas

O levantamento de dados para a análise de viabilidade econômica da substituição dos carregadores convencionais AC por um carregador rápido DC foi realizado com base em duas fontes principais: dados operacionais reais da estação de recarga existente e informações complementares obtidas de fontes externas relevantes, como o PlugShare.

A simulação de Monte Carlo foi utilizada para complementar a análise, especialmente nos cenários onde a amostragem de dados reais era limitada. Detalhes completos da simulação e sua aplicação serão discutidos posteriormente.

3.2.1 Dados Operacionais da Estação de Recarga

A estação de recarga analisada está situada no Estacionamento E1 do Center Shopping Uberlândia, local estratégico que abriga a atual infraestrutura composta por três carregadores do modelo WEG WEMob 22 kW AC. Esses equipamentos, representados na Figura 4, são amplamente utilizados em estações de recarga brasileiras, principalmente por seu custo relativamente acessível e pela facilidade de instalação elétrica em ambientes com estrutura trifásica. Contudo, apesar dessas vantagens iniciais, a operação da estação com carregadores AC tem apresentado baixo desempenho financeiro, com retorno limitado e baixa rotatividade de veículos, o que compromete a atratividade do serviço ofertado.

Diante desse cenário, foi proposta a substituição da infraestrutura atual por um único carregador rápido DC de 30 kW, modelo NeoCharge NDC30, cuja imagem é apresentada na Figura 5. A escolha deste equipamento baseou-se em diversos critérios técnicos e econômicos. Primeiramente, a potência nominal de 30 kW se mostra suficiente para atender boa parte dos veículos elétricos atualmente comercializados no Brasil, conforme demonstrado na Tabela 5, que apresenta a potência máxima de carregamento DC e AC suportada por modelos populares vendidos em 2024. Essa inclusão se justifica pela necessidade de evidenciar a limitação significativa imposta pela potência do carregador de bordo (OBC) dos veículos em carregamentos via corrente alternada — geralmente inferior a 11 kW — o que influencia diretamente no tempo total de recarga. Ao destacar esse contraste com as potências bem mais elevadas aceitas em carregamentos DC, reforça-se a motivação técnica para a substituição proposta. A maioria dos veículos listados possui capacidade de recarga DC compatível ou

superior à potência ofertada pelo carregador proposto, o que garante sua efetividade operacional na estação.

Além disso, o NeoCharge NDC30 apresenta dimensões compactas, operação em corrente contínua com eficiência energética elevada e compatibilidade com os principais padrões de conectores utilizados no país. A instalação desse novo equipamento exige uma readequação significativa na infraestrutura elétrica existente — incluindo ajustes em cabos, disjuntores e alimentação —, o que representa um custo adicional considerável. No entanto, essa reestruturação foi analisada como viável para o contexto da proposta e será devidamente tratada nas próximas seções deste trabalho, dentro da análise de investimento e viabilidade econômica.

É importante destacar que os valores utilizados para a avaliação econômica consideram cotações reais. O preço dos carregadores AC WEG WEMob 22 kW corresponde ao valor pago na época da sua aquisição, em maio de 2024, enquanto o carregador rápido DC foi cotado em fevereiro de 2025, período correspondente à elaboração desta monografia. Essa distinção temporal assegura a coerência entre os custos efetivamente praticados no momento da aquisição e os valores estimados para a proposta de substituição.

Figura 4 - Carregador AC WEG WEMob 22 kW instalado na estação analisada



Fonte: Portal Solar (2024).

Figura 5 - Carregador Rápido DC NeoCharge NDC30 proposto para substituição



Fonte: NeoCharge (2024).

Tabela 5 - Potência máxima de carregamento AC e DC suportada pelos veículos elétricos mais vendidos no Brasil em 2024

Modelo	Potência Máxima AC (kW)	Potência Máxima DC (kW)
BYD Dolphin Mini	7.4	40.0
BYD Dolphin	7.4	50.0
BYD Dolphin Plus	7.4	60.0
GWM Ora 03	7.4	64.0
BYD Seal	11.0	150.0
Volvo EX30	11.0	134.0
BYD Yuan Plus	7.0	80.0
BYD Yuan Pro	6.6	60.0
JAC E-JS1	7.4	22.0
Renault Kwid E-Tech	3.7	30.0
Volvo XC40	11.0	151.0

Fonte: Elaborado pelo Autor com dados da ABVE (2025).

3.2.2 Fontes de Dados Externas

Além dos dados operacionais reais, a análise também se baseou em dados complementares obtidos de fontes como o PlugShare, que nos ajudou a determinar o valor de venda do kWh para a nova instalação, levando em conta preços praticados em grandes centros urbanos brasileiros, a fim de se equiparar ao que é praticado no mercado de maneira devida. Com a instalação de carregadores rápidos, é possível cobrar um valor mais alto por kWh devido à maior rapidez do processo de recarga.

Outros dados utilizados para calcular a viabilidade econômica incluem custos operacionais e infraestrutura, como alvenaria, disjuntores, cabos e instalação elétrica necessária para o novo carregador. Esses custos foram fornecidos pela Lavita Energia, empresa responsável pela operação da estação. Tais custos serão detalhados na sequência da análise financeira e, caso necessário, referências específicas serão fornecidas no Apêndice A, onde os valores exatos de infraestrutura, equipamentos e operações estarão acessíveis para consulta.

3.3 Estruturação da Análise de Viabilidade Econômica

A análise de viabilidade econômica tem como objetivo determinar se a substituição dos três carregadores convencionais AC por um único carregador rápido DC é uma alternativa vantajosa para o Center Shopping Uberlândia, tanto do ponto de vista financeiro quanto operacional. Para isso, serão considerados dois cenários: um com a infraestrutura de carregadores AC de 22kW já instalada e outro com a proposta de substituição por um carregador DC de 30kW.

3.3.1 Indicadores Econômicos Utilizados

A viabilidade econômica será analisada por meio de indicadores financeiros amplamente utilizados em projetos de investimentos, a saber: Payback, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Taxa Mínima de Atratividade (TMA). A seguir, explicamos como cada um desses indicadores será utilizado no contexto deste estudo:

- Payback

Este indicador calculará o tempo necessário para recuperar o investimento inicial, considerando os fluxos de caixa gerados pela operação da estação de recarga. A análise será realizada para os dois cenários, com a instalação de carregadores AC e com o carregador DC, de forma a comparar o tempo de retorno de cada uma das alternativas.

- Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL será utilizado para avaliar a rentabilidade do projeto ao longo do tempo, considerando a diferença entre os fluxos de caixa futuros e o investimento inicial. Um VPL positivo indicará que o projeto gera mais valor do que o custo do investimento, tornando-o financeiramente viável.

- Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR será usada para determinar a taxa de retorno do investimento, representando a taxa de desconto que faz com que o VPL seja zero. Este indicador ajudará a comparar a atratividade dos dois cenários e a decidir se o projeto é rentável em relação ao custo do capital investido.

- Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A TMA será definida como a taxa mínima de retorno exigida para que o investimento seja considerado viável, levando em conta o custo de capital e o risco associado ao projeto.

3.3.2 Modelagem Financeira e Cenários

A modelagem financeira será baseada em dados reais de operação da estação de recarga existente, bem como simulações para o cenário de substituição dos carregadores. Para o cenário com carregadores AC, será considerada a operação dos três carregadores de 22kW que já estão instalados, enquanto para o cenário com carregador DC, o modelo considerará a instalação de um carregador de 30kW.

O objetivo é comparar os dois cenários, considerando não apenas os custos operacionais, mas também os benefícios financeiros, como o aumento do fluxo de clientes e a maior eficiência na operação. O cálculo dos fluxos de caixa se baseará nas receitas geradas pela venda de energia, custos operacionais e demais especificidades que serão expostas a seguir.

3.3.3 Integração de Dados Reais e Simulados

Para a análise, serão utilizados dados reais de operação da estação de recarga, coletados entre 01/12/2024 e 11/03/2025, como o número de recargas realizadas, o tempo de permanência dos veículos e a demanda por recarga. Esses dados ajudarão a compreender a atual utilização da infraestrutura existente e a modelar o comportamento dos consumidores em um cenário mais realista.

Como a amostra de dados reais é limitada, a simulação será aplicada de maneira a gerar cenários alternativos, permitindo uma análise mais robusta das possíveis variações no comportamento dos consumidores e nos fluxos de caixa. A simulação de Monte Carlo será usada para incorporar as incertezas dos dados e para projetar diferentes cenários de receita e custo, garantindo que a análise leve em consideração as variáveis que podem impactar a viabilidade econômica do projeto.

3.4 Ferramentas de Análise Econômica Utilizadas

Antes de detalhar os indicadores econômicos utilizados, é essencial justificar a escolha metodológica adotada nesta análise. Considerando o escopo do projeto — que envolve a substituição de três carregadores AC de 22 kW por um único carregador DC de 30 kW no Center Shopping Uberlândia — foram selecionados quatro indicadores: Payback, Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Taxa Mínima de Atratividade. Essa escolha está fundamentada em uma combinação de fatores amplamente discutida na literatura, principalmente em projetos de infraestrutura com horizonte de longo prazo e alta intensidade de capital. De acordo com o estudo de Bergmann et al. (2023), essa combinação é a mais eficiente para a avaliação de investimentos no Brasil, pois cada um dos indicadores selecionados fornece uma perspectiva distinta, porém complementar, sobre a viabilidade financeira de um projeto.

Conforme o artigo, o Payback Descontado se destaca por permitir uma análise do tempo de retorno do investimento considerando o valor do dinheiro no tempo, o que é fundamental em projetos de longo prazo. Já o VPL é essencial para verificar o ganho líquido gerado pelo investimento ao final do seu ciclo de vida, ajustado à taxa mínima esperada de retorno. A TIR, por sua vez, oferece uma medida da rentabilidade percentual do projeto, enquanto a TMA representa o patamar mínimo aceitável para que o projeto seja considerado atrativo. Bergmann

et al. (2023) enfatizam que o uso conjunto desses indicadores oferece maior robustez analítica e contribui significativamente para decisões assertivas, reduzindo o risco de investimentos mal planejados e aumentando a segurança estratégica da aplicação de capital.

3.4.1 Payback e Payback Descontado

O payback é um indicador fundamental para entender o tempo necessário para recuperar o investimento inicial de um projeto. Ele ajuda a medir o risco de não conseguir retornar o valor investido em um prazo razoável. Apesar de ser simples, o payback fornece uma medida clara do tempo de recuperação e, portanto, da segurança do investimento. No entanto, sua limitação está em não considerar o valor do dinheiro no tempo nem os fluxos de caixa após o período de retorno.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Fluxo de Caixa Anual}} \quad (1)$$

Para contornar essa limitação, utiliza-se o payback descontado, que incorpora a taxa de desconto, ajustando os fluxos de caixa futuros ao seu valor presente. A equação a seguir representa o acúmulo dos fluxos de caixa descontados ao longo do tempo:

$$\text{Fluxo de Caixa}_{\text{Descontado}} = \sum \left(\frac{\text{Fluxo de Caixa}}{(1 + \text{Taxa de Desconto})^n} \right) \quad (2)$$

Nesse contexto, o payback descontado é definido como o momento em que essa soma acumulada dos fluxos de caixa descontados atinge o valor do investimento inicial. Ou seja, ele não é um valor direto obtido pela equação (2), mas sim o tempo necessário para que o retorno ajustado ao valor presente compense o investimento feito.

A taxa de desconto utilizada no cálculo é definida com base na taxa mínima de atratividade que representa o retorno mínimo esperado pelo investidor para compensar os riscos e o custo de oportunidade do capital. Dessa forma, o payback descontado fornece uma visão mais realista e precisa da viabilidade econômica do projeto, especialmente em investimentos de longo prazo como a instalação de carregadores rápidos DC.

3.4.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é um dos indicadores mais importantes para determinar se um projeto é financeiramente viável. Ele calcula a diferença entre os fluxos de caixa futuros descontados e o investimento inicial, ajustando para o valor do dinheiro no tempo. Um VPL positivo indica que o projeto gerará valor superior ao custo do investimento, tornando-o uma opção financeiramente viável.

$$VPL = \sum \left(\frac{\text{Fluxo de Caixa}}{(1 + \text{Taxa de Desconto})^n} \right) - \text{Investimento Inicial} \quad (3)$$

O VPL será calculado para os dois cenários (com os três carregadores AC e com o carregador DC), permitindo comparar os fluxos de caixa ao longo de 15 anos de vida útil dos carregadores.

3.4.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é a taxa de retorno anualizada que faz com que o VPL seja igual a zero. Em outras palavras, ela indica a rentabilidade do projeto. Quando a TIR é maior que a TMA, o projeto é considerado viável. Essa taxa de retorno é especialmente importante para comparar a atratividade de diferentes alternativas de investimento.

$$0 = \sum \left(\frac{\text{Fluxo de Caixa}}{(1 + TIR)^n} \right) - \text{Investimento Inicial} \quad (4)$$

A TIR será utilizada para comparar os dois cenários, verificando a atratividade financeira de manter os carregadores AC ou substituí-los por um carregador rápido DC.

3.4.4 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A TMA representa a taxa mínima de retorno exigida para que um investimento seja considerado viável. Essa taxa leva em consideração o custo de capital e o risco associado ao projeto. Foi adotado um valor de 20% para a TMA, baseado em estudos como o da monografia

de Lacerda Sales (2024), que aplicou esse valor para projetos de infraestrutura de recarga de veículos elétricos no Brasil. Essa escolha é adequada, dado o risco envolvido na implementação de infraestrutura de longo prazo e o alto custo de instalação dos carregadores.

$$TMA = \frac{\text{Valor de Retorno Esperado}}{\text{Investimento Inicial}} \quad (5)$$

A TMA será usada para comparar com a TIR calculada e determinar se o projeto é financeiramente atrativo.

3.4.5 Simulação de Monte Carlo Aplicada à Análise Econômica

A Simulação de Monte Carlo é uma ferramenta estatística poderosa, amplamente utilizada para tratar a incerteza e a variabilidade em sistemas econômicos e financeiros. Sua aplicação é particularmente relevante em projetos de infraestrutura com horizonte de longo prazo e múltiplas variáveis incertas, como é o caso da análise de viabilidade de estações de recarga para veículos elétricos no Brasil. Em vez de depender de estimativas pontuais, essa técnica permite a geração de milhares de cenários possíveis, oferecendo uma visão mais abrangente dos riscos envolvidos e da distribuição dos resultados esperados.

Segundo Oliveira et al. (2012), a principal vantagem da Simulação de Monte Carlo é sua capacidade de transformar modelos determinísticos, como os baseados em fluxo de caixa descontado, em modelos estocásticos. Com isso, é possível estimar probabilidades associadas a cada possível retorno financeiro, o que torna a análise muito mais robusta para tomada de decisão. Já Saraiva Júnior et al. (2011) destacam que a técnica é especialmente eficaz para analisar projetos com variáveis de entrada sujeitas à flutuação, como custos operacionais, demanda e preço da energia. A modelagem é feita a partir da atribuição de distribuições de probabilidade a essas variáveis, e os resultados são simulados iterativamente, fornecendo não apenas valores médios, mas também intervalos de confiança e medidas de risco. O processo básico da Simulação de Monte Carlo pode ser descrito nos seguintes passos:

- Definição das variáveis de entrada

As variáveis incertas são identificadas, como custos, fluxos de caixa, demanda de recarga e outros fatores operacionais, como o comportamento dos usuários e as flutuações na adoção de veículos elétricos.

- Atribuição de distribuições de probabilidade

Para cada variável, é atribuída uma distribuição de probabilidade com base em estimativas e dados disponíveis. Essas distribuições podem ser normais, uniformes ou triangulares, dependendo da natureza da variável.

- Geração de cenários simulados

A cada iteração, são gerados valores aleatórios a partir das distribuições de probabilidade e são inseridos nas equações financeiras para calcular os fluxos de caixa.

- Repetição do processo

O processo é repetido milhares de vezes, gerando uma distribuição de resultados que apresenta os diferentes cenários possíveis.

- Análise dos resultados

A análise dos resultados gerados pela simulação permite calcular intervalos de confiança para os fluxos de caixa e taxas de retorno, ajudando a identificar as probabilidades de sucesso e os riscos financeiros associados ao projeto.

A aplicação da Simulação de Monte Carlo no estudo ganha relevância devido à escassez de dados concretos sobre o comportamento do mercado de veículos elétricos no Brasil. O número de veículos elétricos é ainda incerto, e a infraestrutura de recarga está em expansão, com um número crescente de eletropostos sendo instalados, mas ainda de maneira desigual e pouco previsível. Além disso, o comportamento dos usuários de veículos elétricos, que envolve variáveis como frequência de uso, tempo de recarga desejado e valores de tarifas ainda não pode ser mapeado de forma precisa.

Na primeira análise, referente à infraestrutura atual com os três carregadores AC de 22 kW, a simulação foi utilizada para extrapolar dados reais limitados, provenientes da amostra de cerca de 100 registros entre 01/12/2024 e 11/03/2025. Dada a baixa amostragem, a simulação foi crucial para gerar cenários financeiros plausíveis, considerando as flutuações na demanda de recarga e nos custos operacionais ao longo do tempo.

Na segunda análise, que envolve a substituição por um carregador DC de 30 kW, a simulação foi aplicada de forma diferente. Como não havia amostras reais para essa nova instalação, esta foi novamente utilizada para gerar dados plausíveis sobre a demanda e fluxos

de caixa para o novo cenário, com base em estimativas de mercado e parâmetros conhecidos. O uso da simulação nos permitiu considerar as possíveis variações nas condições de mercado, como o crescimento da frota de veículos elétricos e a expansão da rede de recarga, aspectos ainda incertos, mas fundamentais para a análise da viabilidade do projeto.

Esses métodos oferecem uma quantificação de risco e permitem avaliar a viabilidade financeira do projeto sob diferentes cenários de incerteza. Ao invés de depender de uma única previsão, a Simulação de Monte Carlo permite avaliar um intervalo de possíveis resultados, considerando as incertezas associadas ao comportamento do mercado de veículos elétricos e à evolução da infraestrutura de recarga.

A aplicação de tais simulações serão detalhada posteriormente, onde será discutida as análises de viabilidade econômica para os dois cenários. Serão apresentados os parâmetros utilizados, as distribuições de probabilidade escolhidas e os cenários simulados, o que ajudará a contextualizar os resultados gerados pelas simulações dentro das condições operacionais e econômicas do estudo.

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE DA INFRAESTRUTURA ATUAL

Esta seção apresentará a análise de viabilidade econômica para a infraestrutura de recarga atual, composta por três carregadores AC de 22 kW, utilizando os dados reais disponíveis e as ferramentas econômicas já descritas. A análise será feita com base nas principais fórmulas financeiras, como valor presente líquido, taxa interna de retorno e payback, além da aplicação de simulações de Monte Carlo, que possibilitam estimar os possíveis resultados a partir das variáveis envolvidas.

Os resultados apresentados aqui foram obtidos a partir de uma modelagem financeira detalhada, cujos cálculos completos se encontram organizados em planilha eletrônica própria. Devido à extensão e complexidade desses dados, não foi possível inseri-los integralmente no corpo do texto. Por esse motivo, a planilha utilizada para a análise de viabilidade da infraestrutura atual será disponibilizada ao final deste trabalho, no Apêndice A, para consulta complementar.

4.1 Caracterização da Estação de Recarga Existente

A estação de recarga do Center Shopping Uberlândia, operada pela Lavita Energia, foi escolhida como o caso de estudo para esta análise de viabilidade econômica. Atualmente, a infraestrutura conta com três carregadores AC de 22 kW, que não têm atendido às expectativas em termos de rotatividade de veículos e retorno financeiro. A seguir, é apresentada uma descrição detalhada dos principais aspectos da infraestrutura atual, os problemas enfrentados e o impacto no desempenho da estação de recarga.

4.1.1 Infraestrutura Atual da Estação de Recarga

A estação de recarga está localizada no Estacionamento E1 do Center Shopping Uberlândia, um local de alta circulação, com grande tráfego de veículos, o que teoricamente potencializa a demanda por soluções de recarga. A infraestrutura conta com três carregadores AC de 22 kW, modelos comuns no Brasil, que foram escolhidos principalmente por seu custo acessível e pela facilidade de instalação. Estes carregadores podem operar a uma taxa de 12 horas diárias e têm como objetivo atender à crescente demanda por veículos elétricos na região,

com um investimento inicial relativamente reduzido. Esse objetivo estava alinhado com a ideia de facilitar o acesso ao carregamento de veículos, proporcionando uma solução funcional, acessível e simples de implementar.

No entanto, além dos equipamentos de recarga, a estação exigiu uma estrutura física e técnica complementar que viabilizasse sua operação de forma segura e organizada. Foi construída uma parede técnica ao fundo das vagas — conforme ilustrado na Figura 1 — que abriga a passagem dos cabos de energia e comunicação, além de dispositivos como disjuntores, modem de internet e cabeamento da rede lógica. Essa infraestrutura oculta e dedicada garante praticidade na manutenção, além de contribuir para a organização do espaço técnico e a estética do ambiente.

Do ponto de vista elétrico, também foi instalada uma rede de distribuição exclusiva, com um painel posicionado ao lado da estrutura física. Esse painel alimenta os três carregadores de forma individualizada, com disjuntores e cabos dimensionados para suportar a carga em questão. A instalação foi projetada conforme os padrões técnicos exigidos para estações de recarga veicular, garantindo confiabilidade e segurança operacional.

4.1.2 Dados Iniciais para Modelagem Financeira da Infraestrutura Atual

A análise financeira da estação de recarga considera uma série de parâmetros essenciais para entender a viabilidade da operação. Abaixo, são apresentados os dados que servirão de base para a modelagem financeira e análise de viabilidade econômica da estação de recarga:

Tabela 6 - Parâmetros gerais da infraestrutura atual

Parâmetros Gerais	
Potência do Carregador	22 kW
Número de Carregadores	3
Funcionamento Local	12 h
Custo Compra kWh	R\$ 0,71
Preço Venda kWh	R\$ 2,10

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Tabela 7 - Investimento e retorno da infraestrutura atual

Investimento e Retorno	
Carregadores Veiculares AC	R\$ 32.783,88

(continua)

(conclusão)

Investimento e Retorno	
Obra Civil	R\$ 9.850,00
Parte Elétrica	R\$ 22.000,00
Investimento Inicial Total	R\$ 64.633,88
Vida Útil do Investimento (anos)	15
Taxa Mínima de Atratividade	20%
Crescimento Anual Demanda	4%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Tabela 8 - Custos fixos mensais da infraestrutura atual

Custos Fixos Mensais	
Valor do Aluguel por m ²	R\$ 160,00
Área Alugada	37,50 m ²
Total do Aluguel	R\$ 6.000,00
Imposto sobre Faturamento	8%
Taxa de Cartão de Crédito	6%
Internet	R\$ 120,00
Manutenção App Store	R\$ 140,00
Plano de Marketing	R\$ 300,00
Custo com Pessoal - Backoffice	R\$ 1500,00
Custo com Pessoal - Suporte	R\$ 1200,00
Manutenção Instalação	R\$ 136,60
Custo Fixo Mensal Total	R\$ 9396,60
Crescimento Anual Inflação	3%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

- **Parâmetros Gerais**

A estação de recarga conta com três carregadores AC de 22 kW, operando por 12 horas diárias. O custo de aquisição da energia elétrica é de R\$ 0,71 por kWh, valor inferior ao praticado pela concessionária CEMIG D¹³, pois a Lavita Energia obtém esse fornecimento diretamente do Center Shopping Uberlândia, que dispõe de usinas solares próprias. Essa estrutura permite a comercialização da energia a preços mais competitivos, reduzindo os custos operacionais da estação. A taxa de crescimento anual da demanda por recarga foi estimada em 4%, com uma vida útil do investimento de 15 anos. A taxa mínima de atratividade (TMA) considerada para o estudo permanece em 20%, conforme estabelecido com base na literatura técnica. Além disso, tanto o custo de aquisição do kWh quanto os custos operacionais foram projetados com um acréscimo anual de 3%, compatível com a inflação média estipulada pelo

¹³ Companhia Energética do Estado de Minas Gerais Distribuição S.A.

Banco Central (2024), a fim de garantir maior realismo na modelagem dos custos ao longo do período analisado.

- Investimento Inicial

O investimento inicial da infraestrutura atual foi composto por três elementos principais: os três carregadores veiculares AC (R\$ 32.783,88), a obra civil (R\$ 9.850,00) e a parte elétrica (R\$ 22.000,00), totalizando um aporte de R\$ 64.633,88. Esse valor contempla a aquisição dos equipamentos, a execução da obra civil (incluindo a construção da parede técnica) e a instalação elétrica dedicada, composta por painel exclusivo e cabeamento dimensionado especificamente para alimentar os três carregadores. Essa estrutura foi projetada para garantir o funcionamento contínuo da estação com segurança e organização, considerando a demanda energética concentrada na operação dos equipamentos.

- Aluguel do Espaço

O valor mensal de aluguel da área ocupada pela estação de recarga é de R\$ 6.000,00. Esse valor considera um custo de R\$ 160,00 por metro quadrado, aplicado a uma área de 37,5 m² correspondente às três vagas de estacionamento utilizadas exclusivamente para recarga de veículos elétricos.

- Custos Fixos Mensais

Os custos fixos mensais incluem todas as despesas recorrentes necessárias para o funcionamento da operação. Esses custos abrangem: o aluguel do espaço (R\$ 6.000,00), serviços de internet (R\$ 120,00), manutenção da aplicação móvel Lavita Mobility (R\$ 140,00), plano de marketing (R\$ 300,00), equipe de backoffice (R\$ 1.500,00) e equipe de suporte (R\$ 1.200,00). Também são considerados os encargos financeiros, como a taxa de 8% sobre o faturamento, devido ao regime tributário de Lucro Real (Contabilizei, 2023), e 6% sobre as transações realizadas via cartão de crédito no aplicativo.

Adicionalmente, foi incorporado ao modelo um custo estimado de manutenção preventiva da instalação elétrica e dos carregadores, no valor mensal de R\$ 136,60. Esse valor foi calculado com base em uma taxa de 5% ao ano sobre o valor dos carregadores (R\$ 32.783,88), dividida em 12 parcelas mensais, considerando boas práticas de manutenção e a preservação da vida útil dos equipamentos. Com todos esses elementos, o total dos custos fixos mensais soma R\$ 9.396,60.

Ressalta-se que os encargos incidentes sobre o faturamento (tributação e taxa de cartão) foram incorporados apenas na etapa de análise econômica anual, considerando sua incidência proporcional sobre o faturamento total do período. Isso garante maior precisão nos cálculos consolidados de longo prazo, como será detalhado nas próximas seções. Assim como os demais componentes operacionais, todos os valores são corrigidos anualmente com base na inflação projetada de 3%, garantindo consistência no horizonte de análise de 15 anos.

Esses dados são fundamentais para realizar as projeções financeiras que serão utilizadas na análise de viabilidade econômica. Para melhor visualização, os parâmetros financeiros estão descritos na tabela a seguir, que inclui todos os valores relevantes que serão aplicados na análise de fluxo de caixa e cálculo dos indicadores financeiros.

4.1.3 Problemas Identificados e Objetivo da Análise

Apesar da alta demanda potencial e da infraestrutura instalada, a estação tem apresentado uma série de problemas que impactam diretamente a performance e a viabilidade financeira da operação. A baixa rotatividade de veículos é um dos principais problemas identificados. A velocidade de recarga dos carregadores AC é significativamente mais lenta em comparação aos carregadores rápidos DC, o que resulta em longos tempos de permanência dos veículos no local. Esse fator limita a atração de novos usuários e prejudica a rentabilidade da estação, uma vez que o tempo elevado de permanência reduz a capacidade de atender mais clientes por dia.

Outro ponto crítico é o desempenho financeiro da estação, que tem ficado abaixo das expectativas. O retorno financeiro da operação tem sido inferior ao esperado, devido à grandes períodos de ociosidade na utilização dos carregadores e ao longo tempo de recarga. Esse desempenho impacta diretamente a eficiência operacional e a viabilidade econômica da estação, criando um cenário em que a recuperação do investimento está projetada para levar mais tempo do que o desejado.

O principal objetivo desta seção é caracterizar adequadamente a infraestrutura existente e demonstrar o desempenho insatisfatório da estação de recarga atual. Esta análise será fundamental para comparar o cenário atual com a alternativa de substituição dos carregadores AC por um carregador DC de 30 kW, que será detalhada na próxima seção. O foco da análise

está em identificar os gargalos do sistema atual, compreender suas limitações e demonstrar o impacto da baixa velocidade de recarga na rentabilidade e atração de clientes.

4.2 Modelagem Financeira Baseada em Dados Reais

Nesta seção, será realizada a modelagem financeira da operação da estação de recarga do Center Shopping Uberlândia, baseada nos dados operacionais reais disponíveis, com o objetivo de calcular os fluxos de caixa e avaliar a viabilidade econômica do funcionamento atual da infraestrutura. O dado real disponível para essa análise é o tempo total de utilização diária dos três carregadores, com um funcionamento diário de 12 horas para cada unidade, totalizando 36 horas máximas possíveis de operação. A partir dessa informação, será possível calcular as variáveis-chave da operação da estação e, com isso, projetar o desempenho financeiro da infraestrutura. O acesso à essa amostragem está disponível no Apêndice A deste documento.

O dado fundamental para a modelagem financeira vem do tempo de utilização diária dos carregadores. Com base nesse dado, conseguimos estimar variáveis cruciais para a análise financeira, como o número de atendimentos diários, o consumo de energia e o ticket médio por usuário. A seguir, detalhamos os cálculos realizados para gerar essas estimativas.

4.2.1 Passo a Passo da Modelagem Financeira para a Infraestrutura Atual

- **Tempo Médio de Recarga por Usuário**

O primeiro passo para modelar a operação financeira é calcular o tempo médio de recarga por usuário. Utilizamos a distribuição normal para modelar a variação do tempo de recarga, com base nas amostras reais do tempo de utilização dos carregadores. Para isso, geramos um valor aleatório representando o tempo médio de recarga de cada usuário, ajustado para garantir que seja realista, com variações baseadas nos dados históricos. O cálculo do tempo médio é feito utilizando a fórmula de normalização, que considera a média e o desvio padrão dos tempos de recarga reais.

- Número de Atendimentos Estimados

Com o tempo médio de recarga calculado, podemos estimar o número de atendimentos diários. Para isso, dividimos o tempo total de utilização diária disponível (36 horas) pelo tempo médio de recarga de cada usuário, que foi obtido no passo anterior. Isso nos dá o número de usuários atendidos por dia, levando em consideração a variação da demanda de recarga, como determinado pela simulação de Monte Carlo. A relação seria:

$$Atendimentos_{Diários} = \frac{Tempo\ Total\ de\ Uso\ Diário}{Tempo\ Médio\ de\ Recarga\ por\ Usuário} \quad (6)$$

- Consumo de Energia por Usuário

O próximo passo é calcular o consumo de energia por usuário, que é diretamente proporcional ao tempo de recarga e à potência do carregador (22 kW). Utilizamos a seguinte fórmula:

$$Consumo_{Usuário} = \left(\frac{Tempo\ de\ Recarga}{60} \right) * Potência \quad (7)$$

O consumo de energia por usuário é dado em kWh, considerando o tempo de recarga (minutos) e a potência do carregador (kW). Essa fórmula é essencial para calcular os custos operacionais.

Foi assumido, de forma conservadora, que os veículos usariam a potência total do ponto de recarga, embora, na prática, o OBC de cada veículo possa limitar a potência efetiva.

- Ticket Médio por Usuário

Com o consumo de energia por usuário em mãos, podemos calcular o ticket médio por usuário. O ticket médio é obtido multiplicando o consumo de energia por usuário pelo preço de venda do kWh. A fórmula para o cálculo do ticket médio é:

$$Ticket_{Médio} = Consumo_{Usuário} * Venda_{kWh} \quad (8)$$

Onde o ticket médio por usuário e o preço de venda do kWh são dados em R\$.

O ticket médio permite calcular o faturamento diário da estação de recarga, com base no número de atendimentos diários estimados.

4.2.2 Resultados Parciais da Infraestrutura Atual

Com os cálculos dos passos anteriores, é possível determinar os resultados parciais para a operação diária da estação. Esses resultados incluem:

- Faturamento Diário

O faturamento diário, dado em R\$, é o produto do número de atendimentos diários pelo ticket médio por usuário.

$$Faturamento_{Diário} = Atendimentos_{Diários} * Ticket_{Médio} \quad (9)$$

- Custo de Energia Diário

O custo de energia diário, também em R\$, é dado pela multiplicação do número de atendimentos diários pela energia consumida por usuário e pelo custo de compra do kWh.

$$Custo_{Energia} = Atendimentos_{Diários} * Consumo_{Usuário} * Compra_{kWh} \quad (10)$$

- Lucro Bruto Diário

O lucro bruto diário, em R\$, é calculado pela subtração do custo de energia diário do faturamento diário.

$$Lucro\ Bruto_{Diário} = Faturamento_{Diário} - Custo_{Energia} \quad (11)$$

- Despesas Fixas Diárias

As despesas fixas diárias, em R\$, são calculadas a partir das despesas fixas mensais divididas por 30.

$$Despesas\ Fixas_{Diárias} = \frac{Despesas\ Fixas_{Mensais}}{30} \quad (12)$$

- Lucro Líquido Diário

O lucro líquido diário, em R\$, é o resultado da subtração das despesas fixas diárias do lucro bruto diário.

$$Lucro\ Líquido_{Diário} = Lucro\ Bruto_{Diário} - Despesas\ Fixas_{Diárias} \quad (13)$$

Esses valores são calculados diariamente e acumulados para a obtenção dos resultados anuais, que servirão como base para a análise de viabilidade econômica.

Com base nos cálculos realizados nas etapas anteriores, obtivemos os resultados parciais da operação diária da estação de recarga. Esses resultados fornecem uma visão detalhada do desempenho financeiro da instalação, essencial para a análise de viabilidade econômica.

O faturamento diário foi determinado multiplicando o número de atendimentos diários pelo ticket médio por usuário. A partir dessa fórmula, o faturamento diário da estação foi de R\$ 685,61. Esse valor reflete a receita gerada pela operação dos três carregadores AC, levando em consideração o número de usuários atendidos e o preço de venda do kWh.

O custo de energia diário, por sua vez, foi calculado levando em conta o consumo de energia dos usuários. A multiplicação da energia consumida por usuário pelo custo de compra do kWh resultou em um custo diário de R\$ 231,80. Esse valor indica o gasto com a compra de energia elétrica necessária para operar os carregadores, sendo uma das variáveis principais que impactam diretamente a operação da estação.

A partir desses dados, o lucro bruto diário foi calculado pela subtração do custo de energia do faturamento diário. Assim, o lucro bruto diário da estação foi de R\$ 453,81. Esse valor mostra o quanto a estação gera de lucro antes de descontar as despesas fixas, representando a parte da receita que fica disponível para cobrir esses custos e gerar lucro líquido.

As despesas fixas diárias foram obtidas com base nas despesas mensais fixas, que foram divididas por 30 para gerar um valor diário. Esses custos operacionais, que incluem aluguel, internet, manutenção, marketing e pessoal, resultaram em R\$ 313,22 de despesas fixas diárias.

Cabe destacar que, para fins de simplificação e clareza analítica nesta etapa parcial, não foram considerados os encargos sobre o faturamento (8%) e as taxas sobre cartão de crédito (6%) nos cálculos diários. Tais valores, no entanto, foram devidamente incorporados nos modelos anuais apresentados adiante, onde incidem diretamente sobre o faturamento bruto, garantindo maior exatidão na análise de viabilidade de longo prazo.

Por fim, o lucro líquido diário foi calculado subtraindo as despesas fixas diárias do lucro bruto diário. O valor obtido foi de R\$ 140,59, que representa o lucro efetivo da estação, após descontadas as despesas fixas, sendo essencial para avaliar a rentabilidade da operação no dia a dia.

Esses valores diários oferecem uma visão clara da operação financeira da estação de recarga, permitindo que possamos analisar o impacto da operação, identificar possíveis gargalos e comparar com as alternativas propostas. A Tabela 9 apresenta esses resultados parciais de forma detalhada:

Tabela 9 - Resultados financeiros parciais diários para a estação de recarga atual

Resultados Financeiros Diários	
Faturamento	R\$ 685,61
Custo Energia	R\$ 231,80
Lucro Bruto	R\$ 453,81
Despesas Fixas	R\$ 313,22
Lucro Líquido	R\$ 140,59

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Esses resultados parciais são fundamentais para o entendimento da operação da estação e servirão de base para os cálculos anuais, que serão detalhados na próxima fase da análise de viabilidade econômica. Além disso, ajudam a identificar áreas de melhoria e a justificar a necessidade de mudanças, como a substituição dos carregadores AC por um carregador DC mais eficiente.

4.2.3 Projeções Anuais da Infraestrutura Atual

Após calcular os resultados diários, projetamos os fluxos de caixa anuais, considerando a inflação e o crescimento da demanda de recarga. As fórmulas para as projeções anuais são:

- Faturamento Anual

O faturamento anual é estimado com base no faturamento diário médio, multiplicado por 365 dias de operação. Para refletir a tendência de aumento na demanda por recargas, aplica-se uma taxa de crescimento anual de 4%. Essa taxa foi escolhida de forma conservadora, considerando o estágio atual de desenvolvimento do mercado de veículos elétricos no Brasil. Embora os dados da ABVE indiquem um crescimento de 89% nas vendas de veículos eletrificados entre 2023 e 2024, esse ritmo acelerado é característico de mercados emergentes e tende a se estabilizar nos anos seguintes. Vale destacar que esse tipo de projeção também considera a maturação gradual do mercado, o que reforça a escolha por uma taxa mais moderada. Além disso, esse crescimento nas vendas não se traduz diretamente em um aumento

proporcional da demanda por infraestruturas públicas de carregamento, como aquelas instaladas em centros comerciais, uma vez que muitos usuários ainda optam por recargas residenciais. Assim, adota-se uma projeção mais realista e compatível com o perfil do estudo. Cabe destacar ainda que a mesma taxa de 4% foi utilizada em trabalhos acadêmicos semelhantes, como o de Sales (2024), o que contribui para a coerência metodológica da presente análise.

- **Custo de Energia Anual**

O custo anual de energia é obtido multiplicando o custo diário médio de energia pelos 365 dias do ano. Além disso, esse valor é ajustado anualmente com uma taxa de inflação de 3%, a mesma aplicada às demais despesas operacionais. Essa atualização busca refletir o aumento esperado no custo da energia adquirida, ainda que ela seja proveniente de fonte interna (usinas próprias do shopping), garantindo uma modelagem mais realista ao longo dos anos de operação.

- **Despesas Fixas Anuais**

As despesas fixas anuais são calculadas com base nos custos fixos mensais da operação, multiplicados por 12 meses e ajustados com a inflação anual projetada de 3%. Essa taxa reflete o aumento esperado dos custos operacionais ao longo do tempo, incluindo itens como internet, manutenção, pessoal e demais encargos recorrentes.

- **Lucro Líquido Anual**

O lucro líquido anual é obtido pela subtração dos custos com energia e das despesas fixas anuais em relação ao faturamento anual. O valor resultante representa o total de lucro gerado pela operação da estação de recarga ao longo de cada ano, considerando os reajustes decorrentes do crescimento da demanda, da inflação e do aumento gradual dos custos de operação.

Com esses cálculos, conseguimos projetar as variáveis de faturamento, custo de energia, despesas fixas e lucro líquido para cada um dos 15 anos de operação (vida útil dos carregadores). Essas projeções fornecem uma visão detalhada da evolução da operação, considerando o impacto da inflação nos custos e o aumento da demanda por recarga.

Com base nos resultados anuais de faturamento, custos e lucro, os fluxos de caixa foram projetados considerando a TMA de 20%, como já citado. O fluxo de caixa anual é obtido pela subtração das despesas operacionais e do custo do investimento inicial dos resultados anuais de

faturamento, representando a quantia disponível para o retorno do investimento. O fluxo de caixa acumulado é a soma do fluxo de caixa anual com os valores acumulados ao longo dos anos anteriores, permitindo visualizar o impacto financeiro do projeto ao longo do tempo. O fluxo de caixa descontado, por sua vez, aplica a TMA ao fluxo de caixa anual, trazendo os valores futuros a valor presente e considerando a perda de valor do dinheiro ao longo do tempo, essencial para avaliar a viabilidade financeira considerando o custo de capital. Por fim, o fluxo de caixa acumulado descontado é a soma dos fluxos de caixa descontados ao longo dos anos, representando o retorno financeiro do projeto e sendo uma das principais métricas para determinar sua viabilidade, considerando o valor do dinheiro no tempo.

A seguir, apresentamos as Tabelas 10 e 11 com as projeções anuais de faturamento, custo de energia, despesas fixas e lucro líquido, bem como o fluxo de caixa projetado, fluxo de caixa acumulado, fluxo de caixa descontado e fluxo de caixa acumulado descontado, que nos permitirão avaliar a viabilidade econômica do projeto a longo prazo.

Tabela 10 - Dados para a infraestrutura atual

Ano	Faturamento	Custo Energia	Despesas Fixas	Lucro Líquido
1	R\$ 246.819,00	R\$ 117.532,85	R\$ 112.759,20	R\$ 16.526,94
2	R\$ 256.691,76	R\$ 123.456,51	R\$ 116.141,98	R\$ 17.093,27
3	R\$ 266.959,43	R\$ 129.678,72	R\$ 119.626,24	R\$ 17.654,47
4	R\$ 277.637,80	R\$ 136.214,53	R\$ 123.215,02	R\$ 18.208,25
5	R\$ 288.743,31	R\$ 143.079,74	R\$ 126.911,47	R\$ 18.752,10
6	R\$ 300.293,05	R\$ 150.290,96	R\$ 130.718,82	R\$ 19.283,27
7	R\$ 312.304,77	R\$ 157.865,62	R\$ 134.640,38	R\$ 19.798,77
8	R\$ 324.796,96	R\$ 165.822,05	R\$ 138.679,59	R\$ 20.295,32
9	R\$ 337.788,84	R\$ 174.179,48	R\$ 142.839,98	R\$ 20.769,38
10	R\$ 351.300,39	R\$ 182.958,13	R\$ 147.125,18	R\$ 21.217,09
11	R\$ 365.352,41	R\$ 192.179,22	R\$ 151.538,94	R\$ 21.634,26
12	R\$ 379.966,50	R\$ 201.865,05	R\$ 156.085,10	R\$ 22.016,35
13	R\$ 395.165,16	R\$ 212.039,05	R\$ 160.767,66	R\$ 22.358,46
14	R\$ 410.971,77	R\$ 222.725,81	R\$ 165.590,69	R\$ 22.655,27
15	R\$ 427.410,64	R\$ 233.951,20	R\$ 170.558,41	R\$ 22.901,04

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Tabela 11 - Dados anuais de fluxo de caixa para a infraestrutura atual

(continua)

Ano	Fluxo de Caixa	FC Acumulado	FC Descontado	FC Acumulado Descontado
0	R\$ 0,00	-R\$ 64.633,88	R\$ 0,00	-R\$ 64.633,88
1	R\$ 16.526,94	-R\$ 48.106,94	R\$ 13.772,45	-R\$ 50.861,43
2	R\$ 17.093,27	-R\$ 31.013,67	R\$ 11.870,33	-R\$ 38.991,10

(conclusão)

Ano	Fluxo de Caixa	FC Acumulado	FC Descontado	FC Acumulado Descontado
3	R\$ 17.654,47	-R\$ 13.359,20	R\$ 10.216,71	-R\$ 28.774,40
4	R\$ 18.208,25	R\$ 4.849,05	R\$ 8.780,99	-R\$ 19.993,41
5	R\$ 18.752,10	R\$ 23.601,16	R\$ 7.536,05	-R\$ 12.457,36
6	R\$ 19.283,27	R\$ 42.884,43	R\$ 6.457,93	-R\$ 5.999,43
7	R\$ 19.798,77	R\$ 62.683,19	R\$ 5.525,47	-R\$ 473,96
8	R\$ 20.295,32	R\$ 82.978,51	R\$ 4.720,04	R\$ 4.246,08
9	R\$ 20.769,38	R\$ 103.747,89	R\$ 4.025,24	R\$ 8.271,33
10	R\$ 21.217,09	R\$ 124.964,97	R\$ 3.426,68	R\$ 11.698,01
11	R\$ 21.634,26	R\$ 146.599,23	R\$ 2.911,71	R\$ 14.609,72
12	R\$ 22.016,35	R\$ 168.615,58	R\$ 2.469,28	R\$ 17.079,00
13	R\$ 22.358,46	R\$ 190.974,04	R\$ 2.089,71	R\$ 19.168,70
14	R\$ 22.655,27	R\$ 213.629,31	R\$ 1.764,54	R\$ 20.933,25
15	R\$ 22.901,04	R\$ 236.530,35	R\$ 1.486,40	R\$ 22.419,65

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Essas tabelas com as projeções anuais e os fluxos de caixa são essenciais para avaliar a viabilidade financeira do projeto, permitindo uma análise detalhada do impacto econômico ao longo do tempo.

Os cálculos dos fluxos de caixa acumulado e descontado seguem uma estrutura sequencial. O fluxo de caixa acumulado no primeiro ano considera o investimento inicial, resultando em um valor negativo. Nos anos seguintes, esse fluxo é ajustado pela soma do valor do fluxo de caixa de cada ano, refletindo o progresso financeiro do projeto. Já o fluxo de caixa descontado, basicamente, são os valores do fluxo de caixa de cada ano é descontado com a taxa estabelecida. O fluxo de caixa acumulado descontado é então obtido somando os fluxos descontados de cada ano. O investimento inicial é considerado apenas nos fluxos de caixa acumulados, tanto simples quanto descontado, o que garante precisão nos cálculos sem duplicação de valores, mantendo a clareza na análise financeira ao longo do tempo.

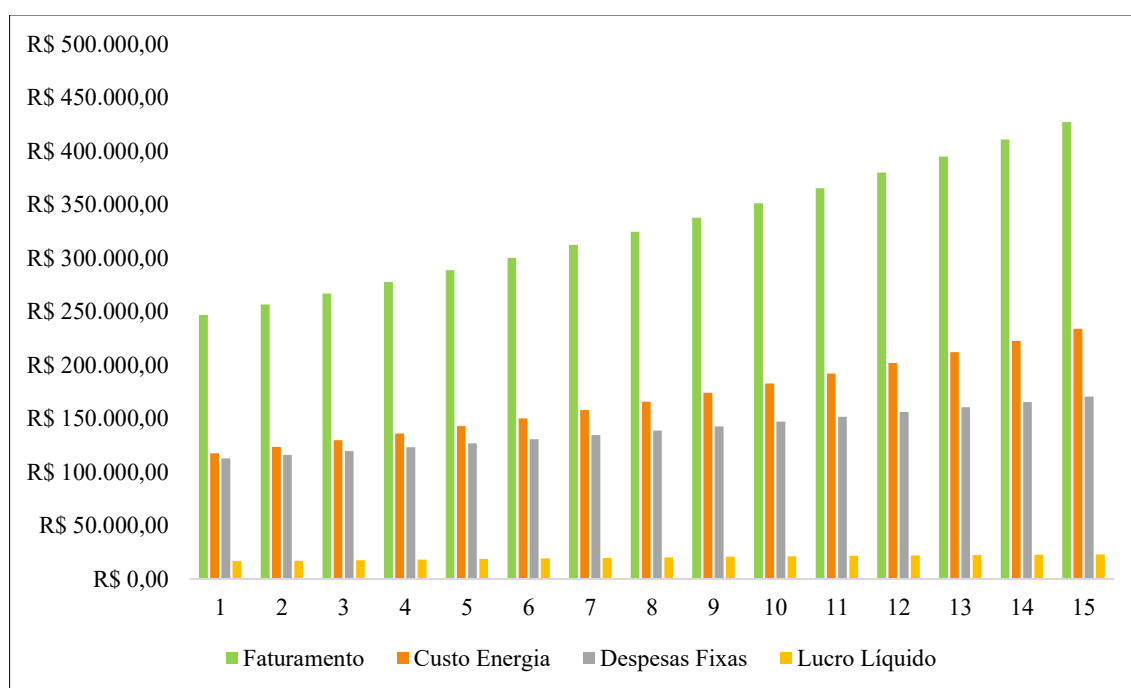
O Gráfico 6 a seguir apresenta um panorama visual da evolução anual dos principais componentes financeiros da infraestrutura de recarga atual, considerando os 15 anos de vida útil projetada para o investimento. Nela, observam-se as variações no faturamento anual, custos com energia, despesas fixas e lucro líquido, a partir dos valores já apresentados na Tabela 10 da seção anterior.

Apesar do crescimento gradual do faturamento devido ao aumento projetado da demanda (4% ao ano), o gráfico revela que os custos operacionais também acompanham uma tendência de alta ao longo do tempo, impulsionados pelos reajustes inflacionários aplicados tanto sobre o custo do kWh quanto sobre as despesas fixas (ambos projetados com 3% de

crescimento anual). Essa dinâmica faz com que o lucro líquido anual se mantenha positivo, porém relativamente modesto nos primeiros anos da operação, consolidando-se de forma mais significativa apenas a partir da segunda metade do ciclo de 15 anos.

Esse comportamento ressalta a baixa atratividade econômica da configuração atual, especialmente quando comparada à proposta alternativa com carregador DC, que será analisada na próxima seção. O gráfico cumpre, portanto, um papel importante ao materializar visualmente o impacto das projeções econômicas de longo prazo sobre a operação atual.

Gráfico 6 - Evolução anual dos indicadores econômicos da infraestrutura atual (AC)



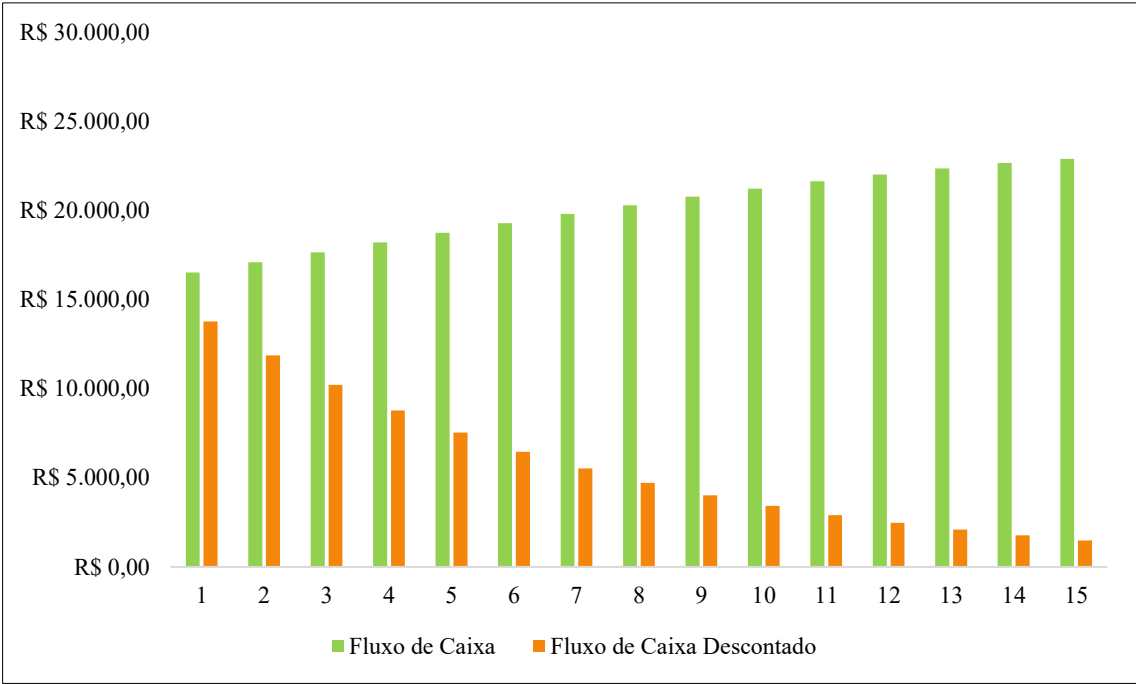
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Com base nos resultados anuais de faturamento, custos e lucro, os fluxos de caixa foram projetados considerando a TMA de 20%, como já citado anteriormente. O fluxo de caixa anual é obtido pela subtração dos custos operacionais do faturamento (ou seja, do lucro líquido) e do investimento inicial. Já o fluxo de caixa descontado aplica a TMA ao fluxo nominal, trazendo os valores futuros para o valor presente, o que é fundamental em qualquer análise de viabilidade realista e prudente.

O Gráfico 7 representa esses dois fluxos — o nominal e o descontado — permitindo visualizar a diferença entre os valores brutos projetados e os valores ajustados ao tempo. Como esperado, os fluxos descontados aparecem significativamente mais baixos que os nominais, especialmente nos primeiros anos, o que reforça a importância de considerar o valor do dinheiro

no tempo em contextos de longo prazo como o deste projeto. Essa visualização também ajuda a dimensionar a defasagem no retorno, reforçando o que já foi evidenciado pelos indicadores de payback descontado e TIR.

Gráfico 7 - Fluxo de caixa e fluxo de caixa descontado para a infraestrutura atual (AC)

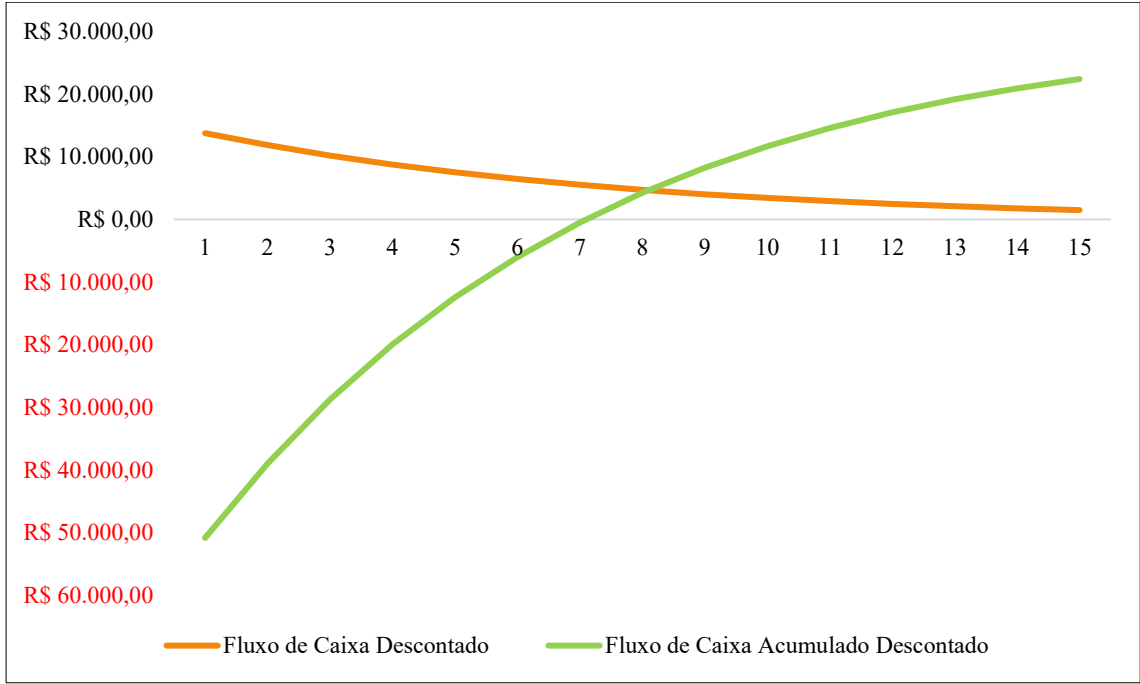


Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Além da comparação entre fluxos nominais e descontados, é essencial entender quando o investimento se paga — ou seja, em que momento o acumulado dos fluxos descontados ultrapassa o valor investido inicialmente e se torna positivo. Para isso, o Gráfico 8 apresenta duas curvas: a do fluxo de caixa descontado ano a ano e a do fluxo de caixa acumulado descontado.

Esse gráfico é extremamente relevante para investidores e tomadores de decisão, pois revela o comportamento do retorno financeiro ao longo do tempo com a devida consideração do risco embutido na taxa de atratividade. No caso da infraestrutura AC, é possível perceber que o retorno financeiro líquido descontado demora vários anos para cruzar o ponto de equilíbrio, refletindo uma viabilidade apenas marginal e com retorno tardio — um aspecto que prejudica a atratividade dessa alternativa, sobretudo em um mercado em rápida evolução como o da eletromobilidade urbana.

Gráfico 8 - Fluxo de caixa descontado e fluxo de caixa acumulado descontado para a infraestrutura atual (AC)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Assim, com base nas projeções financeiras anuais e nos gráficos apresentados, observa-se que a infraestrutura atual apresenta um desempenho econômico mais modesto e gradual, com recuperação financeira lenta ao longo do tempo. Esses resultados reforçam a necessidade de avaliar alternativas mais eficientes, cujos cálculos de retorno serão explorados na próxima seção.

4.3 Cálculo dos Indicadores Econômicos para a Infraestrutura Atual

Nesta seção, foram calculados os indicadores econômicos de viabilidade financeira do projeto, com base nos fluxos de caixa projetados para o cenário atual da estação de recarga. Os três principais indicadores analisados são o payback, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno. A seguir, são apresentados os cálculos realizados para cada indicador, considerando os dados reais de operação e os fluxos de caixa projetados.

O payback foi calculado para estimar o tempo necessário para a recuperação do investimento inicial com base nos fluxos de caixa anuais gerados pela operação da estação de recarga. Com base nos valores obtidos, o tempo necessário para a recuperação do investimento foi de 4 anos.

O payback descontado considera o valor do dinheiro no tempo, ajustando os fluxos de caixa futuros pela taxa mínima de atratividade (TMA) adotada de 20%. Esse indicador reflete uma estimativa mais realista, já que atualiza os fluxos futuros ao seu valor presente. O payback descontado encontrado nesta análise foi de 8 anos.

O valor presente líquido foi utilizado para avaliar a rentabilidade do projeto ao longo do tempo, considerando a diferença entre os fluxos de caixa projetados e o investimento inicial, ambos trazidos a valor presente pela TMA. O VPL calculado foi de R\$ 87.053,53, o que indica que o projeto tende a gerar valor ao longo dos 15 anos. No entanto, esse valor não está extremamente acima do investimento inicial de R\$ 64.633,88, o que reforça a importância de analisar com cautela os riscos e as premissas adotadas no cenário.

A taxa interna de retorno representa a taxa de retorno anual do projeto que iguala o VPL a zero. Este indicador expressa a rentabilidade percentual do investimento ao longo do tempo. A TIR obtida foi de 10,80%, indicando que o retorno do projeto está abaixo da TMA estabelecida, mas ainda demonstra viabilidade sob determinadas condições.

Esses resultados são apresentados na Tabela 12, para facilitar a visualização dos indicadores econômicos:

Tabela 12 - Indicadores financeiros para a infraestrutura atual

Indicadores Financeiros	
Payback (anos)	4
Payback Descontado (anos)	8
VPL	R\$ 87.053,53
TIR	10,80%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Diante dos resultados obtidos para a infraestrutura atual, torna-se essencial avaliar alternativas que possam oferecer maior rentabilidade e eficiência operacional. Nesse contexto, a próxima seção apresenta a análise de viabilidade econômica da proposta de substituição por um carregador rápido DC, utilizando a mesma metodologia empregada, a fim de possibilitar uma comparação direta entre os dois cenários.

4.4 Simulação de Monte Carlo Aplicada à Análise da Infraestrutura Atual

A simulação de Monte Carlo foi aplicada em duas etapas, visando gerar um número plausível de cenários futuros a partir dos dados reais limitados que possuímos. Como o comportamento de uso dos carregadores da estação de recarga do Center Shopping Uberlândia é variável, com base apenas nas amostras reais de tempo de utilização dos carregadores, a simulação foi crucial para expandir esses dados e capturar diferentes possibilidades de cenários.

4.4.1 Amostras de Tempo Total de Uso Diário

A primeira simulação ocorreu com base nos dados reais de uso diário dos três carregadores. A partir de aproximadamente 100 amostras de tempo de uso diário, foi realizada uma simulação para gerar 1.000 novos valores de tempo de utilização total. Esse procedimento foi necessário porque, embora tenhamos uma amostra limitada, queremos projetar uma gama de possíveis cenários futuros para o comportamento de uso da estação de recarga. Através dessa simulação, conseguimos gerar dados adicionais que respeitam as distribuições e variabilidades observadas nos dados históricos, proporcionando uma melhor representação da incerteza existente.

4.4.2 Amostras de Tempo de Uso por Usuário

Após a primeira simulação das 1.000 amostras de tempo total de uso diário, o próximo passo foi simular o tempo de recarga por usuário. Esse cálculo é importante porque a simulação anterior nos forneceu a distribuição total de uso dos carregadores, mas precisamos detalhar o comportamento do tempo de recarga por cada usuário. Com base nos 1.000 novos valores de tempo total de uso diário, foi aplicada outra simulação para gerar 1.000 estimativas de tempo de recarga por usuário. A aleatoriedade dessa segunda etapa foi baseada nas distribuições de tempo e variabilidade observadas, o que permitiu simular uma maior quantidade de dados para representar os diferentes cenários possíveis para cada usuário.

A razão para utilizar duas camadas de simulação está no fato de que, no contexto de dados reais limitados, a primeira simulação permite criar cenários plausíveis de uso total,

enquanto a segunda simulação detalha as variabilidades dentro desses cenários, no nível individual do usuário. Esse processo de simulação em duas etapas é vantajoso porque:

Ele aumenta a robustez da análise ao considerar tanto a variabilidade no uso total da estação quanto nas recargas individuais e permite que as simulações reflitam melhor o comportamento real dos usuários, sem sobrecarregar a análise com dados fora de um intervalo plausível de variação. A primeira simulação ajusta o tempo de uso diário com base em dados reais limitados, enquanto a segunda refina as estimativas ao aplicar aleatoriedade no nível do usuário.

Essa abordagem em duas etapas, portanto, nos fornece uma projeção mais completa e detalhada dos cenários futuros de utilização da estação, possibilitando uma análise econômica mais precisa e fundamentada. A utilização de 1.000 iterações para cada simulação também ajuda a capturar as possíveis variações nas operações, criando uma gama mais ampla de resultados plausíveis.

Após a aplicação de ambas as etapas da simulação de Monte Carlo, obtemos uma série de resultados que refletem os cenários simulados de ocupação diária, tempo de recarga por usuário e as demais variáveis operacionais, como o faturamento e os custos operacionais. Esses resultados são essenciais para a análise financeira, pois proporcionam uma visão mais robusta e realista sobre a viabilidade econômica da operação da estação de recarga. Através dessas simulações, conseguimos identificar os possíveis fluxos de caixa e os custos associados, permitindo realizar projeções mais precisas para os próximos anos.

5 ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA A INFRAESTRUTURA PROPOSTA

Esta seção apresentará a análise de viabilidade econômica para a proposta de substituição da infraestrutura atual por um único carregador rápido DC de 30 kW. A análise será conduzida com base nas premissas financeiras já estabelecidas, utilizando as mesmas ferramentas aplicadas na avaliação anterior, como Payback, VPL, TIR e a simulação de Monte Carlo. O objetivo é verificar se a nova configuração apresenta melhor desempenho econômico e operacional frente ao cenário atual, contribuindo para decisões mais estratégicas quanto à modernização da estação de recarga.

Assim como na análise anterior, os cálculos detalhados que embasam os resultados apresentados foram realizados em uma planilha eletrônica desenvolvida exclusivamente para este fim. Devido à sua extensão, os dados completos não foram inseridos diretamente no corpo do texto. Dessa forma, a planilha de viabilidade da proposta de substituição por carregador DC será disponibilizada ao final deste trabalho, no Apêndice A, permitindo consulta integral dos parâmetros e resultados obtidos.

5.1 Caracterização da Nova Estação de Recarga com Carregador DC

A proposta de substituição da atual infraestrutura por um carregador rápido DC de 30 kW tem como objetivo principal superar os gargalos identificados na configuração anterior da estação. Nesta seção, será apresentada a caracterização técnica, financeira e operacional da nova estação de recarga, que servirá como base para a análise de viabilidade econômica desenvolvida nas próximas subseções.

5.1.1 Infraestrutura Proposta da Estação de Recarga

A nova estrutura será implantada no mesmo local da anterior — o Estacionamento E1 do Center Shopping Uberlândia — aproveitando o alto fluxo de veículos característico dessa área. Com a substituição dos três carregadores AC de 22 kW por um único carregador rápido DC de 30 kW, espera-se otimizar o tempo de recarga, aumentar a rotatividade de atendimentos diários e, conseqüentemente, melhorar a atratividade e a rentabilidade da operação.

O novo carregador continuará operando por 12 horas diárias, o que permite atender diversos usuários ao longo do dia com maior agilidade, especialmente considerando sua potência superior. A escolha do modelo de 30 kW foi fundamentada na relação custo-benefício, visto que apresenta preço mais acessível quando comparado a modelos de maior potência e está plenamente compatível com a maioria dos veículos elétricos mais vendidos no Brasil, conforme discutido na Seção 3.2.1.

A implantação da nova infraestrutura exigirá intervenções elétricas específicas para garantir segurança e desempenho adequado. A parte elétrica envolverá a substituição dos cabos por condutores de maior seção, instalação de disjuntores apropriados, quadro de distribuição exclusivo e adequações nos pontos de alimentação, atendendo às exigências técnicas do novo equipamento. Além disso, será necessário realizar adaptações civis no local: desmontagem da parede técnica original e das três vagas anteriores, realocação da estrutura de proteção, reconfiguração da sinalização horizontal e vertical da nova vaga única, e instalação de novo suporte fixo para o carregador DC.

Essa readequação visa garantir o pleno funcionamento da estação com segurança e organização, aproveitando parte da infraestrutura já existente, mas também adaptando o espaço físico às exigências operacionais de um carregador rápido. A consolidação dessa nova configuração será posteriormente avaliada em termos econômicos, comparando os resultados financeiros com os obtidos no cenário anterior.

5.1.2 Dados Iniciais para Modelagem Financeira da Infraestrutura Proposta

A seguir, são apresentados os principais parâmetros que servirão de base para as projeções econômicas da nova configuração da estação de recarga. Os dados foram organizados em categorias que incluem parâmetros operacionais, valores de investimento, custos fixos e informações contratuais de uso do espaço:

Tabela 13 - Parâmetros gerais da infraestrutura proposta

Parâmetros Gerais	
Potência do Carregador	30 kW
Número de Carregadores	1
Funcionamento Local	12 h
Custo Compra kWh	R\$ 0,71
Preço Venda kWh	R\$ 3,00

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Tabela 14 - Investimento e retorno para a infraestrutura proposta

Investimento e Retorno	
Carregador Veicular DC	R\$ 58.079,00
Obra Civil	R\$ 3.300,00
Parte Elétrica	R\$ 16.000,00
Investimento Inicial Total	R\$ 77.379,00
Vida Útil do Investimento (anos)	15
Taxa Mínima de Atratividade	20%
Crescimento Anual Demanda	4%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Tabela 15 - Custos fixos mensais para infraestrutura proposta

Custos Fixos Mensais	
Valor do Aluguel por m ²	R\$ 160,00
Área Alugada	12,50 m ²
Total do Aluguel	R\$ 2.000,00
Imposto sobre Faturamento	8%
Taxa de Cartão de Crédito	6%
Internet	R\$ 120,00
Manutenção App Store	R\$ 140,00
Plano de Marketing	R\$ 300,00
Custo com Pessoal - Backoffice	R\$ 1500,00
Custo com Pessoal - Suporte	R\$ 1200,00
Manutenção Instalação	R\$ 242,00
Custo Fixo Mensal Total	R\$ 5502,00
Crescimento Anual Inflação	3%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

- Parâmetros Gerais

A operação da nova estação de recarga baseia-se em um único carregador rápido de 30 kW, com funcionamento previsto de 12 horas por dia. O custo de compra da energia elétrica foi mantido inicialmente em R\$ 0,71/kWh, com fornecimento direto das usinas solares do Center Shopping Uberlândia — mesma estrutura utilizada no cenário anterior. No entanto, visando uma projeção mais realista ao longo do período analisado, esse valor também foi ajustado anualmente com base em uma taxa de inflação de 3%, conforme média projetada pelo Banco Central (BCB, 2024), da mesma forma que os demais custos operacionais.

A tarifa de venda ao consumidor final foi estabelecida em R\$ 3,00/kWh, a partir de um levantamento realizado com base na plataforma PlugShare, que oferece uma amostragem dos preços praticados nos grandes centros urbanos mais próximos à Uberlândia, como Goiânia,

Belo Horizonte, Campinas e São Paulo. Essa abordagem foi adotada diante da indisponibilidade de bases de dados públicas consolidadas sobre tarifas de recarga no Brasil, o que torna essa metodologia uma alternativa plausível para refletir o cenário tarifário atual do setor.

- Investimento Inicial

O investimento necessário para a implantação da nova estação de recarga foi estruturado em três categorias principais: aquisição do carregador rápido DC (R\$ 58.079,00), parte elétrica (R\$ 16.000,00) e obra civil (R\$ 3.300,00), totalizando um investimento inicial de R\$ 77.379,00. Esses valores foram cotados em fevereiro de 2025, especificamente para a elaboração deste estudo, com base nos equipamentos e serviços atualmente disponíveis no mercado. A vida útil considerada para o novo carregador é de 15 anos, a mesma utilizada no cenário da infraestrutura AC. A taxa mínima de atratividade adotada permanece em 20%, conforme fundamentação já apresentada com base em estudos de viabilidade aplicados à eletromobilidade no Brasil.

- Aluguel do Espaço

Com a transição para apenas uma vaga de estacionamento, a nova estação ocupa uma área de 12,5 m². Considerando o valor de R\$ 160,00/m² praticado no Center Shopping Uberlândia, o custo mensal de aluguel foi reduzido para R\$ 2.000,00. Este valor foi incorporado ao conjunto de despesas operacionais mensais e representa uma economia significativa frente ao modelo anterior, contribuindo para a otimização dos custos fixos da operação em ambientes com alto valor por metro quadrado.

- Custos Fixos Mensais

Os custos fixos mensais abrangem o valor do aluguel do espaço (R\$ 2.000,00), além das despesas com internet (R\$ 120,00), manutenção do aplicativo Lavita Mobility (R\$ 140,00), plano de marketing (R\$ 300,00), equipe de backoffice (R\$ 1.500,00) e equipe de suporte (R\$ 1.200,00), totalizando R\$ 5.260,00. Assim como no cenário anterior, são aplicadas as taxas de 8% sobre o faturamento (referentes ao regime tributário de Lucro Real) e de 6% sobre as transações com cartão de crédito.

Adicionalmente, foi incorporado um custo de manutenção mensal para a instalação, estimado em R\$ 242,00. Esse valor corresponde a 5% ao ano do custo do carregador (R\$ 58.079,00), dividido em 12 meses, e foi incluído com base em boas práticas para a preservação da infraestrutura e mitigação de falhas técnicas ao longo do tempo. Todos os custos

fixos foram projetados com correção anual de 3%, acompanhando a inflação, o que garante maior aderência do modelo às condições reais de operação ao longo dos 15 anos de análise.

Esses parâmetros servirão de base para a modelagem financeira da nova infraestrutura de recarga, que será detalhada nas subseções seguintes, onde serão apresentadas as simulações realizadas, as estimativas de desempenho financeiro e os resultados dos indicadores econômicos aplicados.

5.2 Modelagem Financeira com Base em Simulações

Diferentemente da análise anterior, baseada em dados reais de utilização da infraestrutura existente, a modelagem financeira para o cenário proposto com um carregador rápido DC de 30 kW foi desenvolvida inteiramente a partir de simulações. Isso se deve, em primeiro lugar, à indisponibilidade de dados operacionais reais sobre o desempenho de carregadores rápidos neste local específico, uma vez que a estação ainda não passou por substituição ou operação piloto que permita aferir parâmetros concretos. Além disso, mesmo em fontes de domínio público e artigos acadêmicos, não foram encontrados dados com o nível de granularidade necessário para sustentar a abordagem proposta neste estudo, o que reforçou a necessidade de simular os dados operacionais de forma plausível e tecnicamente justificada.

Para construir esse modelo, foi utilizada a técnica de Simulação de Monte Carlo, aplicada em diferentes etapas da análise, de modo a permitir a geração de cenários variados, estatisticamente válidos e alinhados com o comportamento esperado do mercado brasileiro de veículos elétricos. A base para essa simulação foi construída a partir das capacidades reais de bateria dos principais veículos elétricos vendidos no Brasil, conforme será apresentado na próxima subseção. A partir dessas capacidades e de uma faixa realista de carga inicial, foi possível simular a energia necessária por atendimento, o tempo médio de recarga e o ticket médio de cada usuário.

Além disso, o tempo total de ocupação diária do carregador também foi simulado por meio de 1.000 iterações, o que permitiu estimar a quantidade de usuários atendidos por dia com base nas variações naturais de demanda. Esses dados simulados permitiram o cálculo do faturamento diário, custos de energia, despesas operacionais e, por fim, o lucro líquido estimado, que servirá de base para os cálculos anuais e os indicadores econômicos.

A seguir, serão descritas detalhadamente as etapas da modelagem financeira, com base na estrutura adotada na seção anterior. A intenção é garantir coerência metodológica e permitir uma comparação clara e justa entre os dois cenários analisados: o atual, com três carregadores AC de 22 kW, e o proposto, com um carregador rápido DC de 30 kW.

5.2.1 Passo a Passo da Modelagem Financeira para a Infraestrutura Proposta

Para a realização da modelagem financeira do cenário proposto com um carregador DC de 30 kW, foi necessário simular o comportamento de recarga dos usuários com base em variáveis técnicas dos veículos mais vendidos no Brasil. O primeiro passo, portanto, consistiu na construção de uma base de dados contendo as capacidades das baterias desses veículos, conforme apresentado na Tabela 16 a seguir.

Tabela 16 - Capacidade das baterias dos veículos elétricos mais vendidos no Brasil em 2024

Modelo	Capacidade (kWh)
BYD Dolphin Mini	38.0
BYD Dolphin	44.9
BYD Dolphin Plus	60.0
GWM Ora 03	48.0
BYD Seal	82.5
Volvo EX30	49.0, 51.0 e 69.0
BYD Yuan Plus	60.5
BYD Yuan Pro	45.1
JAC E-JS1	30.2
Renault Kwid E-Tech	26.8
Volvo XC40	69.0, 78.0 e 82.0

Fonte: Elaborado pelo Autor com dados da ABVE (2025).

Essa tabela serviu como referência para a simulação da energia necessária por atendimento, considerando também uma faixa realista de recarga parcial entre 10% e 70% da carga total da bateria. Essa faixa foi adotada com base em estudos de comportamento de usuários de veículos elétricos, que tendem a utilizar estações públicas para complementos parciais de carga e não recargas completas. A partir dessa base, as etapas da modelagem seguiram a lógica descrita a seguir:

- Capacidade da Bateria e Carga Inicial (%)

A simulação começou com a geração de 1.000 valores aleatórios de capacidade de bateria, com distribuição normal em torno da média dos dados da tabela anterior. Cada valor foi limitado ao intervalo entre 26,8 kWh (menor bateria da amostra) e 82,5 kWh (maior). Em seguida, foi atribuída aleatoriamente uma carga inicial para cada caso, variando entre 10% e 70%..

- Energia Necessária por Usuário (kWh)

Com base nos dados anteriores, foi calculada a energia necessária para cada atendimento, representando a quantidade de energia que o usuário precisaria repor em sua bateria:

$$Energia_{Necessária} = Capacidade_{Bateria} * (1 - Carga_{Inicial}) \quad (14)$$

- Tempo de Recarga (min)

Sabendo que a potência do carregador DC proposto é de 30 kW, o tempo de recarga em minutos foi calculado como:

$$Tempo_{Recarga} = \left(\frac{Energia_{Necessária}}{30} \right) * 60 \quad (15)$$

Vale destacar que os tempos de recarga resultantes são, naturalmente, menores do que os observados no cenário anterior com carregadores AC, não apenas por diferenças estatísticas nas simulações, mas principalmente pelo fato de os carregadores DC atuarem diretamente na bateria dos veículos, sem as limitações impostas pelos conversores embarcados presentes nas recargas em corrente alternada.

- Ticket Médio por Usuário (R\$)

O ticket médio foi calculado multiplicando a energia consumida pelo preço de venda do kWh adotado para este cenário, que foi de R\$ 3,00, com base em análise tarifária de estações urbanas em grandes centros urbanos via o site PlugShare:

$$Ticket_{Médio} = Consumo_{Usuário} * Venda_{kWh} \quad (16)$$

- Tempo de Uso Total Diário e Atendimentos Estimados

Após a simulação dos tempos individuais de recarga, foi realizada uma segunda simulação para o tempo total de uso diário do carregador (limitado a 12 horas, ou 720 minutos). Cada valor simulado foi obtido a partir da soma de tempos de recarga aleatórios, representando uma carga variada de atendimentos por dia.

$$Atendimentos_{Diários} = \frac{\text{Tempo Total de Uso Diário}}{\text{Tempo Médio de Recarga por Usuário}} \quad (17)$$

5.2.2 Resultados Parciais da Infraestrutura Proposta

Os cálculos apresentados a seguir seguem a mesma lógica empregada na análise anterior da infraestrutura AC, utilizando os mesmos fundamentos financeiros e operacionais, como base no número de atendimentos estimados, ticket médio por usuário, custos variáveis de energia e despesas fixas diárias. No entanto, os valores aqui refletem a operação simulada do novo cenário, com um único carregador rápido DC de 30 kW.

O faturamento diário foi estimado com base na multiplicação entre o número médio de atendimentos e o ticket médio por usuário, resultando em um valor médio de R\$ 625,95. Esse montante representa a receita bruta projetada para a operação diária, considerando a tarifa de R\$ 3,00 por kWh praticada neste novo cenário.

Em seguida, o custo de energia diário foi apurado multiplicando-se o número de atendimentos, a energia média consumida por usuário e o custo de aquisição da energia (R\$ 0,71/kWh), totalizando R\$ 148,14. Esse valor reflete o custo variável mais relevante da operação, sendo diretamente proporcional à demanda por recarga.

A partir desses dois valores, foi possível calcular o lucro bruto diário, resultando em R\$ 477,81. Esse valor indica o retorno obtido antes da dedução das despesas fixas, representando a margem operacional direta da estação.

As despesas fixas diárias, já apuradas a partir do custo mensal total de R\$ 5.502,00 (incluindo aluguel, encargos e manutenção da instalação), foram estimadas em R\$ 183,40. Como essas despesas já foram descritas em detalhe na seção anterior, não serão repetidas aqui para evitar redundância.

É importante observar que, assim como na análise anterior, os valores diários apresentados nesta etapa têm caráter ilustrativo e não incluem encargos incidentes sobre o

faturamento, como tributos (8%) e taxas de cartão (6%). Esses elementos foram devidamente considerados na modelagem financeira ao longo do horizonte de 15 anos, o que garante uma análise completa e realista da viabilidade da proposta.

Por fim, o lucro líquido diário foi obtido subtraindo-se as despesas fixas do lucro bruto, chegando a R\$ 294,41. Esse valor expressa o resultado efetivo diário da operação da estação com carregador DC, sendo um importante indicativo da viabilidade financeira do novo modelo proposto.

Esses resultados fornecem uma base sólida para a projeção dos indicadores de longo prazo, que serão tratados na próxima subseção. A seguir, apresenta-se a Tabela 17 com os valores apurados.

Tabela 17 - Resultados financeiros parciais diários para a estação de recarga proposta

Resultados Financeiros Diários	
Faturamento	R\$ 625,95
Custo Energia	R\$ 148,14
Lucro Bruto	R\$ 477,81
Despesas Fixas	R\$ 183,40
Lucro Líquido	R\$ 294,41

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

5.2.3 Projeções Anuais da Infraestrutura Proposta

A partir dos resultados parciais obtidos para a operação diária do carregador rápido DC, foi possível projetar os fluxos de caixa anuais ao longo dos 15 anos de vida útil do investimento. Assim como descrito na seção 4.2.3, foram considerados dois principais fatores de variação nas projeções: o crescimento anual da demanda por recarga, estimado em 4%, e o reajuste anual das despesas fixas com base em uma inflação de 3%.

A metodologia aplicada segue exatamente os mesmos critérios adotados na análise anterior. A projeção do faturamento anual foi realizada com base no faturamento diário médio multiplicado por 365 dias, incorporando a taxa de crescimento da demanda. O custo de energia anual foi igualmente calculado com base no consumo diário médio e no número de dias operacionais. Já as despesas fixas foram ajustadas ano a ano com base na inflação, representando o impacto esperado do aumento dos custos operacionais. O lucro líquido anual, por sua vez, resulta da diferença entre faturamento, custo de energia e despesas fixas.

Com esses valores anuais, foram calculados os fluxos de caixa do projeto, tanto nominais quanto descontados pela taxa mínima de atratividade de 20%, permitindo observar o comportamento do retorno financeiro ao longo do tempo. Essa abordagem padronizada entre os dois cenários assegura a comparabilidade dos resultados e a consistência da análise de viabilidade econômica.

As Tabelas 18 e 19 a seguir apresentam os dados anuais de faturamento, custo de energia, despesas operacionais e lucro líquido, seguidos pelos fluxos de caixa nominais e descontados, que serão utilizados na próxima seção para o cálculo dos indicadores econômicos.

Tabela 18 - Dados anuais para a infraestrutura proposta

Ano	Faturamento	Custo Energia	Despesas Fixas	Lucro Líquido
1	R\$ 225.340,93	R\$ 75.113,64	R\$ 66.024,00	R\$ 84.203,29
2	R\$ 234.354,57	R\$ 80.461,73	R\$ 68.004,72	R\$ 85.888,11
3	R\$ 243.728,75	R\$ 86.190,61	R\$ 70.044,86	R\$ 87.493,28
4	R\$ 253.477,90	R\$ 92.327,38	R\$ 72.146,21	R\$ 89.004,31
5	R\$ 263.617,02	R\$ 98.901,09	R\$ 74.310,59	R\$ 90.405,33
6	R\$ 274.161,70	R\$ 105.942,85	R\$ 76.539,91	R\$ 91.678,94
7	R\$ 285.128,16	R\$ 113.485,98	R\$ 78.836,11	R\$ 92.806,08
8	R\$ 296.533,29	R\$ 121.566,18	R\$ 81.201,19	R\$ 93.765,92
9	R\$ 308.394,62	R\$ 130.221,69	R\$ 83.637,23	R\$ 94.535,70
10	R\$ 320.730,41	R\$ 139.493,48	R\$ 86.146,34	R\$ 95.090,58
11	R\$ 333.559,62	R\$ 149.425,41	R\$ 88.730,74	R\$ 95.403,48
12	R\$ 346.902,01	R\$ 160.064,50	R\$ 91.392,66	R\$ 95.444,85
13	R\$ 360.778,09	R\$ 171.461,10	R\$ 94.134,44	R\$ 95.182,56
14	R\$ 375.209,21	R\$ 183.669,13	R\$ 96.958,47	R\$ 94.581,62
15	R\$ 390.217,58	R\$ 196.746,37	R\$ 99.867,22	R\$ 93.603,99

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Tabela 19 - Dados anuais de fluxo de caixa para a infraestrutura proposta

(continua)

Ano	Fluxo de Caixa	FC Acumulado	FC Descontado	FC Descontado Acumulado
0	R\$ 0,00	-R\$ 77.379,00	R\$ 0,00	-R\$ 77.379,00
1	R\$ 84.203,29	R\$ 6.824,29	R\$ 70.169,41	-R\$ 7.209,59
2	R\$ 85.888,11	R\$ 92.712,40	R\$ 59.644,52	R\$ 52.434,93
3	R\$ 87.493,28	R\$ 180.205,68	R\$ 50.632,68	R\$ 103.067,61
4	R\$ 89.004,31	R\$ 269.209,99	R\$ 42.922,60	R\$ 145.990,22
5	R\$ 90.405,33	R\$ 359.615,32	R\$ 36.331,87	R\$ 182.322,09
6	R\$ 91.678,94	R\$ 451.294,26	R\$ 30.703,09	R\$ 213.025,18
7	R\$ 92.806,08	R\$ 544.100,33	R\$ 25.900,47	R\$ 238.925,65
8	R\$ 93.765,92	R\$ 637.866,25	R\$ 21.806,96	R\$ 260.732,61
9	R\$ 94.535,70	R\$ 732.401,95	R\$ 18.321,65	R\$ 279.054,26

(conclusão)

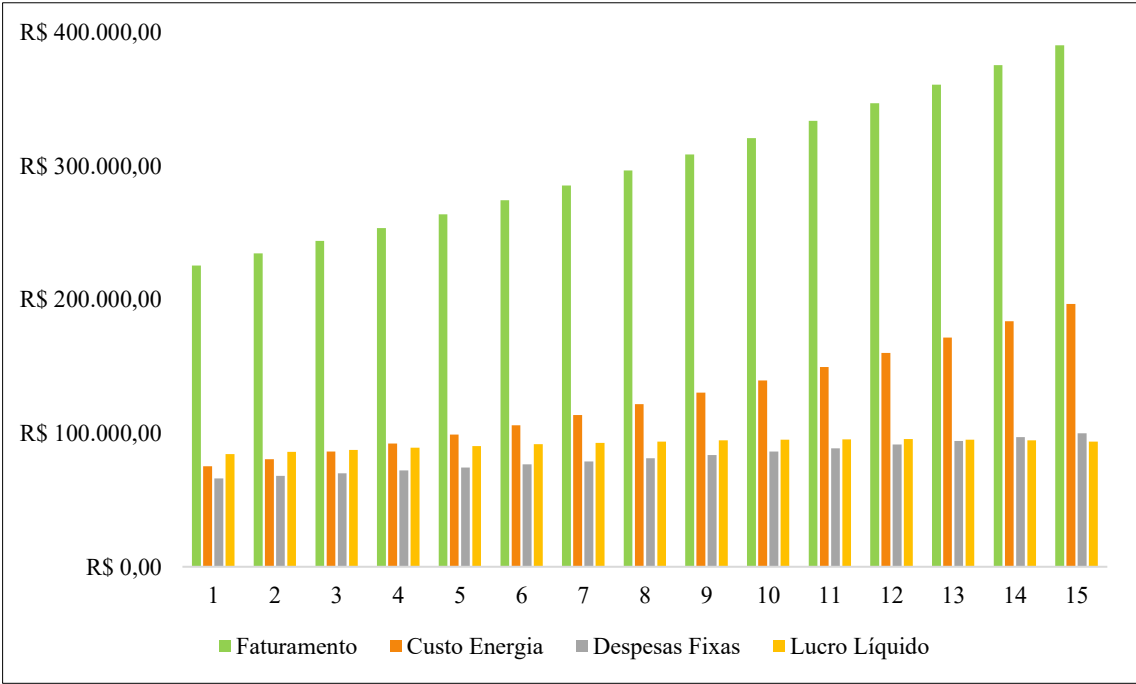
Ano	Fluxo de Caixa	FC Acumulado	FC Descontado	FC Descontado Acumulado
10	R\$ 95.090,58	R\$ 827.492,54	R\$ 15.357,66	R\$ 294.411,92
11	R\$ 95.403,48	R\$ 922.896,01	R\$ 12.840,16	R\$ 307.252,08
12	R\$ 95.444,85	R\$ 1.018.340,86	R\$ 10.704,77	R\$ 317.956,86
13	R\$ 95.182,56	R\$ 1.113.523,42	R\$ 8.896,13	R\$ 326.852,99
14	R\$ 94.581,62	R\$ 1.208.105,03	R\$ 7.366,64	R\$ 334.219,63
15	R\$ 93.603,99	R\$ 1.301.709,02	R\$ 6.075,41	R\$ 340.295,04

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Vale esclarecer que, assim como no cenário atual, o investimento inicial da proposta foi incorporado ao fluxo de caixa acumulado logo no primeiro ano. Por esse motivo, o fluxo anual reflete apenas o desempenho da operação, enquanto o acumulado já começa negativo, pois considera o impacto imediato do valor investido antes do início das atividades.

Para complementar a análise, os gráficos a seguir ilustram a evolução das variáveis ao longo dos 15 anos do projeto, facilitando a compreensão dos resultados e das relações entre custos, receitas e retornos. O Gráfico 9 apresenta o faturamento, custo de energia, despesas fixas e lucro líquido anual. Diferente do cenário anterior, o lucro líquido se mantém alto e estável, refletindo uma operação mais eficiente. Mesmo com reajustes, o crescimento do faturamento reforça a viabilidade do investimento.

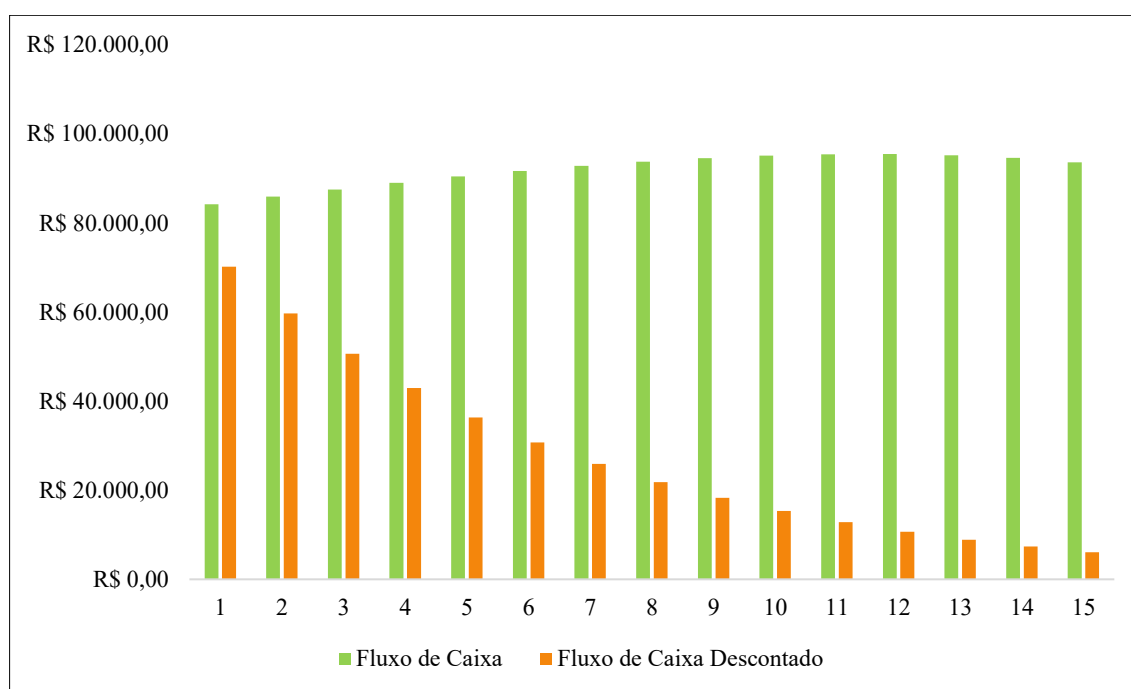
Gráfico 9 - Evolução anual dos indicadores econômicos da infraestrutura proposta (DC)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Já o Gráfico 10 representa os valores do Fluxo de Caixa e do Fluxo de Caixa Descontado ao longo dos anos. Essa comparação é essencial para avaliar a diferença entre o valor nominal dos retornos e seu equivalente ajustado ao valor presente. A aplicação do desconto revela o quanto os lucros projetados perdem valor ao longo do tempo, evidenciando a necessidade de retornos antecipados para compensar o custo de capital.

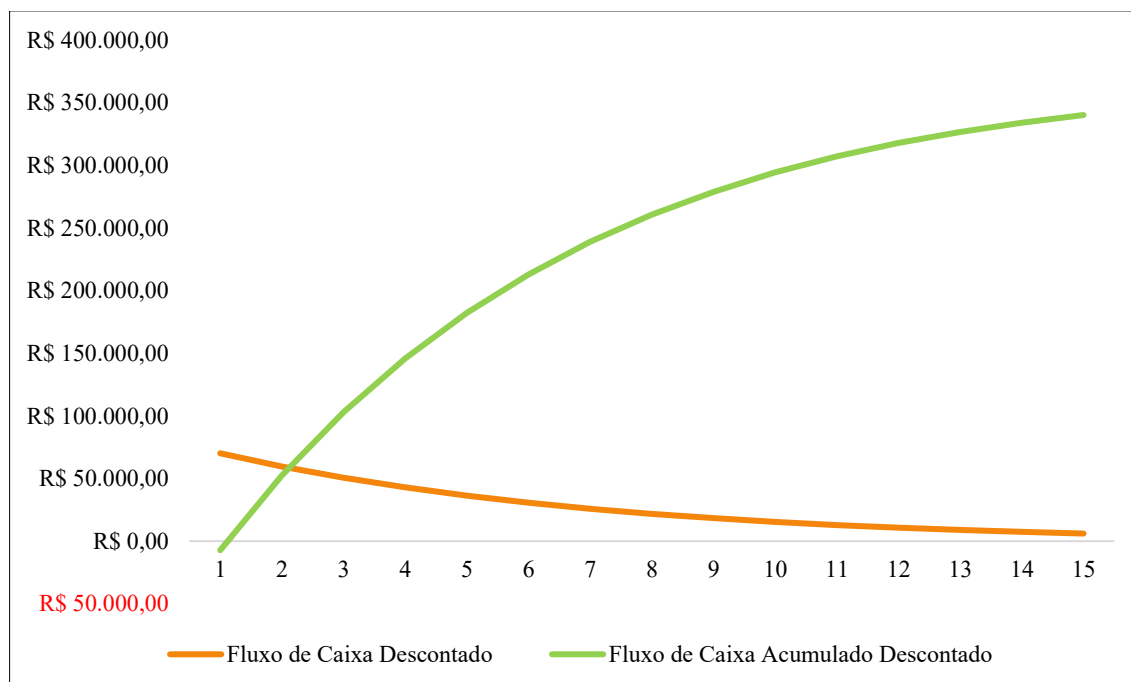
Gráfico 10 - Fluxo de caixa e fluxo de caixa descontado para a infraestrutura proposta (DC)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Por fim, o Gráfico 11 mostra a relação entre o Fluxo de Caixa Descontado e o Fluxo de Caixa Descontado Acumulado. Esse último indicador é o que efetivamente demonstra quando o projeto atinge o ponto de equilíbrio sob a ótica financeira descontada, ou seja, quando o capital investido é recuperado levando-se em conta a TMA. Essa visualização é particularmente relevante em mercados emergentes, onde o risco do investimento é elevado e o retorno precisa ser analisado com cautela.

Gráfico 11 - Fluxo de caixa descontado e fluxo de caixa descontado acumulado para a infraestrutura proposta (DC)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Assim, a partir das projeções financeiras anuais e dos respectivos gráficos, é possível afirmar que o cenário com carregador rápido DC apresenta um desempenho econômico mais expressivo e sustentável ao longo do tempo, criando uma base sólida para os cálculos de retorno que serão discutidos na próxima seção.

5.3 Cálculo dos Indicadores Econômicos para a Infraestrutura Proposta

Com base nos fluxos de caixa projetados na seção anterior, foram calculados os principais indicadores econômicos que permitem avaliar a viabilidade financeira da proposta de substituição dos três carregadores AC por um único carregador rápido DC de 30 kW. Os mesmos critérios aplicados na seção 4.3 foram mantidos aqui, assegurando a comparabilidade direta entre os dois cenários.

O payback simples indica o tempo necessário para que o valor investido seja recuperado por meio dos lucros gerados anualmente pela operação. No cenário proposto, essa recuperação ocorre já no primeiro ano, refletindo um retorno ágil do capital investido.

O payback descontado, que considera o valor do dinheiro no tempo com a aplicação da TMA de 20%, aponta para a recuperação do investimento no segundo ano. Isso demonstra um desempenho financeiro atrativo mesmo sob uma análise mais conservadora.

O valor presente líquido calculado foi de R\$ 417.674,04, valor consideravelmente superior ao observado no cenário atual, reforçando o ganho expressivo ao optar pela nova infraestrutura.

A taxa interna de retorno foi estimada em 21,17%, ou seja, levemente acima da TMA utilizada. Embora seja prudente considerar os riscos e incertezas que podem influenciar os resultados ao longo do tempo, os dados indicam que a proposta apresenta uma margem de retorno segura e consideravelmente mais atrativa em comparação ao cenário atual. Isso reforça o potencial financeiro da substituição da infraestrutura, tanto em termos de rentabilidade quanto de eficiência do investimento.

A seguir, os resultados estão organizados na Tabela 20:

Tabela 20 - Indicadores financeiros para a infraestrutura proposta

Indicadores Financeiros	
Payback (anos)	1
Payback Descontado (anos)	2
VPL	R\$ 417.674,04
TIR	21,17%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Os resultados demonstram, de forma objetiva, a superioridade econômica do cenário com carregador DC em relação ao modelo atual, indicando maior retorno, menor tempo de recuperação e maior geração de valor ao longo do ciclo de vida da estação de recarga.

5.4 Simulação de Monte Carlo Aplicada à Nova Infraestrutura com Carregador DC

Assim como na análise anterior, a simulação de Monte Carlo foi utilizada nesta seção como ferramenta essencial para lidar com a limitação de dados reais sobre a operação de carregadores rápidos DC em estacionamentos de shopping centers, especialmente com a abordagem de dados detalhados que o estudo exige. Como não há informações em domínio público (em artigos ou sites especializados) que contenham, com a granularidade necessária, variáveis como tempo médio de recarga por usuário, faixa de bateria utilizada ou ticket médio

para carregadores DC de 30 kW, optou-se novamente pela aplicação de uma simulação probabilística em duas etapas.

A simulação foi conduzida a partir de uma lógica distinta da empregada no cenário AC, já que não partimos de dados reais de uso direto da estação, mas sim da modelagem de variáveis operacionais baseadas em especificações técnicas dos veículos elétricos mais vendidos no Brasil e em práticas de carregamento típicas observadas em usuários desses modelos.

5.4.1 Geração de Amostras com Base nas Características das Baterias

Na primeira etapa da simulação, foram gerados 1.000 valores aleatórios de capacidade de bateria, com base na distribuição estatística (normal) dos modelos de veículos elétricos mais populares no país, conforme tabela apresentada anteriormente na seção 3.2.1. Os valores foram limitados ao intervalo real das baterias analisadas — de 26,8 kWh (Renault Kwid E-Tech) até 82,5 kWh (BYD Seal) — com o intuito de evitar desvios não representativos.

Em seguida, para cada veículo simulado, foi atribuída uma carga inicial aleatória entre 10% e 70%, representando um intervalo plausível de chegada dos usuários ao ponto de recarga. Essa faixa foi escolhida por refletir práticas reais de uso: é comum que motoristas procurem carregadores quando ainda têm uma certa autonomia remanescente (acima de 10%), mas dificilmente utilizem o serviço já com a bateria quase descarregada ou quase cheia, o que tornaria o tempo de recarga desnecessário ou muito pequeno.

A partir disso, foi possível calcular a energia necessária por sessão de recarga e, consequentemente, o tempo de recarga individual, usando a potência nominal de 30 kW do carregador DC. O resultado foi uma amostra de 1.000 tempos de recarga por usuário, refletindo condições operacionais próximas da realidade.

5.4.2 Simulação de Ocupação Diária e Atendimentos

Com os 1.000 tempos médios de recarga simulados, partiu-se para a segunda camada de Monte Carlo. Considerando que a estação opera por 12 horas diárias e que o carregador DC atende apenas um veículo por vez, o tempo total de uso diário foi modelado a partir da soma aleatória de múltiplos tempos de recarga individuais extraídos da amostra da etapa anterior. O

resultado dessa simulação foi a geração de 1.000 cenários de ocupação diária, com a respectiva estimativa de número de atendimentos por dia.

Esse processo probabilístico garantiu que diferentes padrões de comportamento de usuários e tempos de recarga fossem incorporados à análise, proporcionando maior fidelidade na construção das variáveis financeiras, como faturamento diário, custo de energia e ticket médio. A adoção dessa abordagem em duas camadas se justifica pela necessidade de capturar não apenas a variabilidade das sessões de recarga individuais, mas também as flutuações de demanda diária ao longo do tempo.

A estrutura da simulação, portanto, permite uma modelagem mais robusta, ao considerar a distribuição estatística das características dos veículos elétricos em circulação, respeitando a variabilidade real observada no mercado. Além disso, possibilita uma representação mais realista da operação diária da estação de recarga, sem depender exclusivamente de dados empíricos que não estão disponíveis para o tipo específico de carregador e a localização em estudo. Por fim, a simulação proporciona uma projeção mais segura de cenários futuros, o que é fundamental para a avaliação da viabilidade econômica do investimento e para a tomada de decisões estratégicas com base em diferentes níveis de risco.

Com base nos resultados obtidos nesta etapa, todas as variáveis operacionais e financeiras da análise foram calculadas, incluindo fluxos de caixa, indicadores econômicos e projeções futuras. Os dados derivados da simulação se mostram fundamentais para uma avaliação precisa e confiável da proposta de substituição da infraestrutura de recarga.

5.5 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade é uma ferramenta essencial em estudos de viabilidade econômica, pois permite avaliar como variações em determinadas variáveis de entrada impactam diretamente os resultados financeiros do projeto. Trata-se de uma abordagem especialmente útil em contextos de incerteza, onde os valores futuros das variáveis são apenas estimativas, sujeitas a flutuações de mercado, comportamento do consumidor ou mudanças regulatórias. Ao aplicar essa técnica, é possível identificar os fatores mais críticos para a viabilidade da proposta, aprimorar a gestão de riscos e fundamentar decisões com base em diferentes cenários possíveis.

Neste trabalho, foram selecionadas duas variáveis de entrada para a análise de sensibilidade, ambas consideradas de alta relevância dentro do modelo econômico adotado: o

preço de venda do quilowatt-hora (kWh) ao cliente final e a taxa de crescimento anual da demanda por recarga de veículos elétricos.

Essas variáveis foram selecionadas por influenciarem diretamente os principais indicadores econômicos do projeto: o valor presente líquido, a taxa interna de retorno e o payback (descontado). O preço de venda impacta diretamente o faturamento e, portanto, a atratividade financeira do serviço. Já o crescimento da demanda define a evolução da quantidade de usuários atendidos ao longo dos anos, o que afeta o volume de energia vendida e os lucros acumulados. Avaliar essas duas variáveis em diferentes cenários fornece uma visão robusta da resiliência econômica do investimento proposto.

5.5.1 Variação do Preço do kWh Vendido

Na primeira análise, a tarifa cobrada dos usuários finais foi variada entre R\$ 2,10 e R\$ 4,00, mantendo-se constante a taxa de crescimento da demanda anual em 4% (valor-base das projeções). O valor inicial de R\$ 2,10 foi escolhido por representar a tarifa praticada atualmente na infraestrutura com carregadores AC, servindo como referência de base para comparações. Para cada faixa de preço, foram recalculados os indicadores financeiros, mantendo a taxa mínima de atratividade fixada em 20%.

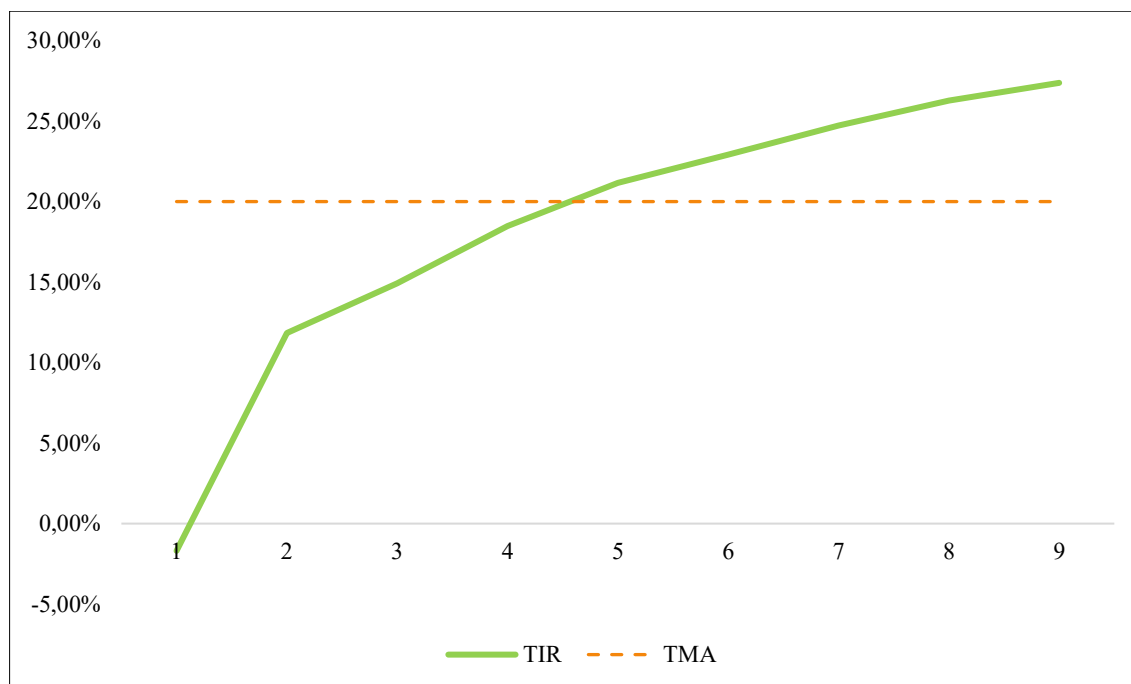
Tabela 21 - Variação do preço do kWh e impacto nos indicadores financeiros

Preço do kWh	TIR	VPL	Payback Descontado
R\$ 2,10	-1,69%	R\$ 55.367,96	#N/D
R\$ 2,35	11,84%	R\$ 152.173,00	4
R\$ 2,50	14,91%	R\$ 208.955,08	3
R\$ 2,75	18,47%	R\$ 301.472,54	2
R\$ 3,00	21,17%	R\$ 417.674,04	2
R\$ 3,25	22,91%	R\$ 507.473,57	1
R\$ 3,50	24,71%	R\$ 623.229,02	1
R\$ 3,75	26,27%	R\$ 743.355,96	1
R\$ 4,00	27,37%	R\$ 841.763,23	1

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Além disso, o Gráfico 12 mostra o comparativo entre a TIR e a TMA, permitindo visualizar os pontos em que o retorno do investimento supera o custo de capital do projeto.

Gráfico 12 - Comparativo dos indicadores TIR e TMA em função do preço do kWh vendido



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Os resultados evidenciam uma forte sensibilidade do projeto à variação do preço cobrado por kWh. Mesmo incrementos modestos nesse valor geram impactos expressivos nos indicadores econômicos, como aumento do VPL e da TIR, e redução significativa no payback descontado. Isso confirma que a precificação da energia é uma variável central na viabilidade do projeto, devendo ser calibrada com atenção para garantir o equilíbrio entre atratividade financeira e adesão dos usuários.

5.5.2 Variação da Taxa de Crescimento da Demanda

Na segunda análise, fixou-se o preço do kWh em R\$ 3,00, conforme utilizado nas projeções principais, e variou-se a taxa de crescimento anual da demanda entre 1% e 9%. A variação considerou o crescimento do número de atendimentos, impactando diretamente na demanda pela estação de recarga. Além disso, as simulações foram feitas de forma a garantir que a operação se mantivesse dentro da capacidade máxima da estação, respeitando a limitação de 12 horas de operação diária. O objetivo foi avaliar como diferentes ritmos de adoção da eletromobilidade e da atratividade da estação impactam os indicadores de retorno financeiro, mantendo a viabilidade econômica do projeto.

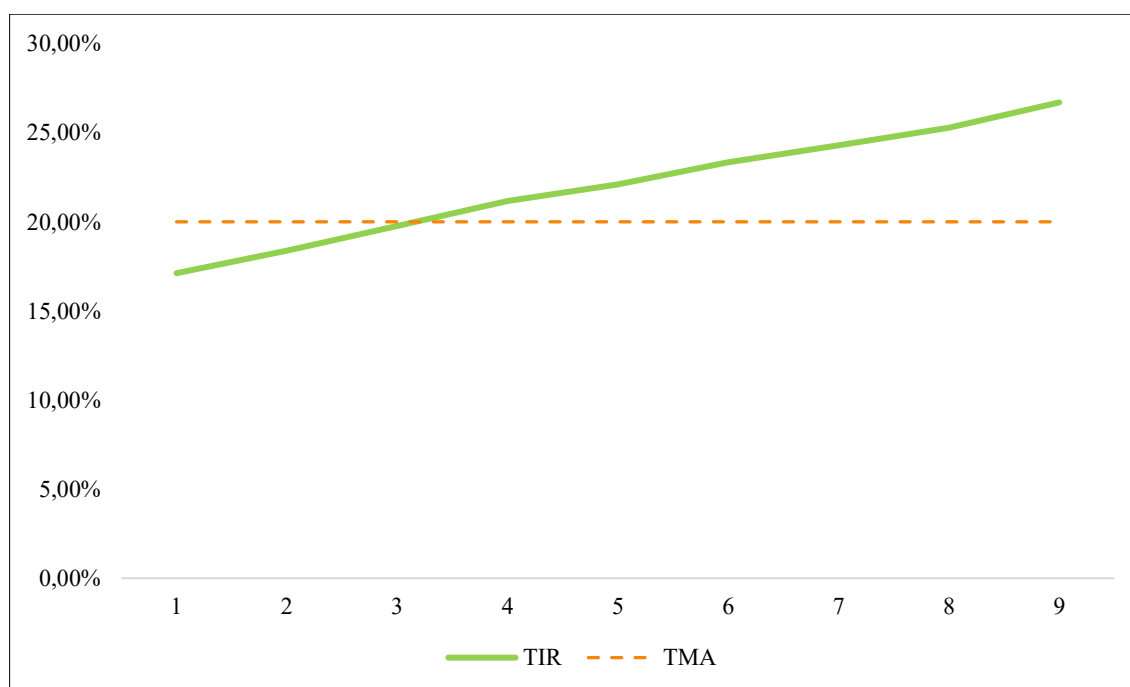
Tabela 22 - Variação da taxa de crescimento da demanda e impacto nos indicadores financeiros

Crescimento Demanda	TIR	VPL	Payback Descontado
1%	17,12%	R\$ 311.814,29	2
2%	18,38%	R\$ 337.681,88	2
3%	19,76%	R\$ 373.707,05	2
4%	21,17%	R\$ 417.674,04	2
5%	22,09%	R\$ 442.381,78	2
6%	23,33%	R\$ 489.043,61	2
7%	24,29%	R\$ 523.845,84	2
8%	25,28%	R\$ 564.358,06	2
9%	26,70%	R\$ 643.398,53	2

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

O Gráfico 13 foi elaborado para comparar novamente a TIR com a TMA, evidenciando os cenários onde o projeto mantém sua viabilidade econômica.

Gráfico 13 - Comparativo dos indicativos TIR e TMA em função da expectativa de crescimento da demanda



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Embora a influência da taxa de crescimento da demanda seja menos acentuada que a do preço do kWh, os dados demonstram que ritmos mais elevados de adoção impactam positivamente os resultados econômicos, aumentando o VPL e a TIR e contribuindo para um retorno mais rápido. Por isso, é recomendável adotar estratégias que favoreçam o aumento da

demanda, como uma localização bem escolhida, parcerias com comércios locais e ações de divulgação.

Essa análise complementa a avaliação de viabilidade desenvolvida ao longo deste trabalho, permitindo não apenas validar a proposta base, como também antecipar os efeitos de possíveis variações nas condições de mercado. Assim, os dados obtidos fornecem embasamento mais sólido para a tomada de decisões e para o planejamento estratégico da operação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta uma análise comparativa entre os dois cenários estudados — a infraestrutura atual de recarga veicular baseada em três carregadores AC de 22 kW e a proposta de substituição por um único carregador rápido DC de 30 kW. Com base nas simulações e modelagens financeiras realizadas nas seções anteriores, é possível discutir os principais resultados obtidos, avaliar os impactos econômicos da substituição e interpretar as variáveis que mais influenciam a viabilidade do projeto.

6.1 Comparação Entre os Dois Cenários e Impactos Econômicos

A análise dos dois cenários revelou uma diferença significativa no desempenho econômico e na atratividade do investimento. Apesar da proposta com carregador DC apresentar um investimento inicial maior (R\$ 77.379,00 frente aos R\$ 64.633,88 da infraestrutura atual), seus indicadores financeiros demonstram uma viabilidade muito superior, tanto no curto quanto no longo prazo.

A Tabela 23 a seguir resume os principais resultados obtidos em cada cenário, considerando os indicadores econômicos de payback, payback descontado, valor presente líquido, taxa interna de retorno e o faturamento médio anual ao longo dos 15 anos de vida útil do investimento:

Tabela 23 - Comparativo entre os cenários estudados

Indicador	Infraestrutura Atual	Infraestrutura Proposta
Payback (anos)	4	1
Payback Descontado (anos)	8	2
VPL	R\$ 87.053,53	R\$ 417.674,04
TIR	10,80%	21,17%
Faturamento Anual Médio	R\$ 329.480,12	R\$ 300.808,92
Investimento Inicial	R\$ 64.633,88	R\$ 77.379,00

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

No cenário atual, o payback simples é alcançado apenas no quarto ano e, ao se considerar o valor do dinheiro no tempo, o payback descontado se estende até o oitavo ano. O VPL calculado é de R\$ 87.053,53, valor que, embora positivo, se mantém relativamente próximo do investimento inicial (R\$ 64.633,88), indicando uma margem de retorno limitada.

A TIR de 10,80% está consideravelmente abaixo da TMA de 20%, o que representa um sinal de alerta quanto à viabilidade econômica do projeto sob essas condições.

Já na proposta com carregador DC, os resultados indicam um retorno significativamente mais atrativo: o payback simples ocorre já no primeiro ano, e o payback descontado é alcançado no segundo ano. A TIR de 21,17% supera a TMA, ainda que com uma margem moderada, oferecendo maior segurança ao investimento. O VPL de R\$ 417.674,04 demonstra um retorno robusto ao longo do tempo, mesmo com um faturamento anual médio ligeiramente inferior ao da infraestrutura atual. A maior eficiência operacional e a rotatividade proporcionada pelo carregador rápido compensam esse fator, tornando a proposta claramente mais vantajosa do ponto de vista financeiro.

Em termos práticos, significa que, embora o cenário AC apresente um volume maior de faturamento, isso está atrelado a maiores custos fixos e operacionais (incluindo aluguel e manutenção de múltiplas unidades), além da limitação de rotatividade por conta do tempo de recarga mais elevado. Já no cenário DC, a operação mais enxuta e eficiente gera um melhor aproveitamento da infraestrutura e um retorno financeiro mais consistente, mesmo com um faturamento um pouco inferior.

É importante destacar que, apesar da clareza dos resultados e da vantagem evidente do cenário proposto, os valores absolutos obtidos devem ser interpretados com prudência. Como todo modelo baseado em dados reais limitados e projeções simuladas, os resultados representam cenários prováveis — e não garantias. Ainda assim, a consistência dos indicadores ao longo do estudo, aliada à metodologia adotada, permite afirmar que a substituição proposta representa não apenas uma modernização tecnológica, mas também uma solução economicamente mais sólida e sustentável para a realidade da estação analisada.

6.2 Principais Fatores que Influenciam a Viabilidade do Projeto

A análise desenvolvida ao longo deste trabalho revelou que determinados fatores exercem influência decisiva sobre a viabilidade econômica da infraestrutura de recarga veicular. A partir da comparação entre os dois cenários — infraestrutura atual (AC) e infraestrutura proposta (DC) — e da aplicação da análise de sensibilidade, foi possível identificar quais variáveis impactam de forma mais significativa os indicadores financeiros do projeto, como VPL, TIR e payback.

O primeiro e mais relevante fator é o preço do kWh vendido ao usuário final. Como evidenciado na seção 5.5, essa variável demonstrou forte correlação com todos os indicadores econômicos, sendo responsável por grandes variações no retorno do investimento. Isso ocorre porque o preço de venda da energia define diretamente o faturamento da estação, sendo, portanto, uma das principais alavancas de receita. Mesmo pequenas variações no valor praticado por kWh resultam em alterações expressivas no desempenho financeiro, tornando essa uma variável crítica para a sustentabilidade do modelo de negócio.

Outro fator determinante é a taxa de crescimento anual da demanda por recarga, que reflete a evolução do uso da estação ao longo dos anos. Embora tenha mostrado impacto inferior ao do preço do kWh, conforme apresentado também na análise de sensibilidade, essa variável é essencial para dimensionar a escalabilidade do projeto. A atratividade da estação para novos usuários e a expansão do mercado de veículos elétricos têm papel direto sobre o número de atendimentos, o consumo de energia e, por consequência, a geração de receita ao longo da vida útil do equipamento.

Além dessas variáveis quantitativas, aspectos operacionais também se destacam. A capacidade de rotatividade da estação, fortemente relacionada ao tempo de recarga médio por usuário, é outro elemento fundamental. A substituição dos carregadores AC por um carregador DC de 30 kW, ao permitir tempos significativamente menores de recarga, viabiliza uma maior quantidade de atendimentos por dia, mesmo com apenas uma vaga. Esse ganho de eficiência operacional eleva o potencial de faturamento e otimiza o uso do espaço locado.

Os custos fixos mensais também merecem destaque, especialmente o valor do aluguel e os encargos sobre o faturamento, que representam parcela importante das despesas da operação. A redução da área locada na proposta DC resultou em economia relevante, contribuindo para a melhora dos indicadores econômicos. Ainda assim, a manutenção de despesas como internet, pessoal e marketing exige um controle eficiente para garantir a lucratividade da operação.

Por fim, o investimento inicial e sua relação com o retorno gerado ao longo do tempo completam o conjunto de fatores determinantes. A proposta de substituição por um único carregador DC mostrou-se mais eficiente do ponto de vista econômico, mesmo com um investimento inicial levemente superior, devido ao seu melhor desempenho operacional e ao maior retorno proporcionado. A escolha tecnológica, portanto, é um componente estratégico para a viabilidade do projeto.

Em conjunto, esses fatores demonstram que a viabilidade econômica de uma estação de recarga está diretamente relacionada à combinação entre preço de venda, demanda projetada, eficiência operacional e controle de custos. Compreender o peso de cada um desses elementos

é essencial para orientar a tomada de decisões futuras e para o desenvolvimento de modelos de negócio sustentáveis no setor da mobilidade elétrica.

6.3 Limitações do Estudo e Implicações para Futuras Implementações

Embora este estudo tenha se baseado em dados reais obtidos a partir da operação da estação de recarga do Center Shopping Uberlândia, bem como em simulações robustas para a construção de cenários futuros, é importante destacar algumas limitações que influenciam o grau de generalização dos resultados obtidos. A análise foi desenvolvida a partir de um único estudo de caso, com características operacionais e estruturais muito específicas, o que pode não refletir com exatidão outras realidades de implementação de infraestrutura de recarga.

Uma das principais limitações diz respeito à indisponibilidade de dados reais de uso associados a carregadores rápidos DC na estação analisada. Por se tratar de uma infraestrutura ainda não instalada, foi necessário recorrer à simulação de Monte Carlo para estimar variáveis críticas como o tempo de recarga por usuário e o número de atendimentos diários. Embora essa abordagem seja amplamente aceita na literatura técnico-científica e tenha sido construída com base em parâmetros reais — como a distribuição de capacidades de baterias e faixas típicas de recarga —, ela ainda representa uma aproximação da realidade, sujeita a margens de incerteza.

Adicionalmente, os dados de preços praticados para a venda de energia elétrica foram levantados a partir da plataforma PlugShare, visto que não existem atualmente bancos de dados públicos centralizados que ofereçam informações consolidadas sobre as tarifas de recarga praticadas no Brasil. Embora essa metodologia seja válida e baseada em observações de campo em grandes centros urbanos, ela também pode refletir uma dinâmica regional e momentânea dos preços.

Outro ponto relevante é que o estudo comparou exclusivamente dois cenários fixos: o atual, com três carregadores AC de 22 kW, e a proposta de substituição por um único carregador DC de 30 kW. Outras configurações possíveis, como múltiplos carregadores rápidos, soluções híbridas ou até mesmo modelos com compartilhamento de potência — em que dois carregadores dividem automaticamente a carga disponível conforme a demanda de cada veículo — não foram abordadas, o que restringe o escopo da comparação econômica.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos oferecem contribuições significativas para projetos semelhantes. As simulações e análises realizadas permitem compreender a dinâmica financeira envolvida, identificar as variáveis mais sensíveis e oferecer subsídios técnicos para decisões estratégicas de investimento. Como implicações para futuras

implementações, recomenda-se a coleta contínua de dados operacionais em estações com infraestrutura DC, permitindo a construção de análises com menor grau de incerteza. Além disso, sugere-se expandir a análise para outros contextos urbanos, avaliar diferentes potências de carregamento e explorar novos modelos de negócios associados à mobilidade elétrica urbana.

Por fim, é válido ressaltar que, embora os resultados apontem para uma diferença significativa de desempenho entre os dois cenários, os valores absolutos obtidos — especialmente aqueles relacionados a indicadores financeiros como VPL, TIR e payback — devem ser interpretados com a devida cautela. Esses resultados representam cenários simulados com base em premissas realistas, mas ainda assim sujeitos a incertezas próprias da modelagem e da natureza do mercado emergente. A intenção do estudo não é apresentar previsões exatas, mas sim fornecer uma base comparativa sólida e tecnicamente embasada para apoiar decisões estratégicas em projetos semelhantes. Mesmo com essas limitações, a diferença relativa de desempenho entre as duas alternativas reforça a robustez da proposta apresentada.

Para fins de sistematização e consulta rápida, a Tabela 24 a seguir resume as principais limitações enfrentadas neste estudo e as respectivas recomendações para futuras pesquisas:

Tabela 24 – Compilado de limitações do estudo e recomendações futuras

(continua)

Limitação Identificada	Descrição	Implicações	Recomendações Futuras
Ausência de dados reais de operação com carregador DC	A estação ainda não possui o novo equipamento instalado	Necessidade de simulações para estimar desempenho	Realizar medições reais após instalação para comparar os resultados simulados
Coleta de preços de recarga via PlugShare	Plataforma depende de atualizações manuais dos usuários e operadores	Possível variação nos preços ou falta de padronização	Buscar criação de banco de dados centralizado ou parceria com empresas operadoras
Comparação entre apenas dois cenários	Foram considerados apenas a infraestrutura atual e a substituição por um único carregador de 30 kW	Não explora todas as possibilidades de layout e tecnologia	Avaliar cenários intermediários ou híbridos em estudos futuros
Dados específicos de um único shopping center	O contexto do Center Shopping Uberlândia pode não refletir outras regiões	Limitação da generalização dos resultados	Aplicar a metodologia em outros locais com diferentes perfis de uso

(conclusão)

Limitação Identificada	Descrição	Implicações	Recomendações Futuras
Crescimento linear da demanda e custos	Utilização de projeções com crescimento fixo	Não considera sazonalidade ou eventos pontuais	Introduzir variações sazonais ou cenários pessimistas/otimistas em novos estudos

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

7 CONCLUSÃO

Esta seção apresenta as conclusões gerais obtidas a partir da análise desenvolvida ao longo deste trabalho. Os principais achados são sintetizados a seguir, com base nos dados levantados, nos cenários comparados e nos resultados financeiros obtidos. Além disso, são indicadas recomendações e possibilidades para estudos futuros, considerando o avanço contínuo da mobilidade elétrica no Brasil.

7.1 Síntese dos Principais Achados do Estudo

Este estudo teve como objetivo principal analisar a viabilidade econômica da substituição de três carregadores convencionais AC de 22 kW por um único carregador rápido DC de 30 kW na estação de recarga veicular do Center Shopping Uberlândia. Para isso, foram utilizados dados reais da operação atual e, no cenário proposto, simulações baseadas em parâmetros técnicos plausíveis, aplicando ferramentas como fluxo de caixa, indicadores financeiros (payback, VPL, TIR) e simulação de Monte Carlo.

A comparação entre os dois cenários revelou que, apesar da redução no número de vagas, a substituição dos carregadores AC por um carregador rápido DC mostrou-se economicamente mais vantajosa. Os indicadores financeiros reforçam essa superioridade: o payback caiu de 4 para 1 ano, e o payback descontado foi reduzido de 8 para 2 anos. O VPL aumentou de R\$ 87.053,53 para R\$ 417.674,04, enquanto a TIR mais que dobrou, passando de 10,80% para 21,17%. Esses resultados se devem, em grande parte, à maior eficiência operacional do carregador rápido, que possibilita maior rotatividade das vagas e permite a cobrança de um valor por recarga mais competitivo e alinhado ao mercado.

Além disso, a simulação de Monte Carlo permitiu incorporar incertezas ao modelo, gerando cenários mais robustos e representativos. Já a análise de sensibilidade reforçou o impacto decisivo de variáveis como o preço de venda do kWh e o crescimento da demanda anual sobre a viabilidade do investimento, evidenciando pontos críticos que devem ser monitorados com atenção em projetos semelhantes.

Os resultados obtidos validam a proposta de modernização da infraestrutura de recarga, reforçando a importância de análises técnicas e financeiras criteriosas na tomada de decisão para investimentos em mobilidade elétrica urbana. Ainda assim, é importante destacar que os resultados apresentados, especialmente os indicadores financeiros, representam estimativas

baseadas em simulações e premissas técnicas realistas, mas que estão naturalmente sujeitas a incertezas. Os valores absolutos não devem ser interpretados como previsões exatas, mas sim como indicativos de tendência. Nesse sentido, o foco do estudo está em demonstrar a superioridade relativa da proposta em termos econômicos, com base em uma análise comparativa consistente e fundamentada.

7.2 Recomendações e Perspectivas para Estudos Futuros

Considerando as limitações enfrentadas neste trabalho e o caráter dinâmico do setor de mobilidade elétrica, é possível traçar uma série de recomendações para aprofundamentos futuros. A primeira delas diz respeito à ampliação da base de dados reais sobre a operação de estações com carregadores rápidos DC. À medida que novas estações forem sendo instaladas e operadas no Brasil, será possível realizar coletas empíricas mais robustas, permitindo a substituição de simulações por séries históricas reais, o que tende a aumentar a precisão das análises econômicas.

Além disso, recomenda-se que futuros estudos explorem outras configurações de infraestrutura, como a instalação de múltiplos carregadores rápidos em um mesmo local, a adoção de modelos híbridos que combinem carregadores AC e DC, ou ainda a utilização de soluções com compartilhamento de potência entre pontos de recarga. Esses arranjos podem apresentar diferentes dinâmicas de atendimento, investimento e retorno, sendo altamente relevantes para cenários com restrições de espaço ou orçamento.

Também se destaca a importância de expandir a análise para outros contextos urbanos e regiões do país. Cada local possui características próprias quanto à circulação de veículos elétricos, disponibilidade de espaço, perfil de usuários e custo de energia. Estudos voltados para municípios médios, regiões metropolitanas ou até mesmo áreas rurais podem revelar oportunidades e desafios específicos que não foram contemplados neste caso.

Outro ponto relevante refere-se à investigação de novos modelos de negócio. A integração entre estações de recarga e fontes renováveis locais, como energia solar com armazenamento em baterias estacionárias, pode reduzir custos operacionais e tornar o projeto ainda mais sustentável. Também é pertinente avaliar formatos de monetização diferenciados, como cobrança por tempo de uso, planos por assinatura ou parcerias com estabelecimentos comerciais que utilizem a recarga como atrativo para clientes.

Por fim, recomenda-se acompanhar de forma contínua o amadurecimento do mercado nacional de veículos elétricos. Com o avanço das políticas públicas de incentivo, maior penetração desses veículos na frota brasileira e evolução da infraestrutura, espera-se que os dados e as projeções se tornem mais estáveis e confiáveis. Com isso, a realização de análises econômicas mais precisas e abrangentes se tornará cada vez mais viável, fortalecendo a tomada de decisão tanto para o setor público quanto para agentes privados interessados em investir na eletromobilidade urbana.

Como complemento, a Tabela 25 a seguir resume sugestões de aprofundamento técnico e estratégico que podem contribuir para o avanço da eletromobilidade no Brasil.

Tabela 25 – Compilado de possíveis estudos futuros e justificativas

Proposta de Estudo Futuro	Justificativa
Coleta de dados reais de operação de carregadores DC	Substituir simulações por dados empíricos, aumentando a precisão das análises econômicas
Avaliação de configurações híbridas AC + DC	Identificar arranjos técnicos e econômicos mais vantajosos para diferentes perfis de uso
Estudos em diferentes regiões e cidades do país	Avaliar variações de viabilidade com base em contexto urbano, demanda local e custos regionais
Integração com energia solar + baterias estacionárias	Potencial de redução de custos operacionais e ganho em sustentabilidade
Análise de novos modelos de monetização (ex: assinatura, combos)	Explorar estratégias que aumentem a atratividade da recarga para o consumidor final

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

REFERÊNCIAS

ABREU, F. Energia solar e veículos elétricos: economia e sustentabilidade. **I9 Solar**, 2024. Disponível em: <https://www.i9solar.com/post/energia-solar-e-veiculos-eletricos-economia-e-sustentabilidade>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

ABVE. “Mover fará avançar a eletromobilidade”. **Associação Brasileira do Veículo Elétrico**, 2023. Disponível em: <https://abve.org.br/programa-mover-fara-avancar-a-eletromobilidade/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

ABVE. ABVE comemora aprovação: “um grande passo para a eletromobilidade no Brasil”. **Associação Brasileira do Veículo Elétrico**, 2024. Disponível em: <https://abve.org.br/abve-comemora-aprovacao-um-grande-passo-para-a-eletromobilidade-no-brasil/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

ABVE. Eletrificados superam previsões, passam de 170 mil e batem todos os recordes em 2024. **Associação Brasileira do Veículo Elétrico**, 2024. Disponível em: <https://abve.org.br/elettrificados-superam-previsoes-passam-de-170-mil-e-batem-todos-os-recordes-em-2024/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

ABVE. Recorde de vendas em novembro abre debate sobre os limites da eletrificação dos veículos. **Associação Brasileira do Veículo Elétrico**, 2024. Disponível em: <https://abve.org.br/recorde-de-vendas-em-novembro-abre-debate-sobre-os-limites-da-eletrificacao-dos-veiculos/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

ABVE. Vendas de eletrificados leves de 2024 já ultrapassa, em julho, o total de 2023. **Associação Brasileira do Veículo Elétrico**, 2024. Disponível em: <https://abve.org.br/vendas-de-eletrificados-em-2024-ja-ultrapassam-total-de-2023/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

BASSANEZE, S. Como os shoppings se preparam para atender a frota de veículos elétricos. **Revista Shopping Centers**, 2024. Disponível em: <https://revistashoppingcenters.com.br/gestao-e-operacao/veiculos-eletricos/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

BAUMGARTE, F.; KAISER, M.; KELLER, R. Policy support measures for widespread expansion of fast charging infrastructure for electric vehicles. **Energy Policy** **156**, 28 Maio 2021., p. Artigo n. 112372

BCB. Metas para a inflação. **Banco Central do Brasil**, 2024. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/metainflacao>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

BERGMANN, B. H. *et al.* Estudo da combinação de indicadores para análise da viabilidade de projetos: uma revisão de literatura. **Revista Gestão e Secretariado (GeSec)**, São Paulo, Dezembro 2023., p. 10644–10665

BLNDU, Y. Here's how China Built the World's Largest EV Charging Network. **Pistop Media**, 2023. Disponível em: <https://pitstop.media/worlds-largest-ev-charging-network/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

CALÇADO, T. E. D. O. **Estudo preliminar de implantação de estações de recarga de veículos elétricos no Centro de Tecnologia da UFRJ**. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ / Escola Politécnica. Rio de Janeiro. 2015.

CARNEIRO, L. Fleet growth drives expansion of electric charging market. **Valor Internacional**, 2025. Disponível em: <https://valorinternational.globo.com/business/news/2025/03/10/fleet-growth-drives-expansion-of-electric-charging-market.ghtml>. Acesso em: 12 Março 2025.

CESAR, J. Uber se junta à ABVE para impulsionar a eletrificação no Brasil. **Inside EVs**, 2025. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/750769/uber-abve-mobilidade-eletrica/>. Acesso em: 15 Fevereiro 2025.

DAYRELL, G. P.; REZENDE, P. H. O. Impactos dos Carregadores de Veículos Elétricos na Qualidade da Energia Elétrica em Sistemas de Distribuição: Revisão Bibliográfica. **Anais da 1ª Conferência Brasileira sobre Recursos Energéticos Distribuídos**, Uberlândia, 3 Dezembro 2024.

DELACROIX, G. L'autoroute qui recharge les véhicules électriques expérimentée dès 2025. **Le Monde**, 2024. Disponível em: https://www.lemonde.fr/economie/article/2024/09/23/l-autoroute-qui-recharge-les-vehicules-electriques-experimentee-des-2025_6328982_3234.html. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

DOUTORIE. Tipos de conectores de carregamento para carros elétricos. **Doutorie**, 2024. Disponível em: <https://doutorie.com.br/blog/tipos-de-conectores-de-carregamento-para-veiculos-eletrificados/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

DRYSTORE. Carregador para Carro Elétrico: como escolher e requisitos de instalação. **Drystore**, 2024. Disponível em: <https://blog.drystore.com.br/carregador-carro-eletrico-como-escolher-requisitos-de-instalacao/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

EC, C. CO₂ emission performance standards for cars and vans. **European Comission**, 2023. Disponível em: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

ELECTRONICS, M. Implementando Carregadores Rápidos DC com SiC MOSFETs. **Embarcados**, 2022. Disponível em: <https://embarcados.com.br/carregadores-rapidos-dc-sic-mosfets/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

ENERGISE. Carregadores Veiculares. **Energise**, 2024. Disponível em: <https://energise.eng.br/carregadores-veiculares/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

ETREL. Government incentives for residential charging in Europe 2023. **LandisGyr**, 2023. Disponível em: <https://evsolutions.landisgyr.com/portfolio/government-incentives-for-residential-charging-in-europe-2023/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

GHASEMI-MARZBALI, ALI, A.; SHAFIEI, M. Fast-charging station for electric vehicles, challenges and issues: A comprehensive review. **Journal Energy Storage** **49**, 3 Fevereiro 2022., p. Art. 104136

GNANN, T. *et al.* Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation. **Transportation Research Part D** **62**, 22 Março 2018., p. 314-329

GOUVEIA, F. *et al.* Avaliação de impactos da recarga de veículos elétricos. **FotoVolt**, Junho 2024., p. 38-45

HABITACIONAL. Recarga de carros elétricos em Condomínios: pode vir novidade por aí. **Habitacional Adm de Condomínios**, 2024. Disponível em: <https://habitacional.com.br/recarga-de-carros-eletricos-em-condominios-regras/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

IEA. Global EV Outlook 2023. **International Energy Agency**, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

INGIZZA, C. Noruega está perto de ser primeiro país a erradicar venda de carros a combustão. **Exame**, 2025. Disponível em: <https://exame.com/esg/noruega-esta-perto-de-ser-primeiro-pais-a-erradicar-venda-de-carros-a-combustao/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

INN. Nearly 90% of Norway's new cars are fully electric vehicles. **Innovation News Network**, 2025. Disponível em: <https://www.innovationnewsnetwork.com/nearly-90-of-norways-new-cars-are-fully-electric-vehicles/54526/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

JAEGER, J. Os países mais rápidos na transição para carros elétricos. **WRI Brasil**, 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/os-paises-mais-rapidos-na-transicao-para-carros-eletricos>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

KARDAN, F.; SHEKHAR, A.; BAUER, P. Reliability enhancement of isolated full-bridge DC-DC power converter for fast charging of electric vehicles. **IEEE Open Journal of Power Electronics**, 2024.

LUDOVIQUE, *et al.* **Dinâmica da difusão da infraestrutura de recarga rápida para veículos elétricos em rodovias**. Grupo de Estudos do Setor Elétrico – GESEL / UFRJ. Rio de Janeiro. 2024.

MARTÍN, I. S. La nueva revolución del coche eléctrico llega de la mano de BYD y su cargador rápido que equipara el tiempo de repostaje a los coches de combustión. **Cadenaser**, 2025. Disponível em: <https://cadenaser.com/andalucia/2025/03/20/la-nueva-revolucion-del-coche-electrico-llega-de-la-mano-de-byd-y-su-cargador-rapido-que-equipara-el-tiempo-de-repostaje-a-los-coches-de-combustion-ser-malaga/>. Acesso em: 22 Março 2025.

MICHELbacher, C. Enabling fast charging – Introduction and overview. **Journal of Power Sources** **367**, 8 Agosto 2017., p. 214-215

NEAIMEH, M. *et al.* Analysing the usage and evidencing the importance of fast chargers for the adoption of battery electric vehicles. **Energy Policy** **108**, 14 Junho 2017., p. 474-486

NEOCHARGE. Carregador Carro Elétrico DC NeoCharge - NDC30 - 30kW. **NeoCharge**, 2024. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/loja/carregador-carro-eletrico-dc-ndc30-30kw.html>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

NEWARK, L. R. Semicondutores Wide-Bandgap: O Futuro da tecnologia SiC e GaN. **Embarcados**, 2022. Disponível em: <https://embarcados.com.br/wide-bandgap/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

NOBRE, N. Projeto regulamenta instalação de ponto individual de recarga de carro elétrico em condomínio. **Câmara dos Deputados**, 2025. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/1134716-projeto-regulamenta-instalacao-de-ponto-individual-de-recarga-de-carro-eletrico-em-condominio/>. Acesso em: 10 Março 2025.

OLIVEIRA, M. R. G. D.; NETO, L. B. D. M. Simulação de Monte Carlo e Valuation: uma abordagem estocástica. **Revista de Gestão (REGE)** **19**, São Paulo, Julho 2012., p. 493-512

PARDO-BOSCH, F. *et al.* Sustainable deployment of an electric vehicle public charging infrastructure network from a city business model perspective. **Sustainable Cities and Society** **71**, 26 Abril 2021., p. Artigo n. 102957

PASSOS, E. Recarga rápida para elétricos pode ser tão cara quanto gasolina. **Quatro Rodas**, 2024. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/especial/recarga-rapida-para-eletricos-pode-ser-tao-cara-quanto-gasolina>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

PLUGSHARE. Encontre postos de carga de VE em qualquer lugar do mundo e use o mapa do PlugShare para encontrar um posto de carga de veículos elétricos perto de você! **PlugShare**, 2025. Disponível em: <https://www.plugshare.com/br>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

PNME. Guia Eletroposto Simples. **Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica**, 2024. Disponível em: https://www.pnme.org.br/wp-content/uploads/2020/04/guia_promobe_eletroposto_simples_v2.pdf. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

REMPEL, D. *et al.* **Reliability of Open Public Electric Vehicle Direct Current Fast Chargers**. University of California, Berkeley. Berkeley. 2022.

RODRIGUEZ, H. Como carregar um carro elétrico? Veja tipos de tomadas e carregadores. **Quatro Rodas**, 2024. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/carros-eletricos/como-carregar-um-carro-eletrico>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

SÁEZ, M. Moeve reinventa las estaciones de servicio: la novedad que introducirá para los coches. **Diario AS**, 2024. Disponível em: <https://as.com/actualidad/sociedad/moeve-reinventar-las-estaciones-de-servicio-la-novedad-que-introducir-para-las-coches-n/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

SAFAYATULLAH, M. *et al.* A comprehensive review of power converter topologies and control methods for electric vehicle fast charging applications. **IEEE Access** **10**, 12 Abril 2022., p. 40753–40809

SALES, J. L. **Análise de viabilidade econômica de uma estação de recarga para carros elétricos no Brasil**. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. João Monlevade. 2024.

SANTOS, J. D. La UPV trabaja en un cargador bidireccional para que el vehículo eléctrico pueda nutrir la red eléctrica de Vitoria. **Cadenaser**, 2024. Disponível em: <https://cadenaser.com/euskadi/2024/12/02/la-upv-trabaja-en-un-cargador-bidireccional-para-que-el-vehiculo-electrico-pueda-nutrir-la-red-electrica-de-vitoria-ser-vitoria/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

SARAIVA JÚNIOR, F.; TABOSA, C. D. M.; COSTA, P. D. Simulação de Monte Carlo aplicada à análise econômica de pedido. **Produção** **21**, São Paulo, Março 2011., p. 149-164

SARASWATHI, V. N.; RAMACHANDRAN, V. P. A comprehensive review on charger technologies, types, and charging stations models for electric vehicles. **Heliyon**, 9 Outubro 2024., p. e38945

SCHROEDER, A.; TRABER, T. The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles. **Energy Policy** **43**, 28 Janeiro 2012., p. 136-144

SOLAR, P. Carregador de Carro Elétrico (Carregador Veicular) Weg WEMOB-P-023-W-R-1T2 22.0 KW 380 V. **Portal Solar**, 2024. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/loja/produtos/carregador-de-carro-eletrico-carregador-veicular-weg-wemob-p-023-w-r-1t2-22-0-kw-380-v>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

TAYNIU. Como os shoppings lucram com os modelos de negócios de carregamento de veículos elétricos. **Tayniu**, 2025. Disponível em: <https://tayniu.com/pt/ev-charging-business-models-shopping-malls/>. Acesso em: 25 Fevereiro 2025.

TORRALBA, C.; MEDINA, M. Á. Por qué Noruega vende ya el 90% de coches eléctricos: exención de IVA, peajes gratis e impuestos para los de combustión. **El País**, 2025. Disponível em: <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2025-01-08/por-que-noruega-vende-ya-el-90-de-coches-electricos-exencion-de-iva-peajes-gratis-e-impuestos-para-los-de-combustion.html>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

TORRES, V. O que é Lucro Real? Entenda essa Tributação e como calcular. **Contabilizei**, 2025. Disponível em: <https://www.contabilizei.com.br/contabilidade-online/lucro-real/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

USDC. Germany Electric Vehicles and Charging Infrastructure. **U. S. Department of Commerce**, 2023. Disponível em: <https://www.trade.gov/market-intelligence/germany-electric-vehicles-and-charging-infrastructure>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

USDE. Electric Vehicle Charging Infrastructure Trends. **U. S. Department of Energy**, 2024. Disponível em: <https://afdc.energy.gov/fuels/electricity-infrastructure-trends>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

USDT. INVESTING IN AMERICA: Biden-Harris Administration Announces \$635 Million in Awards to Continue Expanding Zero-Emission EV Charging and Refueling Infrastructure. **U. S. Department of Transportation**, 2025. Disponível em: <https://www.transportation.gov/briefing-room/investing-america-biden-harris-administration-announces-635-million-awards-continue>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

VARGHA, A. O que são os OBCE e quais as suas tendências futuras e aplicações para os automóveis inteligentes? **Associação Brasileira de Internet das Coisas**, 2024. Disponível em: <https://abinc.org.br/o-que-sao-os-obce-e-quais-a-suas-tendencias-futuras-e-aplicacoes-para-os-automoveis-inteligentes/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

VERÍSSIMO, F. Infraestrutura de Recarga: O Desafio e as Oportunidades para Veículos Elétricos. **Universo Híbrido Digital**, 2024. Disponível em: <https://universohibridodigital.com.com/infraestrutura-de-recarga-o-desafio-e-as-oportunidades-para-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

VOLVO. Qual é a diferença entre carregamento AC e DC? **Volvo Cars**, 2024. Disponível em: <https://www.volvocars.com/pt/news/technology/what-is-the-difference-between-ac-and-dc-charging/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

VOOLTA. Inovações no setor de baterias e o impacto nas estações de recarga. **Voolta**, 2023. Disponível em: <https://voolta.com.br/blog/inovacoes-setor-baterias-impacto-estacoes-recarga/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

WALLBOX. Norway Leads Charge In EV Adoption. **Wallbox**, 2023. Disponível em: <https://wallbox.com/en/blog/how-norway-became-a-global-ev-leader>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

WEAVER, J. F. Baterias de VEs podem otimizar a rede elétrica. **PV Magazine**, 2024. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2024/03/13/baterias-de-ves-podem-otimizar-a-rede-eletrica/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

WEG. Carros elétricos e energia solar: uma combinação sustentável para o futuro. **WEG**, 2024. Disponível em: <https://www.weg.net/solar/blog/carros-eletricos-e-energia-solar-uma-combinacao-sustentavel-para-o-futuro/>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

WOLBERTUS, R.; VAN DEN HOED, R. Electric Vehicle Fast Charging Needs in Cities and along Corridors. **World Electric Vehicle Journal**, 18 Junho 2019., p. Artigo n. 45

WOLLASTON, S. How did Norway become the electric car superpower? Oil money, civil disobedience – and Morten from a-ha. **The Guardian**, 2024. Disponível em: <https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2024/mar/12/how-did-norway-become-the-electric-car-superpower-oil-money-civil-disobedience-and-morten-from-a-ha>. Acesso em: 10 Fevereiro 2025.

ZENTANI, A.; ALMAKTOOF , ; KAHN, M. T. A comprehensive review of developments in electric vehicles fast charging technology. **Applied Sciences** **14**, 30 Maio 2024., p. Art. 4728

APÊNDICE A – DADOS COMPLEMENTARES DAS ANÁLISES ECONÔMICAS

Este apêndice disponibiliza as planilhas eletrônicas que fundamentaram a análise de viabilidade econômica da estação de recarga de veículos elétricos localizada no Center Shopping Uberlândia. Esses arquivos reúnem os dados operacionais, os parâmetros técnicos e os cálculos completos que sustentam os resultados apresentados ao longo do trabalho.

A modelagem foi desenvolvida com base em uma amostragem real de uso dos três carregadores da estação, coletada entre 01/12/2024 e 11/03/2025. Essa base de dados foi fornecida pela Lavita Energia, empresa responsável pela operação da infraestrutura, e serviu de apoio para as projeções e análises financeiras.

As planilhas contemplam tanto a estrutura atual da estação — equipada com carregadores convencionais AC — quanto a proposta de modernização com carregador rápido DC. Em ambas as abordagens, são apresentados o consumo estimado de energia, o faturamento projetado, os custos operacionais, o investimento inicial e os principais indicadores econômicos trabalhados e expostos nesta monografia.

Os custos da infraestrutura existente, incluindo obra civil e instalação elétrica, foram obtidos diretamente com a Lavita Energias Renováveis LTDA. Por sua vez, os custos da proposta de modernização foram orçados ao longo do desenvolvimento do trabalho, com base em especificações técnicas reais de mercado e levantamentos junto à mesma empresa.

Dada a complexidade e o volume de informações envolvidas, as planilhas eletrônicas utilizadas nas análises não foram inseridas diretamente no corpo do texto. Para acesso completo aos dados e cálculos que embasaram o estudo, recomenda-se que o leitor acesse o link abaixo e realize o download dos arquivos:

 [Clique aqui para acessar as planilhas.](#)

 Caso preferir, escaneie o *QR Code* ao lado com a câmera do celular.



A consulta a esse material é especialmente recomendada para quem deseja verificar os parâmetros adotados em cada etapa do estudo e aprofundar a compreensão dos métodos aplicados na modelagem econômica desenvolvida.