



Leonardo Poubel Gleich

Avaliação de Postos de Recarga Rodoviários no Brasil

Uma Análise de Viabilidade Econômico-Financeira com
Aplicação do VPL-Estocástico e Simulação de Monte Carlo

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração de Empresas da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração de Empresas.

Orientador: Prof. Carlos de Lamare Bastian Pinto

Rio de Janeiro
abril de 2025



Leonardo Poubel Gleich

Avaliação de Postos de Recarga Rodoviários no Brasil

Uma Análise de Viabilidade Econômico-Financeira com
Aplicação do VPL-Estocástico e Simulação de Monte Carlo

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Administração da PUC-Rio. Aprovada
pela Comissão Examinadora abaixo:

Prof. Carlos de Lamare Bastian Pinto

Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Departamento de Administração – PUC-Rio

Prof. Luiz de Magalhães Ozorio

IBMEC-RJ

Prof. José Luiz Niemeyer dos Santos Filho

IBMEC-RJ

Rio de Janeiro, 07 de abril de 2025

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial do trabalho, é proibida sem a autorização da universidade, da autora e da orientadora.

Leonardo Poubel Gleich

Graduou-se em Administração pelo IBMEC em 2015. Concluiu MBA em Gestão Empresarial e Sistemas de Informação pela UFF em 2017 e MBA em Finanças pelo IBMEC em 2021. É gestor autorizado pela ANBIMA, com certificações CGA, CGE e CFG, e atua como gestor de fundos de investimentos.

Ficha Catalográfica

Gleich, Leonardo Poubel

Avaliação de postos de recarga rodoviários no Brasil : uma análise de viabilidade econômico-financeira com aplicação do VPL-Estocástico e Simulação de Monte Carlo / Leonardo Poubel Gleich ; orientador: Carlos de Lamare Bastian Pinto. – 2025.

65 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, 2025.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Mobilidade elétrica. 3. Infraestrutura de recarga. 4. Veículos elétricos (EV). 5. Simulação de Monte Carlo (SMC). 6. Valor Presente Líquido Estocástico (VPL-E). I. Pinto, Carlos de Lamare Bastian. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. III. Título.

CDD: 658

Agradecimentos

A conclusão desta dissertação representa o encerramento de uma jornada intensa e desafiadora, que só foi possível graças ao apoio e incentivo de pessoas essenciais em minha vida. A cada um deles, expresso minha mais sincera gratidão.

À minha mãe, que, mesmo ausente fisicamente, sempre me incentivou a seguir meus sonhos e fazer o que realmente queria. Seu amor e ensinamentos continuam sendo fonte de força e inspiração. Esta conquista também é dela.

Ao meu pai, pelo suporte constante, pelo exemplo de dedicação e por estar presente nos momentos mais importantes. Sua confiança foi fundamental para que eu me dedicasse plenamente a este trabalho.

Aos meus irmãos, por todo o apoio, companheirismo e conselhos ao longo da vida. Ter vocês ao meu lado torna qualquer jornada mais leve e especial.

À minha noiva, Carolina Monteiro, pelo amor, paciência e incentivo incondicional. Obrigado por estar sempre comigo, celebrando conquistas e enfrentando desafios. É uma alegria construir o futuro ao seu lado.

Ao meu orientador, Prof. Carlos de Lamare Bastian Pinto, pela orientação atenta, pela paciência e pelas contribuições valiosas ao longo do processo. Seu apoio foi essencial para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Luiz de Magalhães Ozorio e ao Arthur Felipe Tavares do Poço, pelo suporte nesse e em outros projetos, pelos aprendizados sobre o setor e, sobretudo, pela amizade e paciência durante toda a jornada.

Agradeço aos colegas, professores e todos que me apoiaram nesta trajetória.

Este trabalho contou com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

Resumo

Gleich, Leonardo Poubel; Bastian-Pinto, Carlos de Lamare. **Avaliação de postos de recarga rodoviários no Brasil: Uma análise de viabilidade econômico-financeira com aplicação do VPL-Estocástico**. Rio de Janeiro, 2025, 65p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Diversos aspectos evidenciam o irrompimento da eletromobilidade e a substituição progressiva dos veículos a combustão por elétricos. Um fator fundamental para a proliferação do uso desses veículos é a disponibilidade de pontos de recarga, especialmente em rodovias. Diante desse quadro, torna-se relevante discutir a avaliação de empreendimentos em postos de recarga no Brasil e, em particular, como modelar a expectativa de receita diante de possíveis cenários futuros. Este estudo avalia a viabilidade econômico-financeira da instalação de postos de recarga em rodovias, considerando peculiaridades e perspectivas futuras do mercado brasileiro. São propostas duas abordagens: o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), estimado a partir de fluxos de caixa esperados, e o VPL Estocástico (VPL-E), obtido por simulações estocásticas dos fluxos de caixa futuros. Para demonstrar essa metodologia, apresenta-se um estudo de caso hipotético da implementação de um posto de recarga na BR-116, que liga o estado do Rio de Janeiro a São Paulo. Os resultados identificam fatores críticos que impactam a viabilidade dos investimentos, fornecendo subsídios para decisões estratégicas na expansão da mobilidade elétrica. O estudo contribui para a literatura ao explorar a aplicação de métodos probabilísticos no planejamento de infraestrutura em mercados incertos e em desenvolvimento. A pesquisa demonstra que a instalação do posto de recarga apresenta um VPL de R\$ 232.163,28, e a mediana do VPL-E é de R\$ 224.571,95, evidenciando redução nos retornos esperados quando incertezas antes ignoradas são consideradas, com 15,91% de probabilidade de o VPL-E ser menor ou igual a zero.

Palavras-chave

Mobilidade elétrica; Infraestrutura de recarga; Veículos elétricos (EV); Simulação de Monte Carlo (SMC); Valor Presente Líquido Estocástico (VPL-E).

ABSTRACT

Gleich, Leonardo Poubel; Bastian-Pinto, Carlos de Lamare (Advisor). **Evaluation of roadside charging stations in Brazil: An economic-financial feasibility analysis using Stochastic NPV**. Rio de Janeiro, 2025, 65p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Several aspects highlight the emergence of electromobility and the progressive replacement of combustion-powered vehicles with electric ones. A key factor in the proliferation of these vehicles is the availability of charging stations, especially along highways. Given this scenario, it becomes relevant to discuss the assessment of charging station ventures in Brazil and how to model revenue expectations considering possible future scenarios. This study evaluates the economic and financial feasibility of installing highway charging stations, considering the peculiarities and future perspectives of the Brazilian market. Two approaches are proposed: the calculation of the Net Present Value (NPV), estimated based on expected cash flows, and the Stochastic NPV (NPV-E), obtained through stochastic simulations of future cash flows. To demonstrate this methodology, a hypothetical case study is presented on the implementation of a charging station along the BR-116 highway, which connects the state of Rio de Janeiro to São Paulo. The results identify critical factors that impact investment feasibility, providing insights into strategic decision-making in the expansion of electric mobility. The study contributes to literature by exploring the application of probabilistic methods in infrastructure planning within uncertain and developing markets. The research shows that the installation of the charging station presents an NPV of R\$ 232,163.28, while the median NPV-E is R\$ 224,571.95, highlighting a reduction in expected returns when previously ignored uncertainties are considered, with a 15.91% probability that the NPV-E will be less than or equal to zero.

Keywords

Electric mobility; Charging infrastructure; Electric vehicles (EV); Monte Carlo simulation; Stochastic Net Present Value (NPV-E).

SUMÁRIO

1 Introdução	10
1.1 Problema de pesquisa	14
1.2 Objetivo	14
1.3 Relevância do estudo	15
1.4 Delimitações do estudo	15
1.5 Estrutura da dissertação	16
2 Referencial Teórico	17
2.1 Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL	17
2.2 Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL Estocástico (VPL-E)	18
2.3 Simulação de Monte Carlo (SMC)	21
2.4 Curva S de Adoção de Mercado	24
3 Contextualização do Mercado de Veículos Elétricos (EV)	26
3.1 A Infraestrutura de Recarga como Pilar para a Expansão do mercado de EV	26
3.2 Avaliação econômico-financeiro dos Postos de Recarga para EV	30
4 Metodologia	32
4.1 Demanda por Recarga	32
4.1.1 Projeção de EV na Rodovia	33
4.1.2 Estimativa da Demanda por Recarga no Posto de Recarga	34
4.2 Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL	38
4.2.1 Fluxo de Caixa do Posto de Recarga	39
4.2.2 Custo de Capital Próprio (CAPM) e Fluxo de Caixa com Perpetuidade	40
4.3 Análise da Viabilidade de Projetos pelo VPL Estocástico	40
5 Avaliação de um Posto de Recarga Hipotético na Rodovia	42
5.1 Demanda por Recarga	42
5.1.1 Projeção de EV na Rodovia BR-116	43
5.1.2 Estimativa da Demanda por Recarga na Rodovia BR-116	44
5.2 Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL	46
5.2.1 Fluxo de Caixa do Posto de Recarga	47

5.2.2 Custo de Capital Próprio (CAPM) e Fluxo de Caixa com Perpetuidade	48
5.3 Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL Estocástico	49
6 Resultado	52
7 Conclusão	54
8 Referências Bibliográficas	56
9 Apêndices	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo médio de recarga e potência média fornecida durante o carregamento	45
Tabela 2 – Demanda por energia na rodovia	46
Tabela 3 – Dados Financeiros	47
Tabela 4 – Fluxo de Caixa	49

1

Introdução

Impulsionada pelo clamor da sociedade pelo uso de tecnologias que respeitem o meio ambiente e pelo constante aprimoramento de técnicas de armazenagem de energia (baterias elétricas), a mobilidade elétrica vem nos últimos anos, gradativamente, tomando o lugar dos carros a combustão (Bermúdez-Rodríguez e Consoni, 2020).

Para que se tenha uma ideia, em 2024, a China registrou cerca de 4,3 milhões de vendas de veículos totalmente elétricos, representando um crescimento de 41% em relação ao ano anterior. Essa evolução reflete a crescente aceitação da mobilidade elétrica no país, impulsionada por incentivos governamentais e avanços tecnológicos. Em outubro de 2024, veículos elétricos e híbridos corresponderam a 52,9% do total de automóveis vendidos no país, superando os modelos movidos a combustão interna por quatro meses consecutivos (CNN BRASIL, 2024).

Nesse contexto, a infraestrutura de recarga dos Veículos Elétricos (EV) desempenham um papel relevante constituindo-se em um dos principais fatores de desconforto dos consumidores de EV. Segundo a International Energy Agency (2024), a maior parte das recargas é efetuada em residências, espaços públicos e em estacionamentos corporativos. Apesar do percentual de recargas em rodovias ser inferior (em virtude da própria concentração de veículos em cidades), ela é fundamental para garantir a realização de viagens daqueles que percorrem longas distâncias, implicando em oportunidades de investimentos em postos de recarga rodoviários.

No entanto, a decisão de investir nos postos não é simples, considerando que a demanda por recarga de energia futura é incerta (Cairns e Albertus, 2010), o que dificulta o trabalho de avaliação de empreendimentos neste segmento. Entre os diversos fatores que influenciam nessa incerteza, temos: a própria difusão dos veículos elétricos, a autonomia dos EV e a quantidade de pontos de recarga. A difusão de EV é por natureza errática, dependente de aspectos econômicos (preço do EV vs preço do carro a combustão, custo da recarga vs custo do combustível, custo de manutenção EV vs custo manutenção do carro a combustão etc.) e comportamentais (propensão a inovar e imitar dos consumidores) (Grangeia et al., 2023). Uma difusão mais acelerada afeta positivamente a demanda por recarga,

enquanto uma difusão mais lenta pode frustrar as expectativas iniciais dos empreendedores quanto a venda de energia. A autonomia dos EV também podem impactar na demanda de recarga, considerando que quanto maior a autonomia menor é a necessidade de carregamento. A oferta de pontos de recarga pode influenciar no *marketshare* de cada empreendimento, tendo-se em conta que as barreiras de entrada para implementação de pontos de recarga são relativamente baixas quando comparadas ao dos postos de combustíveis.

A metodologia mais utilizada na avaliação de projetos é o VPL estimado a partir de fluxos de caixa esperados. Nessa metodologia, um fluxo esperado é uma média ponderada dos possíveis valores que esse fluxo pode assumir no futuro pelas probabilidades de ocorrência. O risco nessa abordagem é tratado unicamente no custo de capital utilizado para desconto a valor presente dos fluxos esperados. Em termos práticos, um VPL não negativo determina a viabilidade do projeto e o oposto a inviabilidade. Apesar da sua objetividade e popularidade, essa metodologia peca por não oferecer uma visão mais clara das probabilidades de êxito econômico dos projetos (Damodaran, 2017; Chizmar et al., 2020; Machado et al., 2024).

Visando corrigir as falhas do VPL tradicional discutidas previamente, uma abordagem cada vez mais utilizada na avaliação de empreendimentos é a do VPL probabilístico, a qual foi nominada nesse texto como VPL Estocástico (VPL-E). Essa abordagem consiste na simulação das diversas possíveis realizações dos fluxos de caixa futuros, a partir do estudo do comportamento de suas variáveis, permitindo a construção de uma distribuição de probabilidade do VPL dos projetos. Entre as vantagens dessa metodologia (em comparação ao VPL tradicional) é o suporte que ela gera no estudo de alternativas estratégicas que possam mitigar o risco de cenários negativos e amplificar ganhos em cenários melhores do que o esperado (Damodaran, 2017; Machado et al., 2024; Moreira et al., 2024).

Este trabalho propõe a aplicação de duas abordagens para avaliação da implementação de um posto de recarga hipotético em um ponto na BR-116 entre o estado do Rio de Janeiro e de São Paulo usando dois modelos: o cálculo do VPL, estimado a partir de fluxos de caixa esperados, e o VPL-E, estimado a partir de simulações estocásticas dos fluxos de caixa futuros do projeto.

Para tanto, foi desenvolvido um estudo de um posto de recarga hipotético no qual a difusão de EV foi analisada inicialmente utilizando o método VPL. A análise está fundamentada na utilização do estudo de Grangeia et al. (2023), que empregou

o modelo de Bass para projetar a adoção de EV na frota brasileira e avaliou a difusão do número de EV no mercado. Reconhecido por sua aplicabilidade em prever a aceitação de inovações no mercado, o modelo de Bass utiliza dois parâmetros principais: a taxa de inovação (p), que representa a adoção inicial de uma tecnologia influenciada por fatores externos, como campanhas publicitárias ou políticas públicas, e a taxa de imitação (q), que reflete a adoção impulsionada pela influência social, seja por meio de outros consumidores ou pela popularização da tecnologia. Além disso, o artigo avalia a adoção de EV comparando os custos de aquisição de EV em relação aos veículos movidos a combustão interna, destacando o preço como uma variável central para a penetração dos EV no mercado brasileiro, uma vez que a redução nos preços impulsionaria sua adoção, favorecida por economias de escala e pela queda no custo das baterias.

A projeção da adoção de EV no Brasil é essencial para planejar investimentos em infraestrutura de recarga, especialmente em rodovias como a BR-116, que conecta os estados do Rio de Janeiro e São Paulo. Utilizando os dados de EV e da frota total de veículos fornecidos por Grangeia et al. (2023), bem como informações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2023), foi possível calcular o fluxo anual de veículos que transitam pela rodovia e estimar o número de EV que utilizarão o trecho analisado.

Após estimar o número de EV que circularão na rodovia, a etapa seguinte será calcular a demanda estimada por recargas no posto, seguindo uma sequência estruturada de etapas. Inicialmente, foi determinada a quantidade de energia consumida por recarga, com base na potência média fornecida pelos veículos analisados ao realizarem recargas rápidas e no tempo médio dessas recargas. Em seguida, calculou-se o consumo de energia por quilômetro, dividindo a quantidade de energia consumida por recarga pela autonomia ajustada dos EV. A partir dessas informações, foi possível projetar a quantidade total de energia demandada na rodovia ao longo de um ano, considerando o fluxo de EV, a extensão do trecho e a eficiência energética dos veículos.

Além desses resultados, também será calculada a capacidade de carregamento anual de uma tomada, ajustada pela taxa de utilização média observada em estações de recarga rápida, refletindo o percentual de tempo em que as tomadas estão em operação. Esses valores permitiram determinar o número de carregadores necessárias (que possuem duas tomadas) para atender à demanda energética total

da rodovia. Por fim, a estimativa será aplicada para o posto de recarga, considerando a parcela de *marketshare* desejada, o que permitirá calcular tanto o número de carregadores necessárias quanto a demanda energética total do posto.

Definindo a demanda por energia no posto, o próximo passo será construir o fluxo de caixa projetado, considerando receitas, custos, despesas e outros gastos associadas à operação do posto de recarga. Esse fluxo de caixa servirá como base para a análise de viabilidade econômica do projeto. Posteriormente, será calculado o VPL, que permitirá avaliar a atratividade financeira do investimento, considerando o retorno esperado em relação ao custo de capital empregado.

Por fim, será realizado o cálculo do VPL-E, aplicando a Simulação de Monte Carlo (SMC), uma técnica utilizada para incorporar incertezas e riscos na análise de viabilidade de projetos. A SMC considera múltiplas trajetórias das variáveis-chave, como a quantidade de EV na frota total, que influenciam os fluxos de caixa, permitindo a modelagem de cenários anteriormente ignorados. Utilizando distribuições de probabilidade baseadas em projeções, a técnica randomiza essas variáveis para gerar milhares de iterações, resultando em uma ampla amostra de possíveis resultados. Isso possibilita a construção de uma distribuição probabilística do VPL, permitindo a análise de cenários extremos e a identificação de oportunidades para mitigação de riscos. Essa abordagem fornece uma visão ampliada do risco associado aos projetos, podendo auxiliar na tomada de decisões estratégicas ao ser integrada às técnicas financeiras tradicionais (Moreira et al., 2024; Moreira et al., 2024).

A incerteza sobre a viabilidade econômico-financeira dos postos de recarga será analisada por meio do VPL-E, calculado por SMC, que gerará milhares de cenários de VPL e determinará a probabilidade de alcançar um valor médio. Para mensurar o risco envolvido, será utilizada a métrica *Value at Risk* (VaR) e *Conditional Value at Risk* (CvaR), que estima a perda máxima esperada dentro de um determinado nível de confiança. Essas abordagens permitem quantificar a probabilidade de eventos adversos, auxiliando na tomada de decisão ao equilibrar retorno e risco no investimento em postos de recarga.

1.1

Problema de Pesquisa

A expansão da mobilidade elétrica no Brasil enfrenta desafios significativos relacionados à infraestrutura de recarga, especialmente em rodovias, onde a disponibilidade de estações é crucial para viabilizar viagens de longa distância.

Contudo, a avaliação da viabilidade econômico-financeira de postos de recarga rodoviários é complexa devido às incertezas associadas à adoção futura de EV, ao comportamento dos usuários, e as variáveis de receitas e custos operacionais. Esses fatores, somados à imprevisibilidade de cenários econômicos e tecnológicos, tornam essencial o uso de abordagens que contemplem essas incertezas. Assim, surge a questão central:

Como projetar a demanda por recarga de EV e avaliar a viabilidade econômico-financeira de postos de recarga rodoviários, utilizando metodologias tradicionais (VPL) e probabilísticas (VPL-E), para lidar com as incertezas do mercado brasileiro?

1.2

Objetivo

O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade econômico-financeira da instalação de postos de recarga para EV na rodovia BR-116, no trecho que conecta os estados do Rio de Janeiro e São Paulo.

Para isso, busca-se projetar a demanda por recarga de EV até 2040, considerando o fluxo médio diário de veículos, a representatividade dos EV na frota nacional e o comportamento esperado de crescimento dessa frota. Além disso, serão estimados o volume energético necessário para atender à demanda projetada, com base na autonomia média e nos padrões de consumo dos EV. A análise econômico-financeira será realizada utilizando duas abordagens complementares: o modelo tradicional de fluxo de caixa descontado e posteriormente o cálculo do VPL e a avaliação por meio do modelo probabilístico (VPL-E), que incorpora incertezas e variabilidades financeiras por meio da SMC.

Por fim, o estudo pretende identificar os principais fatores críticos que influenciam a viabilidade do investimento em infraestrutura de recarga, oferecendo

informações estratégicas que apoiem a expansão da mobilidade elétrica no Brasil, e assim, gerem subsídios para decisões alinhadas ao cenário de transição energética.

1.3

Relevância do Estudo

A relevância deste estudo reside em sua contribuição para o enfrentamento de um dos principais desafios da expansão da mobilidade elétrica no Brasil: a ausência de uma infraestrutura de recarga adequada, especialmente em rodovias.

Essa limitação representa um entrave significativo para a adoção generalizada de EV, dificultando a realização de viagens de longa distância e desestimulando consumidores potenciais. Ao propor uma avaliação da viabilidade econômico-financeira de postos de recarga, o estudo busca oferecer informações para investidores, formuladores de políticas públicas e demais *stakeholders* interessados no desenvolvimento desse mercado emergente.

Adicionalmente, ao integrar métodos tradicionais de análise, como o VPL, e abordagens probabilísticas, como o VPL-E baseado na SMC, o estudo traz uma visão alinhada às incertezas características do mercado brasileiro. Essa combinação metodológica não apenas amplia o rigor analítico, mas também permite identificar riscos e oportunidades de maneira anteriormente ignorada, oferecendo *insights* para decisões de investimento em um cenário dinâmico e em transformação.

Por fim, a relevância acadêmica deste trabalho está na contribuição para a literatura ao explorar a aplicação de métodos probabilísticos em mercados incertos e em desenvolvimento. Em um contexto de transição energética global e crescente pressão por soluções sustentáveis, o estudo se posiciona como uma ferramenta para apoiar a expansão da infraestrutura de recarga, promovendo o avanço da mobilidade elétrica e contribuindo para os esforços de descarbonização no Brasil.

1.4

Delimitações do Estudo

Este estudo está delimitado à avaliação da viabilidade econômico-financeira de postos de recarga para EV ao longo de um trecho específico da rodovia BR-116, que conecta os estados do Rio de Janeiro e São Paulo. A análise foca na projeção

da demanda energética e na difusão dos EV no Brasil, utilizando dados e suposições de mercado com base em estudos prévios, mas reconhece que essas projeções podem não refletir integralmente as condições futuras.

Adicionalmente, outro limite importante é a aplicação geográfica restrita à BR-116, o que reduz a generalização dos resultados para outras rodovias ou regiões dentro e fora do Brasil. Além disso, o estudo considera apenas o investimento necessário para a compra e instalação dos equipamentos de recarga, sem incluir os custos com infraestrutura de energia que possam ser exigidos para suportar um aumento significativo da demanda. Também não são levados em conta possíveis avanços futuros em tecnologias de recarga rápida, mudanças expressivas nos preços de energia ou combustíveis, nem cenários de crises econômicas que possam impactar os padrões de demanda ou a viabilidade econômica projetada.

Por fim, a análise se concentra exclusivamente em aspectos financeiros e econômicos, como projeção de demanda energética, fluxo de caixa e cálculo de indicadores de viabilidade, sem extrapolar para outras áreas do conhecimento que também poderiam ser relevantes para avaliar a adoção de EV, como aspectos sociais, comportamentais, tecnológicos e ambientais.

1.5

Estrutura da Dissertação

A dissertação está estruturada em oito partes principais: (i) após esta introdução, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL; (ii) em seguida, aborda-se a Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL Estocástico; (iii) na sequência, discute-se a aplicação da Simulação de Monte Carlo como ferramenta de análise probabilística; (iv) posteriormente, apresenta-se a Curva S de Adoção de Mercado; (v) em seguida, realiza-se a contextualização do mercado de veículos elétricos (EV); (vi) na próxima etapa, são detalhados os procedimentos metodológicos adotados no estudo; (vii) apresenta-se a avaliação de um posto de recarga hipotético em uma rodovia; e, por fim, (viii) são expostos os resultados e as conclusões do estudo.

2

Referencial Teórico

O referencial teórico deste estudo está estruturado em quatro etapas principais, cada uma abordando conceitos complementares para a análise de viabilidade econômico-financeira de projetos. A primeira etapa apresenta a Análise de Viabilidade de Projetos pelo Valor Presente Líquido (VPL), que avalia a atratividade de um investimento por meio da projeção de fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa apropriada. A segunda etapa discute a Análise de Viabilidade de Projetos pelo Valor Presente Líquido Estocástico (VPL-E), uma abordagem que aprimora o modelo tradicional ao incorporar incertezas e variações nos fluxos financeiros. A terceira etapa aborda a Simulação de Monte Carlo (SMC), um método probabilístico que permite modelar cenários diversos, ampliando a análise de risco e retorno ao considerar múltiplas possibilidades de comportamento dos fluxos de caixa. Por fim, a quarta etapa introduz a Curva S de Adoção de Mercado, um modelo baseado na função logística que descreve a difusão de inovações ao longo do tempo, permitindo projetar a velocidade e a saturação da adoção de novas tecnologias.

2.1

Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL

O Fluxo de Caixa Descontado (DCF) é um método de análise de viabilidade econômico-financeira que calcula o valor presente dos fluxos de caixa futuros esperados, permitindo avaliar o retorno potencial de um projeto (Damodaran, 2017). Como destacado por De la O e Myers (2021), o DCF é amplamente utilizado na precificação de ativos, sendo influenciado pelas expectativas de crescimento dos fluxos de caixa e podendo impactar a volatilidade dos preços.

A metodologia do DCF baseia-se no Valor Presente Líquido (VPL), que soma os fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa apropriada, subtraindo o investimento inicial. Essa taxa reflete o custo de oportunidade do capital e os riscos do projeto (Chizmar et al., 2020; Abdelhady, 2021), podendo ser calculada pelo Custo Médio Ponderado de Capital (WACC), que combina o custo do capital próprio (K_e) e da dívida (K_d) conforme a estrutura de financiamento. O K_e , usado

quando não há dívida, reflete o retorno esperado pelo investidor e é frequentemente estimado pelo Modelo de Precificação de Ativos de Capital (CAPM), que considera a taxa livre de risco, o retorno esperado do mercado e o beta do ativo, mensurando sua sensibilidade ao risco (Saluga et al., 2021).

Em projetos de longo prazo, a avaliação do valor residual é essencial para estimar com precisão a viabilidade econômica. Como os fluxos de caixa podem se estender indefinidamente, a perpetuidade captura o valor econômico após o período de projeção inicial, incorporando fluxos esperados em horizonte indefinido. Amplamente utilizada no DCF, ela é especialmente relevante para empresas maduras e projetos com geração de caixa estável ao longo do tempo, sendo fundamental na determinação do valor econômico final do empreendimento (Damodaran, 2017).

Apesar da ampla utilização do VPL, o modelo limita-se ao tratar o risco apenas via taxa de desconto, assumindo fluxos fixos e previsíveis (Damodaran, 2017). Essa abordagem pode não capturar adequadamente incertezas de mercado e eventos extremos. Para superar essas limitações, o VPL Estocástico (VPL-E) utiliza métodos probabilísticos, como a Simulação de Monte Carlo (SMC), permitindo uma análise mais realista e abrangente (Fonseca et al., 2024), conforme abordado no próximo tópico.

2.2

Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL Estocástico (VPL-E)

Conforme Machado et al. (2024), o VPL trata o risco exclusivamente por meio da taxa de desconto, assumindo valores fixos e previsíveis para os fluxos de caixa. Para superar essas limitações, o VPL-E emerge como uma abordagem para a avaliação de viabilidade econômica, incorporando o risco e a incerteza das variáveis financeiras envolvidas.

Essa metodologia utiliza distribuições de probabilidade para representar a incerteza de variáveis-chave, como receitas, custos, taxas de crescimento etc. Com técnicas preditivas, como a SMC, o VPL-E modela diversos cenários, fornecendo uma visão probabilística dos resultados e ampliando a análise de risco e retorno. Essa abordagem permite construir fluxos de caixa que capturam a variabilidade financeira, resultando em um indicador que não apenas reflete o retorno esperado,

mas também incorpora a probabilidade, possibilitando a mitigação de riscos em cenários adversos e a maximização de ganhos em cenários favoráveis (Machado et al., 2024). Para compreender o conceito de VPL-E, é essencial entender os processos estocásticos, definidos por Hull (2015) como evoluções incertas ao longo do tempo que se manifestam como fenômenos aleatórios ou parcialmente aleatórios. Esses processos podem ser classificados como discretos ou contínuos, tanto em relação ao tempo quanto à variável analisada. No contexto discreto, a variável assume apenas um conjunto finito ou enumerável de valores em pontos específicos no tempo. Por outro lado, no contexto contínuo, as alterações na variável ocorrem de forma ininterrupta, podendo ser observadas em qualquer instante temporal. Essa distinção é crucial para modelar fenômenos financeiros, permitindo que a incerteza e a volatilidade sejam integradas às análises de viabilidade.

Os processos estocásticos também podem ser avaliados quanto à sua estacionariedade, que se refere à estabilidade de propriedades estatísticas, como média e variância, ao longo do tempo. Quando essas propriedades permanecem constantes, o processo é estacionário; caso contrário, é considerado não estacionário, indicando mudanças que podem comprometer a precisão das previsões. Para identificar a estacionariedade, utiliza-se o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), que verifica a presença de uma raiz unitária. A hipótese nula (H_0) sugere que a série é não estacionária ($\phi=1$), enquanto a hipótese alternativa (H_1) indica estacionariedade ($\phi<1$). Uma etapa importante do teste ADF é a escolha do número ideal de defasagens (lags), feita com base em critérios de informação, como o AIC (Critério de Informação de Akaike), o BIC (Critério de Informação Bayesiano) e o HQC (Critério de Informação de Hannan-Quinn). A seleção correta evita distorções causadas por resíduos correlacionados e assegura maior precisão na análise (Silveira et al., 2023; Hull, 2015).

No contexto do artigo de Brandão, Dyer e Hahn (2012), os processos estocásticos são utilizados para a modelagem de fluxos de caixa e incertezas, permitindo a aplicação do Movimento Geométrico Browniano (MGB) na análise de volatilidade e do comportamento estocástico do valor de projetos. Essa abordagem reconhece que a volatilidade é um dos principais fatores de risco em projetos, sendo ajustada dinamicamente à medida que novas informações sobre o investimento se tornam disponíveis. Conforme destacado por Bastian-Pinto et al. (2021), o MGB, um conhecido processo de Markov, é empregado para modelar

séries não estacionárias, onde as mudanças ocorrem de forma contínua e imprevisível. A escolha do MGB como modelo apropriado pode ser determinada pelo resultado do teste ADF: quando a série é não estacionária (Cunha, 2019).

Uma das principais razões para a ampla aceitação do MGB é sua simplicidade, decorrente do baixo número de parâmetros necessários para sua estimativa e da facilidade de aplicação em análises de ativos financeiros. Essa característica torna o MGB uma ferramenta prática para modelar incertezas em projetos e investimentos. No entanto, é importante destacar que a variância da variável analisada no MGB cresce proporcionalmente ao tempo, o que pode levar a trajetórias cada vez mais divergentes à medida que o horizonte de análise se estende. Essa limitação pode resultar em simulações que geram cenários pouco plausíveis, especialmente em contextos onde a volatilidade apresenta comportamentos distintos (Bastian-Pinto et al., 2021).

A SMC pode ser empregada no cálculo do VPL-E, utilizando o MGB para descrever a dinâmica estocástica das variáveis que compõem os fluxos de caixa do projeto. Vajargah e Shoghi (2015) demonstraram essa integração ao modelar o comportamento do índice total do mercado de ações, onde o MGB foi utilizado para capturar a tendência de crescimento e a volatilidade do índice, enquanto a SMC gerou múltiplas trajetórias possíveis com base na equação diferencial estocástica do MGB. Essa abordagem permitiu prever o índice ao longo do tempo e calcular o *Value at Risk* (VaR) com maior precisão, um indicador que estima a perda potencial máxima de um ativo dentro de um determinado horizonte de tempo e nível de confiança, evidenciando a capacidade da SMC de incorporar incertezas nas análises financeiras. Além disso, Laudagé e Turkalj (2025) ampliaram essa análise ao calcular o *Conditional Value at Risk* (CVaR), que considera não apenas o valor crítico de perdas, mas também a média das perdas extremas, proporcionando uma medida de risco mais abrangente e conservadora.

No cálculo do VPL-E, a SMC é essencial para simular diferentes trajetórias dos fluxos de caixa futuros, considerando incertezas em diversas variáveis. Isso permite estimar distribuições de probabilidade tanto dos fluxos de caixa quanto dos indicadores financeiros associados, fornecendo uma análise probabilística da viabilidade do empreendimento. Essa abordagem amplia a análise tradicional ao incorporar cenários incertos e variáveis voláteis, sendo especialmente útil em projetos com alto grau de incerteza. Além disso, pode ser aplicada em diversas

análises econômicas e financeiras, como será apresentado no próximo tópico (Fonseca et al., 2024).

2.3

Simulação de Monte Carlo (SMC)

A SMC é uma técnica desenvolvida durante a Segunda Guerra Mundial por John von Neumann, matemático húngaro-americano, em colaboração com outros cientistas, com o objetivo de modelar a difusão aleatória de partículas de nêutrons em processos de fissão nuclear. Inspirada em experimentos probabilísticos, a SMC tornou-se uma ferramenta para simular cenários complexos e apoiar a tomada de decisão. Essa técnica estatística utiliza distribuições de probabilidade e a geração de números aleatórios para modelar sistemas complexos e lidar com incertezas (Paiva, 2024; Akindipe et al., 2024).

Ela permite adaptar o modelo às características específicas das variáveis analisadas, oferecendo flexibilidade na definição dessas distribuições. Além disso, o tamanho da amostra, geralmente na ordem de dezenas de milhares de iterações, busca garantir a convergência e a confiabilidade dos resultados (Nimmala, 2024). Outra vantagem da SMC é a capacidade de visualizar as distribuições probabilísticas geradas, facilitando a comunicação dos resultados e a análise de cenários (Rahim et al., 2024). Embora seja uma técnica intensiva em termos computacionais, os avanços tecnológicos e o uso de ferramentas especializadas têm tornado sua aplicação mais acessível, ampliando sua utilização em diversos setores. Isso permite que a SMC seja empregada em diversas áreas inclusive em finanças (Sathler, Yeter e Kolios, 2024). Essas características tornam a SMC uma técnica versátil para a análise de projetos financeiros, especialmente em contextos de alta incerteza (Amorim, Silva e Izepepe, 2024).

A SMC utiliza números aleatórios para representar variáveis-chave por meio de diferentes distribuições. A distribuição normal é amplamente empregada quando se deseja modelar variáveis que tendem a se concentrar em torno de um valor médio, com dispersão controlada pelo desvio-padrão. Esse comportamento reflete muitos fenômenos naturais e econômicos, sendo reforçado pelo Teorema do Limite Central, que assegura que, para grandes amostras, a distribuição da média dos dados segue aproximadamente uma normal, independentemente da distribuição original.

Por outro lado, a distribuição triangular é utilizada quando há informações limitadas sobre a variável analisada. Ela é definida por três parâmetros: o valor mínimo, o mais provável e o máximo, criando uma forma de distribuição simples que reflete uma estimativa baseada no conhecimento disponível. Enquanto a distribuição normal pressupõe simetria e a presença de caudas longas, a triangular é assimétrica em muitos casos e é útil para modelar situações em que os extremos são conhecidos, mas os dados intermediários não seguem uma estrutura estatística clara. Ambas as distribuições podem ser utilizadas separadamente ou em conjunto na SMC, dependendo da variável de incerteza modelada e da disponibilidade de dados (Rodrigues, Nunes, Adriano, 2010; Herzog, Silva, Weymar, 2024).

Moreira et al. (2024) aplicaram a SMC em um contexto voltado para a avaliação de negócios, modelando a incerteza associada à viabilidade financeira de um empreendimento de entregas de marmitas. No estudo, foram analisadas variáveis críticas como receitas, custos de matérias-primas e vendas diárias, todas representadas por distribuições de probabilidade. A metodologia envolveu a realização de múltiplas simulações para estimar o VPL do investimento, permitindo compreender a distribuição probabilística dos retornos financeiros. Essa abordagem possibilitou identificar a volatilidade dos resultados e calcular a probabilidade de atingir diferentes níveis de lucratividade. Os resultados da análise revelaram que o investimento teria um período de recuperação de quatro anos, com apenas 10,5% de probabilidade de inviabilidade. Esses resultados destacam a relevância da SMC para identificar riscos financeiros e fornece uma base para a tomada de decisões.

A SMC também tem se mostrado uma ferramenta utilizada em outros setores. No contexto da produção de biocombustíveis, Rahim et al. (2024) empregaram a SMC para avaliar os riscos econômicos associados à coprodução de biodiesel e Ésteres Metílicos de Ácidos Graxos Epoxidados (EFAMEs) a partir de óleo de cozinha residual. Por meio de 25.000 iterações, a técnica analisou indicadores financeiros como o VPL e a TIR, incorporando incertezas relacionadas aos preços de insumos e produtos. Os resultados demonstraram uma probabilidade de 97,8% de obtenção de um VPL positivo e 98,5% para uma TIR superior a 10%, evidenciando a viabilidade econômica do projeto. Em outro setor, Amorim, Silva e Izepe (2024) aplicaram a SMC para avaliar os custos de insumos na produção de cana-de-açúcar, destacando sua utilidade no setor agrícola. A análise envolveu 50.000 iterações, utilizando distribuições normais para modelar variáveis como

custos de fertilizantes, corretivos e pesticidas, dada a baixa dispersão nos dados históricos. A técnica permitiu prever tendências para os próximos 12 meses, revelando que os fertilizantes representaram 82% dos custos totais, com um custo médio estimado de US\$ 0,55 por tonelada e uma probabilidade de 76,2% de os custos permanecerem nesse patamar. Esses exemplos evidenciam como a SMC pode auxiliar na gestão de riscos e na tomada de decisões estratégicas em diferentes contextos, como o setor de biocombustíveis e agricultura.

No setor de petróleo e gás, a SMC foi empregada para avaliar projetos de captura e armazenamento de carbono (CCS). No estudo conduzido por Nimmala (2024), a técnica foi aplicada em um modelo de DCF, permitindo a incorporação de incertezas em variáveis críticas como custos de capital (CAPEX), despesas operacionais (OPEX) e preços do carbono. Por meio de distribuições probabilísticas e múltiplas iterações, foi possível gerar distribuições para indicadores financeiros, como o VPL e a TIR, fornecendo uma análise dos cenários econômicos. O método, também aplicado no setor de energia renovável, como demonstra o estudo de Sathler, Yeter e Kolios (2024), avaliou os impactos das perdas operacionais nos custos nivelados de energia (LCOE) e na viabilidade econômica de projetos de energia eólica offshore. Nesse caso, a técnica foi utilizada em um modelo econômico com 100.000 iterações, considerando variáveis como OPEX, envelhecimento dos equipamentos e perdas por curtailment (redução forçada na geração de energia devido às limitações na rede), modeladas com distribuições normais. Os resultados mostraram que, em cenários extremos, o LCOE pode aumentar até 21,6%, reduzindo a probabilidade de obtenção de um VPL positivo de 65,9% para 38,7%. A análise permitiu identificar riscos financeiros e propor intervenções e estratégias de mitigação para melhorar a viabilidade econômica desses projetos.

Avaliando suas aplicações, a SMC se mostra como uma técnica versátil e pode ser utilizada para lidar com incertezas e apoiar decisões estratégicas. Aplicada em setores como energia eólica offshore, captura de carbono e agricultura, ela permite analisar riscos financeiros e otimizar recursos em contextos de alta complexidade (Sathler, Yeter e Kolios, 2024; Nimmala, 2024; Amorim, Silva e Izepe, 2024). Esses exemplos evidenciam como a SMC aprimora a avaliação de projetos, oferecendo uma visão probabilística essencial em cenários de incerteza.

2.4

Curva S de Adoção de Mercado

A difusão de inovações em um mercado segue um padrão característico que pode ser descrito matematicamente pela chamada curva em S, baseada na função logística. Esse modelo representa a evolução da adoção de um novo produto, tecnologia ou comportamento ao longo do tempo e permite prever tanto a capacidade total do mercado quanto a velocidade de crescimento da adoção (Falcão, 2020).

A curva em S apresenta três estágios distintos: (i) uma fase inicial de adoção lenta, em que poucos inovadores aderem à novidade; (ii) uma fase intermediária de crescimento acelerado, quando ocorre um efeito de massa crítica e um grande número de consumidores passa a adotar a inovação; e (iii) uma fase final de saturação, em que o mercado atinge um limite máximo de adoção e a taxa de crescimento desacelera (Souza, 2021). Esse comportamento é semelhante ao observado em diversos processos naturais e tecnológicos como a difusão de tecnologias industriais e a penetração de EV no setor de transportes (Silva, 2023; Grangeia et al., 2023).

A formulação matemática desse modelo remonta à função logística proposta por Verhulst (1838) para descrever o crescimento populacional. No campo da inovação, Rogers (1962) popularizou o conceito da curva em S na teoria da difusão de inovações, destacando o papel dos diferentes perfis de adotantes ao longo do tempo. Posteriormente, Bass (1969) refinou esse modelo para descrever a adoção de novos produtos no mercado consumidor.

A aplicação da curva em S para novos mercados é útil para estimar o potencial total de adoção de uma inovação e a velocidade com que essa adoção ocorrerá. Ao analisar dados iniciais de um mercado emergente, é possível ajustar os parâmetros da função logística para projetar cenários futuros e antecipar tendências. Esse tipo de modelagem é utilizado para prever a adoção de novas tecnologias digitais, fontes de energia renovável e inovações regulatórias (Gomes, Neris Jr., 2021).

Além disso, a curva em S permite identificar pontos de intervenção estratégica, como a necessidade de incentivos para acelerar a fase de adoção inicial ou a importância de estratégias de diferenciação para prolongar o crescimento antes da saturação. No caso da adoção de tecnologias sustentáveis, a compreensão da

curva de adoção pode auxiliar na definição de políticas públicas e incentivos fiscais para ampliar a penetração da tecnologia no mercado (Falcão, 2020).

Portanto, a curva em S de adoção é uma ferramenta para avaliar mercados novos e desconhecidos, fornecendo *insights* sobre a capacidade máxima de adoção e a velocidade de crescimento da inovação. Seu uso possibilita tomadas de decisão mais informadas, seja para gestores públicos, investidores ou estrategistas de mercado (Rogers, 1962; Bass, 1969; Gomes, Neris Jr., 2021).

3

Contextualização do Mercado de Veículos Elétricos (EV)

Nesta seção, será abordada a evolução recente e a relevância atual do mercado de EV, com ênfase nos fatores que impulsionam sua adoção e nos desafios enfrentados para a consolidação desse setor. Apesar de suas origens históricas, os EV ganharam destaque global recentemente devido ao crescente interesse em soluções de transportes mais sustentáveis e alinhados com os objetivos de descarbonização e mitigação das mudanças climáticas.

A análise contextual irá considerar aspectos como o impacto ambiental reduzido dos EV ao longo de seu ciclo de vida, especialmente em comparação com veículos movidos a combustíveis fósseis, bem como o papel crucial de inovações tecnológicas, como baterias de íons de lítio, na viabilização e expansão do setor. Além disso, serão discutidos os desafios estruturais que limitam a ampla adoção dos EV, incluindo a necessidade de reduzir custos de produção, ampliar a infraestrutura de recarga e superar barreiras econômicas e regulatórias.

Particular atenção será dada à importância da expansão da infraestrutura de recarga, que é vista como um fator estratégico para estimular a confiança do consumidor e viabilizar o uso de EV em longas distâncias. Esse estudo destaca a relevância de postos de recarga, especialmente ao longo de rodovias, e as condições necessárias para torná-los economicamente viáveis. Assim, esta seção busca oferecer uma visão abrangente sobre o panorama atual do mercado de EV e as condições essenciais para seu desenvolvimento sustentável no Brasil e no mundo.

3.1

A Infraestrutura de Recarga como Pilar para a Expansão do Mercado de EV

De acordo com Cairns e Albertus (2010), o pioneirismo de Robert Anderson resultou na construção do primeiro EV em 1834. Esse marco foi seguido por um desenvolvimento gradual de tecnologias avançadas para baterias e motores elétricos, o que contribuiu para o aumento da popularidade desses veículos. No entanto, a invenção e a adoção em larga escala dos motores a combustão interna, juntamente com a disponibilidade de petróleo a preços acessíveis, levaram à substituição progressiva dos EV pelos veículos movidos a gasolina.

Nos últimos anos, o mercado de EV tem ganhado destaque global devido à necessidade de transição para formas de transporte mais sustentáveis e à crescente preocupação com as mudanças climáticas. Um dos fatores mais relevantes para o crescimento desse mercado é o desenvolvimento das baterias de íons de lítio, que, embora representem um alto custo na cadeia de valor dos EV, apresentam vantagens ambientais significativas em relação a outras tecnologias, como menor impacto ambiental durante a produção e maior eficiência energética. Entre os tipos de EV, os veículos elétricos a bateria (BEV) se destacam por seu impacto ambiental significativamente reduzido ao longo de todo o ciclo de vida, especialmente quando comparados aos veículos com motores de combustão interna (ICEV). Isso ocorre devido à ausência de emissões diretas de gases poluentes durante sua operação 100% elétrica, desde que a eletricidade utilizada para seu carregamento seja gerada a partir de fontes de energia renováveis ou de baixo carbono. Por outro lado, os veículos elétricos híbridos (HEV) apresentam uma alternativa intermediária, com menor emissão de gases poluentes e maior eficiência de combustível em relação aos ICEV, mas ainda inferiores aos BEV, pois dependem parcialmente de combustíveis fósseis. Adicionalmente, a matriz energética de cada região desempenha um papel diferente na definição dos benefícios ambientais proporcionados pelos EV, uma vez que regiões com maior participação de fontes renováveis na geração de eletricidade maximizam as vantagens desses veículos, enquanto regiões com matriz energética baseada em combustíveis fósseis limitam seu potencial sustentável (Bermúdez-Rodríguez et al., 2021).

Neste contexto, Ebersold et al. (2023) reforçam a importância da descarbonização dentro da cadeia de valor das empresas. Os autores argumentam que a implementação de medidas conhecidas como carbon *insetting* pode contribuir significativamente para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GHGE). Eles também destacam a falta de diretrizes claras para a contabilidade dessas medidas, propondo um modelo de pilar adaptado que divide a contabilidade em três componentes: a pegada de carbono corporativa, as reduções de GHGE fora dos escopos diretos da empresa, e os GHGE removidos da atmosfera. Com base em um estudo de caso na indústria automotiva, os autores demonstram que, ao financiar medidas de eficiência energética em fornecedores, uma empresa pode contabilizar uma parte das reduções de GHGE, promovendo maior transparência e integridade nas metas de redução de emissões. Além disso, a adoção de medidas de *insetting*

pode fortalecer as relações com *stakeholders* e manter os retornos financeiros dentro da cadeia de valor, incentivando investimentos em eficiência energética e sistemas de energia renovável.

Apesar dos benefícios ambientais apresentados, a adoção dos EV deve considerar outros fatores críticos que desempenham papéis significativos. Cairns e Albertus (2010) argumentam que a viabilidade dos EV depende crucialmente da capacidade de reduzir os custos de produção e prolongar a vida útil das baterias. Da mesma forma, Bermúdez-Rodríguez e Consoni (2020) salientam que a competitividade dos EV em relação aos veículos movidos a combustíveis fósseis ou biocombustíveis depende das inovações tecnológicas nas baterias. Portanto, a diminuição dos custos de produção e venda das baterias é essencial para tornar os EV mais acessíveis e competitivos em relação aos veículos tradicionais. Além disso, fatores como o custo do combustível, benefícios fiscais, redução ou isenção de tarifas de eletricidade, renda per capita nacional e infraestrutura de carregamento são determinantes para o amadurecimento desse mercado (Wang, Tang, Pan, 2019).

Com a substituição dos veículos a combustão interna por veículos elétricos (EV), espera-se que ocorram transformações significativas tanto na matriz energética utilizada quanto na infraestrutura de abastecimento. A dependência de postos de combustível convencionais seria gradualmente reduzida, abrindo espaço para o carregamento dos veículos em uma ampla variedade de locais, como residências, locais de trabalho e áreas públicas. Nesse cenário, a expansão das Estações de Carregamento de Veículos Elétricos (EVCS) nas rodovias torna-se crucial para mitigar a chamada 'ansiedade de autonomia', um dos principais obstáculos para a adoção em larga escala dos EV. Além disso, o aumento da infraestrutura de recarga fixa desempenha um papel central na superação das barreiras relacionadas à autonomia limitada e ao tempo de recarga prolongado, fatores que frequentemente geram receio entre os consumidores. Para promover o crescimento sustentável do mercado de EV, torna-se essencial investir na melhoria das condições das estradas e na expansão das redes de recarga, bem como implementar políticas que desincentivem o uso de veículos a combustão, como o aumento de impostos sobre combustíveis fósseis. Nesse contexto, uma infraestrutura de recarga robusta e acessível pode não apenas viabilizar viagens de longa distância para os motoristas de EV, mas também fortalecer a confiança do consumidor e acelerar a transição para soluções de transporte ambientalmente mais

sustentáveis (Hardman et al., 2018; Geetha et al., 2023; Afshar et al., 2021; Wang, Tang, Pan, 2019).

Considerando essa necessidade, Grangeia et al. (2023) destacam que a implementação de uma rede abrangente e estrategicamente localizada ao longo das rodovias é indispensável para garantir que motoristas de EV possam realizar viagens longas com segurança e previsibilidade, reduzindo as barreiras relacionadas à autonomia dos veículos. Entretanto, conforme apontado por Liu, Huang e Li (2024), o desenvolvimento dessa infraestrutura enfrenta desafios significativos, incluindo a aceitação dos consumidores, custos elevados de construção e operação, políticas governamentais restritivas, definição de preços competitivos para a recarga e a concorrência com postos de combustíveis tradicionais.

Nesse contexto, o estudo de Grangeia et al. (2023) utilizou o modelo de Bass, reconhecido em análises de difusão tecnológica, para prever a penetração dos EV no Brasil. Esse modelo incorpora dois coeficientes principais: o coeficiente de inovação (p), que reflete a difusão impulsionada por meios de comunicação de massa e agentes externos aos primeiros adotantes, e o coeficiente de imitação (q), que evidencia a difusão decorrente de interações internas e interpessoais, destacando a relevância do impacto social no processo de adoção. Além disso, o estudo avaliou a difusão dos EV no mercado brasileiro, considerando o preço como uma variável central. A comparação dos custos de aquisição de EV em relação aos veículos movidos a combustão interna revelou que a redução nos preços dos EV, favorecida por economias de escala e pela queda no custo das baterias, poderia impulsionar sua adoção. Essa análise foi realizada em diferentes cenários, incluindo um cenário de negócios como de costume (BAU), um cenário com políticas públicas e outro cenário de democratização ou modernização.

Além das projeções de difusão dos EV, que representam uma parte da definição da demanda por recargas, é importante avaliar outras informações relevantes para a composição da análise econômica e financeira da infraestrutura de recarga. Esses elementos incluem a estrutura de receitas, a capacidade de cobrir custos operacionais, de manutenção e de investimentos iniciais, bem como a viabilidade de gerar um retorno atrativo sobre o capital investido (Grangeia et al., 2023; Gupta et al., 2023).

3.2

Avaliação Econômico-Financeiro dos Postos de Recarga para EV

Alguns autores iniciaram modelos de avaliação de viabilidade de postos de recarga. Nigro e Frades (2015), por exemplo, exploram maneiras de aumentar o investimento privado na infraestrutura de recarga, utilizando uma ferramenta de análise financeira baseada no DCF para estimar a viabilidade econômica dos postos de recarga, calculando métricas como TIR, VPL e período de retorno. Kuzio et al. (2021) desenvolveram a "*economic benefit tool*" para avaliar a viabilidade econômica da instalação de postos de recarga, permitindo calcular a relação benefício-custo e o impacto econômico em dólares. A ferramenta foi aplicada a três cenários, demonstrando seu potencial para apoiar decisões de investimento em infraestrutura.

De maneira semelhante, Gupta et al. (2023) analisam a viabilidade econômica da infraestrutura de recarga de EV em rodovias na Índia, destacando seu papel crucial para alcançar as metas de adoção de EV no país. O estudo utilizou um modelo de simulação financeira para estimar a demanda de recarga, a tarifa de recarga nivelada e o VPL da infraestrutura. O modelo considera diferentes cenários de adoção e a necessidade de suporte financeiro inicial, como subsídios operacionais, para garantir a sustentabilidade econômica a longo prazo e evitar superinvestimentos. Os resultados indicam que, apesar da baixa utilização inicial dos postos de recarga, a infraestrutura torna-se lucrativa a longo prazo, mesmo sem o apoio de subsídios, desde que as políticas regulatórias sejam adequadamente implementadas.

Outra forma de avaliação é proposta no artigo de Danial, Azis e Abas (2021), que tem como objetivo analisar a viabilidade econômica da implantação de estações de recarga. O estudo utiliza a análise de custo do ciclo de vida (*Life Cycle Cost Analysis* - LCCA) para avaliar a viabilidade financeira, comparando estações de recarga elétrica com postos de abastecimento convencionais para veículos com motores de combustão interna. A metodologia considera quatro componentes principais: custo de aquisição, custo operacional, custo de manutenção e receita de vendas de eletricidade ou combustível fóssil. Além disso, o estudo identifica parâmetros críticos que influenciam o LCCA de ambas as tecnologias e propõe que incentivos governamentais, como subsídios iniciais e ajustes nos preços de

eletricidade, são essenciais para tornar as estações de recarga economicamente competitivas.

Com o objetivo de desenvolver um modelo para avaliar a viabilidade econômica e financeira de postos de recarga, este estudo propõe uma metodologia aplicada à análise da instalação de uma estação de recarga ao longo de uma rodovia. Essa metodologia será apresentada na seção a seguir.

4

Metodologia

A metodologia deste estudo foi desenvolvida para avaliar a viabilidade econômico-financeira de um posto de recarga rápida para EV ao longo da Rodovia. Para isso, a abordagem metodológica busca projetar a demanda energética com base no crescimento da frota de EV, no tráfego projetado para a rodovia e nos padrões de consumo energético dos veículos. Além disso, são utilizadas ferramentas tradicionais de análise de viabilidade econômico-financeira, como o VPL, e técnicas que incorporam modelos probabilísticos, como o VPL-E, baseado na SMC, permitindo analisar as incertezas inerentes ao mercado de mobilidade elétrica.

Nos tópicos a seguir, serão apresentados, em detalhes, as etapas para a construção do modelo de Estimativa da Demanda por Recarga na Rodovia, bem como para a Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL e VPL-E.

4.1

Demanda por Recarga

A projeção da demanda por recarga é fundamental para a construção do fluxo de caixa do posto e a aplicação de indicadores financeiros, como o VPL e o VPL-E. Essa estimativa depende do número de EVs que circularão pela rodovia e, especificamente, daqueles que utilizarão o posto.

Inicialmente, a demanda foi calculada a partir da energia consumida por recarga, considerando a potência média fornecida pelos veículos em recargas rápidas e o tempo médio de carregamento. O consumo energético por quilômetro foi obtido dividindo a energia consumida pela autonomia ajustada dos EVs, permitindo projetar a demanda total de energia na rodovia ao longo do ano, com base no fluxo de veículos, extensão do trecho e eficiência energética. A partir desses resultados, determinou-se a capacidade anual de carregamento de uma tomada, ajustada pela taxa média de utilização observada em estações de recarga rápida, refletindo o tempo em que permanecem em operação. Esse cálculo permitiu definir o número necessário de carregadores para atender à demanda energética da rodovia.

Por fim, a projeção foi aplicada para o posto de recarga hipotético, considerando a participação de mercado desejada, o que possibilitou estimar tanto

a quantidade de carregadores necessários quanto a demanda energética total do posto. Esses fatores são utilizados para calcular a frequência de utilização das estações e a demanda energética do posto, fornecendo a informações para sua análise de viabilidade. As etapas detalhadas desse processo serão apresentadas nos tópicos a seguir.

4.1.1

Projeção de EV na Rodovia

O objetivo desta etapa é demonstrar o modelo para estimar o número de recargas esperadas para um posto de recarga localizado ao longo de uma rodovia. O modelo de estimativa baseia-se inicialmente na projeção do tamanho da frota total de veículos, com ênfase no dimensionamento específico da frota de EV. A partir dessas projeções, calcula-se a proporção de EV em relação à frota total, conforme representado pela equação (1).

$$P_{EV} = \frac{EV}{F} \cdot 100\% \quad (1)$$

Onde:

- P_{EV} : Proporção de EV em relação à frota total;
- EV : Número total de EV na frota;
- F : Frota total de veículos.

Após determinar a proporção de EV em relação à frota total de veículos, projeta-se o número de veículos que circularão na rodovia ao longo do tempo. O cálculo tem como base o volume médio diário de veículos que trafegam na rodovia, o qual é anualizado para representar o tráfego total em um ano. Em seguida, aplica-se a taxa de crescimento da frota total de veículos para estimar a evolução do tráfego futuro, conforme representado na equação (2).

$$V_t = V_{t-1} \cdot (1 + g) \quad (2)$$

Onde:

- V_t : Estimativa do número de veículos que circularão na rodovia no

ano t ;

- V_{t-1} : Número de veículos que circularam na rodovia no ano anterior ($t-1$);
- g : Taxa de crescimento anual estimada da frota total de veículos.

Com base nas projeções do tráfego total na rodovia e na proporção estimada de EV em relação à frota total, calcula-se o número de EV que potencialmente transitarão na rodovia. Essa estimativa combina o tráfego total projetado para o ano com a participação percentual de EV, representando a quantidade esperada de EV ao longo do trecho analisado. O cálculo é formalizado na equação (3):

$$EV_t = V_t \cdot P_{EV} \quad (3)$$

Onde:

- EV_t : Número estimado de EV que transitarão na rodovia no ano t ;
- V_t : Tráfego total projetado na rodovia no ano t ;
- P_{EV} : Proporção de veículos elétricos em relação ao tráfego total.

4.1.2

Estimativa da Demanda por Recarga no Posto de Recarga

Com base na estimativa do número de EV que trafegam pela rodovia, a próxima etapa para o cálculo da demanda por recarga na rodovia, e consequentemente no posto de recarga, consiste em determinar o volume total de energia consumida por recarga. Para esse cálculo, considera-se o fator de conversão de minutos para horas, o qual é aplicado por meio da multiplicação da potência média fornecida durante o carregamento pelo tempo médio de recarga. O resultado obtido é então dividido por 60, tendo em vista que a potência é expressa em quilowatts (kW), possibilitando a obtenção do consumo de energia em quilowatt-hora (kWh) por recarga. A formulação desse cálculo é apresentada na Equação (4).

$$Q_{kWh} = \frac{P \cdot T}{60} \quad (4)$$

Onde:

- Q_{kWh} : Quantidade de energia consumida por recarga;
- P : Potência média fornecida durante o carregamento;
- T : Tempo médio de recarga;
- 60: Fator de conversão de minutos para hora.

Na etapa seguinte, para estimar a quantidade de energia consumida por quilômetro (kWh/km), considera-se a relação entre a energia consumida por recarga e a autonomia ajustada do veículo elétrico. A autonomia ajustada reflete a eficiência de carregadores rápidos, os quais operam de forma ideal até 80% da capacidade total da bateria, momento em que a velocidade de recarga é reduzida para preservar a integridade da bateria (Ribeiro, 2019). Essa relação é formalizada matematicamente pela Equação (5).

$$Q_{kWh/km} = \frac{Q_{kWh}}{A \cdot 0.8} \quad (5)$$

Onde:

- $Q_{kWh/km}$: Consumo de energia por quilômetro;
- Q_{kWh} : Quantidade de energia consumida por recarga;
- A : Autonomia média dos EV (em quilômetros);
- 0.8: Fator de eficiência do carregador rápido até 80% da bateria.

Após determinar o consumo médio de energia por quilômetro (kWh/km), torna-se possível estimar a quantidade total de energia demandada (kWh) na rodovia ao longo de um ano. Essa estimativa baseia-se em três fatores principais: o número projetado de EV que trafegarão pela rodovia no período de um ano, a extensão total da estrada e o consumo médio de energia por quilômetro. O cálculo correspondente é formalizado pela Equação (6).

$$E_t = EV_t \cdot L \cdot Q_{kWh/km} \quad (6)$$

Onde:

- E_t : Quantidade total de energia demandada na rodovia no ano t ;
- EV_t : Número estimado de EV que trafegam na rodovia no ano t ;

- L : Extensão total da rodovia (em quilômetros);
- $Q_{\text{kWh/km}}$: Consumo médio de energia por quilômetro (em KWh/Km).

Paralelamente, para determinar a demanda energética nos postos de recarga, é essencial calcular a capacidade de carregamento anual de uma tomada. Essa estimativa considera a capacidade de carregamento por hora da tomada (C_{hora}), o número de horas em um dia (24) e o número de dias no ano (365). A formulação matemática desse cálculo está apresentada na Equação (7).

$$C_{\text{anual}} = P \cdot H \cdot D \quad (7)$$

Onde:

- C_{anual} : Capacidade de carregamento anual de uma tomada;
- P : Potência média fornecida durante o carregamento;
- H : Número de horas em um dia (24);
- D : Número de dias em um ano (365).

A capacidade de carregamento anual de uma tomada representa o limite máximo de energia que pode ser fornecido por essa unidade. No entanto, para buscar refletir as condições reais de operação, é necessário ajustar esse valor com base em uma taxa de utilização. Essa taxa considera o percentual do tempo em que as tomadas estão efetivamente em uso para recarregar veículos, levando em conta fatores como a demanda dos usuários e os intervalos entre recargas. Dessa forma, o cálculo ajustado da capacidade anual de uma tomada é obtido ao multiplicar a capacidade máxima pelo fator de utilização. Esse cálculo é formalizado na Equação (8).

$$C_{\text{anual, ajustada}} = C_{\text{anual}} \cdot U \quad (8)$$

Onde:

- $C_{\text{anual, ajustada}}$: Capacidade de carregamento anual ajustada de uma tomada;
- C_{anual} : Capacidade de carregamento anual de uma tomada;
- U : Taxa de utilização da tomada.

Com a definição da capacidade anual ajustada de um equipamento ($C_{\text{anual,ajustada}}$), torna-se possível determinar o número de equipamentos necessários para atender à demanda energética da rodovia ao longo de um ano. Esse cálculo baseia-se na relação entre a quantidade total de energia demandada na rodovia (E_t) e a capacidade anual ajustada de cada equipamento.

Cada equipamento possui duas tomadas, o que significa que ele pode atender o dobro da capacidade de uma única tomada. Dessa forma, o número total de equipamentos necessários é obtido dividindo a demanda energética total da rodovia pela capacidade de carregamento ajustada de um equipamento e, em seguida, dividindo o resultado por 2, conforme formalizado na equação (9):

$$N_{\text{equipamentos}} = \frac{E_t}{C_{\text{anual,ajustada}}} \div 2 \quad (9)$$

Onde:

- $N_{\text{equipamentos}}$: Número de equipamentos necessárias na rodovia;
- E_t : Quantidade total de energia demandada na rodovia no ano t ;
- $C_{\text{anual,ajustada}}$: Capacidade de carregamento anual ajustada de uma tomada;

Após determinar o número total de equipamentos necessários para suprir a demanda energética da rodovia, o próximo passo é calcular a quantidade de equipamentos específicos para o posto de recarga em análise. Esse cálculo leva em conta a participação de mercado (*market share*) do posto, ou seja, a parcela da demanda energética total da rodovia que se pretende atender. Para isso, o número total de equipamentos previamente calculado para a rodovia é ajustado, multiplicando-se esse valor pela participação de mercado desejada. O resultado representa a quantidade de equipamentos que deverão ser instalados no posto de recarga. Esse número é descrito pela Equação (10):

$$N_{\text{equipamentos_posto}} = N_{\text{equipamentos_rodovia}} \times \text{Market Share} \quad (10)$$

Onde:

- $N_{\text{equipamentos_posto}}$: Número de equipamentos necessários no posto de

recarga;

- $N_{\text{equipamentos_rodovia}}$: Número de equipamentos necessários na rodovia;
- *Market Share* : Participação de mercado desejado pelo posto (%)

A determinação da demanda energética total do posto de recarga é realizada ao multiplicar a capacidade anual ajustada de um equipamento ($C_{\text{anual,ajustada}}$) pelo número de equipamentos necessários no posto de recarga ($N_{\text{equipamentos_posto}}$). Esse cálculo permite estimar a quantidade total de energia que será demandada pelo posto ao longo de um ano, sendo formalizado na Equação (11):

$$E_{\text{posto}} = C_{\text{anual,ajustada}} \times N_{\text{equipamentos_posto}} \times 2 \quad (11)$$

Onde:

- E_{posto} : Demanda energética total do posto de recarga;
- $C_{\text{anual,ajustada}}$: Capacidade anual ajustada de uma tomada;
- $N_{\text{equipamentos_posto}}$: Número de equipamentos necessários no posto de recarga.

Esse resultado desempenha um papel fundamental na definição da demanda energética do posto de recarga, servindo como base para o desenvolvimento do modelo de DCF, e consequentemente do VPL, que terá sua metodologia detalhada na próxima seção. A estimativa da demanda por energia permite realizar projeções financeiras relacionadas aos custos operacionais, receitas e viabilidade econômica do projeto, fornecendo subsídios importantes para a tomada de decisão.

4.2

Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL

Nesta etapa do trabalho, será apresentada a metodologia de análise do posto de recarga com base no Valor Presente Líquido (VPL), detalhando suas fases. O processo inicia-se com a elaboração do fluxo de caixa, identificando as entradas e saídas de recursos associadas ao negócio. Em seguida, é calculado o custo de capital, para definir a taxa de desconto adequada à análise. Por fim, a fórmula do VPL é aplicada, permitindo a consolidação da viabilidade econômica do projeto.

4.2.1

Fluxo de Caixa do Posto de Recarga

A Receita Bruta (RB) do posto de recarga é calculada com base na energia fornecida anualmente, considerando a capacidade ajustada de uma tomada, o número total de equipamentos instalados ($Nequipamentos_posto$) e o preço por kWh (p), corrigido pela inflação.

Dessa RB, são descontados impostos e taxas de pagamento, como tarifas de cartão de crédito e custos de cobrança automática, resultando na Receita Líquida (RL). Em seguida, calcula-se o Custo Total Anual de Energia (C_{total}), considerando o custo unitário por kWh (C_{kWh}), que inclui tarifa básica de eletricidade e tributos, a capacidade ajustada de uma tomada e o número de carregadores instalados. Em seguida, o Lucro Bruto (LB) é obtido subtraindo C_{total} da RL, refletindo o desempenho financeiro antes de outras despesas. Em seguida é calculado o Lucro Líquido (LL), descontam-se Despesas Operacionais (DO), Depreciação (DEP) e tributos diretos como IRPJ e CSLL.

O Fluxo de Caixa (FC) ajusta o LL para refletir a real movimentação financeira do empreendimento. Ele é obtido adicionando a depreciação, que não afeta o caixa, e subtraindo os Investimentos (INV), que representam desembolsos para manutenção ou expansão. A equação (12) expressa essa relação.

$$FC = (RL - C_{total} - DO - DEP - (IRPJ + CSLL)) + DEP - INV \quad (12)$$

Onde:

- FC : Fluxo de Caixa;
- RL : Receita Líquida do posto de recarga;
- C_{total} : Custos Totais Anuais de Energia;
- DO : Despesas Operacionais;
- DEP : Depreciação dos equipamentos;
- $IRPJ + CSLL$: Tributos sobre o lucro tributável;
- INV : Investimentos realizados no período.

4.2.2

Custo de Capital Próprio (CAPM) e Fluxo de Caixa com Perpetuidade

A avaliação econômica do projeto de instalação do posto de recarga será realizada por meio do VPL, com base na projeção dos fluxos de caixa futuros e na estimativa do custo de capital. Como o financiamento será feito exclusivamente com recursos próprios e considerando empresas com ações negociadas em outros países, será adotado o Global CAPM para determinar o custo de capital próprio.

Esse modelo expande o CAPM clássico para um ambiente internacional, ponderando o risco sistemático global e, quando necessário, incorporando um prêmio de risco-país em mercados emergentes. Dado que só haverá financiamento com capital próprio, o cálculo do VPL considera o beta desalavancado, que elimina os efeitos da alavancagem financeira. Esse ajuste é realizado a partir do beta alavancado, desconsiderando a influência da dívida sobre o risco do negócio e levando em conta a relação entre dívida e patrimônio líquido, bem como a alíquota de Imposto de Renda (Barbier, 2023). Para refletir as particularidades de empresas que atuam no mercado nacional, o Global CAPM será ajustado considerando as diferenças de inflação entre países avaliados (Barbier, 2023). Após a definição do custo de capital, o cálculo do VPL incluirá a estimativa da perpetuidade. Com isso, o VPL é determinado a partir das projeções financeiras e da perpetuidade, permitindo uma análise da viabilidade do investimento (Damodaran, 2017; Abdelhady, 2021).

Além da abordagem tradicional, o estudo incorpora a análise probabilística do VPL-E, possibilitando a avaliação dos impactos das incertezas sobre os resultados financeiros. Essa metodologia permite explorar diferentes cenários e compreender melhor os riscos e oportunidades do projeto.

4.3

Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL Estocástico

A metodologia adotada neste estudo visa estimar o VPL-E associado à adoção de EV. Para isso, utiliza-se um modelo baseado na função logística (Curva em S) para representar a evolução da adoção de EV ao longo do tempo, incorporando incertezas nos principais parâmetros e aplicando a SMC.

A adoção de EV será modelada por meio da função logística, conforme proposta por Verhulst (1838), cuja formulação é apresentada na equação (13).

$$A(t) = \frac{L}{1 + e^{-c(t-t_0)}} \quad (13)$$

Onde:

- $A(t)$ representa a adoção acumulada ao longo do tempo t ;
- L é o limite superior da adoção (capacidade máxima do mercado);
- c : é a taxa de crescimento da adoção;
- t_0 é o ponto de inflexão, onde ocorre a transição entre o crescimento lento e o crescimento acelerado.

Os parâmetros do modelo foram ajustados com base em cenários probabilísticos, incorporando incertezas através de distribuições estatísticas (Rodrigues, Nunes, Adriano, 2010; Herzog, Silva, Weymar, 2024). As variáveis podem ser observadas abaixo:

- Valor Máximo a Ser Atingido (L): Distribuição Triangular
- Taxa de Crescimento (c): Distribuição Triangular
- Ponto de Inflexão (t_0): Distribuição Triangular
- Volatilidade: Distribuição Normal

A participação dos EVs na frota total é a variável-chave para a análise. Para capturar as incertezas do processo de adoção, a SMC será aplicada após o cálculo inicial do VPL, permitindo modelar a variabilidade na participação dos EVs em diferentes cenários de adesão e volatilidade. Dessa forma, a análise se expande além dos cenários originalmente considerados. A distribuição estatística dessa variável será definida com base nas projeções do modelo de difusão de Grangeia et al. (2023). A incorporação da SMC possibilitará reavaliar a expectativa de retorno, a probabilidade de o VPL-E ser negativo e a perda máxima esperada no investimento, utilizando o VaR como métrica de risco.

Dessa forma, o estudo proporciona uma avaliação dos riscos associados à adoção dos EV e seu impacto na viabilidade econômica, permitindo que o cálculo do VPL-E integre variações probabilísticas que antes não eram capturadas.

5

Avaliação de um Posto de Recarga Hipotético na Rodovia

Este estudo avalia a viabilidade econômico-financeira da instalação de uma estação de recarga para EV na BR-116 (Rio de Janeiro – São Paulo), considerando a crescente demanda por infraestrutura para atender à expansão da frota elétrica, especialmente em viagens de longa distância.

A análise baseia-se na projeção de adoção de EV no Brasil, utilizando o modelo de difusão de Bass fornecido no estudo de Grangeia et al. (2023), que considera a taxa de inovação (p), relacionada à adoção inicial impulsionada por fatores externos, como políticas públicas e publicidade, e a taxa de imitação (q), que reflete a influência social na decisão de novos consumidores. Além disso, o artigo compara os custos entre EV e veículos a combustão, destacando o preço como fator central para a penetração dos EV, especialmente com a redução no custo das baterias.

Com base nos dados de Grangeia et al. (2023) e no fluxo de veículos estimado na rodovia pelo DNIT (2023), projetou-se a demanda por recarga na rodovia. O cálculo da demanda energética considerou o consumo médio por recarga, a eficiência dos EV e a taxa de utilização das estações de recarga rápida, permitindo estimar o número necessário de carregadores e a participação de mercado do posto.

Para avaliar a viabilidade do investimento, foi elaborado um fluxo de caixa para um posto hipotético. A análise financeira utilizou o VPL para medir a atratividade do projeto e a SMC para modelar diferentes cenários de risco, criando o VPL-E.

5.1

Demanda por Recarga

A estimativa da demanda energética de um posto de recarga rápida para EV é fundamental para avaliar sua viabilidade econômico-financeira e dimensionar corretamente a infraestrutura necessária.

Esse cálculo projeta a demanda futura pelo serviço com base em variáveis como o consumo médio por recarga, a autonomia dos veículos, o fluxo de EV na rodovia e a extensão do trecho analisado. A partir desses dados, determina-se a

energia total demandada ao longo do ano, ajustada pela capacidade de carregamento de cada tomada e sua taxa média de utilização. Esse resultado define a quantidade de carregadores necessários e a demanda energética total do posto, elementos utilizados para a construção do fluxo de caixa projetado.

Nos tópicos seguintes, detalham-se as etapas desse cálculo, estruturando a análise de forma objetiva e sistemática.

5.1.1

Projeção de EV na Rodovia BR-116

A avaliação do investimento em uma estação de recarga para EV requer um modelo que projete o número de EV que utilizarão a rodovia. O primeiro passo é estimar a evolução da frota de EV no Brasil com base nos dados de Grangeia et al. (2023), calculando sua participação na frota total e projetando seu crescimento ao longo do tempo.

Para estimar a quantidade de EV que percorrem toda a extensão da BR-116 (Rodovia Presidente Dutra), utilizou-se a Estimativa do Volume Médio Diário Anual (VMDa) de 2023 do DNIT (2023). Essa rodovia liga os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, dois dos mais importantes economicamente do país. Os dados do DNIT abrangem 86 segmentos da rodovia, mas, devido à dificuldade de rastrear com precisão onde os veículos entram e saem, foi utilizada a média do VMDa de todos os segmentos, resultando em 10.745 veículos por dia. Esse cálculo busca estimar o número de veículos que percorrem toda a rodovia, totalizando aproximadamente 3.921.925 veículos por ano.

Considerando que os estados do Rio de Janeiro e São Paulo podem refletir a frota nacional devido ao seu expressivo volume de tráfego, foram adotadas nas projeções a frota nacional para estimar o crescimento dos EV. Com base nessas premissas, foi calculado o volume total de veículos que circularão pela rodovia até 2040, bem como a participação dos EV nesse cenário.

Os resultados indicam um crescimento dos EV na rodovia, demonstrando a possibilidade de necessidade de investimentos em infraestrutura de recarga. A Tabela 2 apresenta alguns intervalos do crescimento projetado da frota de EV, sua participação na frota total e o impacto no tráfego da BR-116. Os dados completos entre os anos de 2024 e 2040 estão disponíveis no Apêndice 1.

5.1.2

Estimativa da Demanda por Recarga na Rodovia BR-116

Após estimar o número de veículos que circularão na rodovia, a etapa seguinte é calcular a demanda por recargas ao longo do trajeto. Essa análise considera a extensão total da rodovia, de 402 km, conforme informado pela CCR (2023), e a autonomia média dos EV que trafegam na via, estimada em 301 km. A autonomia média será detalhada na análise a seguir.

A autonomia média dos EV na rodovia é essencial para estimar a demanda por recarga. Para essa análise, foram considerados os seis modelos mais vendidos no Brasil, que representam 55,80% das vendas (NeoCharge, 2024), com dados de autonomia fornecidos pelo Inmetro (2024). Com essas informações, foi possível calcular a frequência de recarga dos veículos ao longo das viagens. Essas informações podem ser observadas na tabela 1.

Contudo, a autonomia média foi ajustada de 301 km para 240,8 km, refletindo as operações das estações de recarga rápida, que otimizam a carga até 80% da capacidade da bateria. Esse limite protege a vida útil das baterias, pois, após esse ponto, a velocidade de recarga é reduzida para evitar danos (Ribeiro, 2019). Esse ajuste impacta diretamente a energia consumida por recarga e, consequentemente, a demanda energética projetada na rodovia.

Outro fator determinante para encontrar o potencial de consumo é a energia consumida por recarga, medida em kWh. Esse valor foi calculado com base nas especificações dos mesmos modelos de veículos analisados para determinar a autonomia média dos carros elétricos, considerando a curva de recarga dos EV. Identificou-se um tempo médio ponderado de recarga de 41,11 minutos e uma potência média ponderada fornecida de 57,84 kW, conforme detalhado na Tabela 1 (EV Database, 2024; Mobiauto, 2024; NeoCharge, 2024).

Tabela 1 – Tempo médio de recarga e potência média fornecida durante carregamento

Veículos	Tempo de Recarga	Potência Média	Part. de Mercado dos EV	Tempo Médio de Recarga	Potência Média	Autonomia
BYD DOLPHIN	41,00	65,00	21,47%	8,80	13,96	291
DOLPHIN MINI GS EV	40,00	50,00	14,16%	5,66	7,08	298
DOLPHIN PLUS 310EV	40,00	50,00	5,21%	2,08	2,61	330
BYD Yuan Plus	30,00	32,00	5,12%	1,54	1,64	294
BYD SEAL	40,33	91,67	5,76%	2,32	5,28	372
GWM ORA	62,00	42,00	4,08%	2,53	1,71	232

Part. de Mercado dos EV	Tempo Médio Total	Potência Média	Autonomia
55,80%	23	32	301

Tempo Médio de Recarga (Min.)	41,11
Potência Média dos Veículos	57,84

Fonte: Elaborado pelo próprio autor com base em dados do EV Database (2024), Felix (2023) e NeoCharge (2024).

Com os indicadores calculados, a energia consumida por recarga é estimada multiplicando o tempo médio de recarga (convertido para horas) pela potência média fornecida (57,84 kW), resultando em 39,63 kWh por recarga. O consumo de energia por quilômetro (kWh/km) é então obtido dividindo esse valor pela autonomia ajustada dos EV, permitindo avaliar sua eficiência energética. A partir desses dados, a demanda total de energia na rodovia é estimada multiplicando o consumo médio por quilômetro pelo número de EV no trecho e sua extensão total, fornecendo a energia demandada anualmente (kWh/ano), essencial para dimensionar a infraestrutura de recarga. Com esses dados, a capacidade de carregamento anual de uma tomada é calculada considerando a potência média fornecida (57,84 kW), o número de horas diárias e os dias do ano. Esse valor representa a energia máxima que uma tomada poderia fornecer em operação contínua, mas é ajustado pela taxa média de utilização das estações de recarga (26%), conforme dados da plataforma Paren (2024), baseada em parâmetros da Califórnia e aplicada à rodovia entre o Rio de Janeiro e São Paulo.

Por fim, o número de carregadores necessários é estimado dividindo a demanda total de energia (kWh/ano) pela capacidade de carregamento anual de uma tomada, ajustada pela taxa de utilização. O resultado é dividido por 2, pois cada carregador rápido (120Kw – 240 Kw) possui duas tomadas (Greenv Mobilidade Elétrica Brasil S.A., 2024). Os resultados desses cálculos estão na Tabela 2, e os dados completos para todos os anos estão no Apêndice 1.

Tabela 2 – Demanda por energia na rodovia

Demanda de EV	2024	2034	2040
Frota Total Estimada no Brasil	58.454.663	59.338.531	59.848.607
Frota EV Estimada no Brasil	247.462	11.495.033	21.945.835
Proporção de EV Estimados no Brasil	0,42%	19,37%	36,67%
Número de Veículos que Circularão na BR-116	3.928.821	3.988.227	4.022.510
Número Estimado de EV que Transitarão na BR-116	16.632	772.598	1.475.011
Extensão Total da Rodovia	402	402	402
Autonomia Média Ajustada dos EV	240,80	240,80	240,80
Quantidade de Energia Consumida por Recarga	39,63	39,63	39,63
Consumo de Energia por Quilômetro (<i>kWh/km</i>)	0,165	0,165	0,165
Qtd. Total de Energia Demandada na BR-116 no ano	1.100.386	51.114.833	97.586.295
Cap. de Carregamento Anual de uma Tomada	506.678	506.678	506.678
Taxa de Utilização	26%	26%	26%
Cap. de Carregamento Anual de uma Tomada Ajustada	131.736	131.736	131.736
Número de Equipamentos na Rodovia	4	194	370
Número de Equipamentos no Posto	1	19	37

Fonte: Elaborado pelo próprio autor com base em dados do DNIT (2023), Grangeia et al. (2023), EV Database (2024), Felix (2023), NeoCharge (2024) e Ribeiro (2019).

A partir dessas informações, ao multiplicar a capacidade de carregamento anual ajustada de uma tomada pelo número de carregadores do posto de recarga, é possível determinar a demanda energética total do posto. Esse dado é essencial para elaboração do fluxo de caixa projetado.

5.2

Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL

Nesta seção, serão apresentados os dados complementares necessários para a construção do fluxo de caixa do posto de recarga, os quais servirão como base para o cálculo do VPL. As informações para essa elaboração estão organizadas e sintetizadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados financeiros

Variáveis	Valor	Fonte
Preço/KWh	R\$ 1,65	G2 Energia (2024)
Inflação 2024	4,90%	Economia em Dia (2025)
Inflação 2025	4,90%	Economia em Dia (2025)
Inflação 2026	3,00%	Economia em Dia (2025)
Inflação 2027	3,00%	Economia em Dia (2025)
Custo/KWh	R\$ 0,872	Aneel (2024)
Pis	1,65%	Contabilizei (2024)
Cofins	7,60%	Contabilizei (2024)
ICMS + Pis + Cofins	22,00%	Portal Tributário (2024)
ISS	5,00%	Conta Azul (2024)
IRPJ e CSLL	34,00%	Mendonça (2024)
Aluguel da Vaga	R\$ 1.200,00	Zap Imóveis (2024)
Manutenção Corretiva do Equipamento	R\$ 8.710,25	Callegari et al., (2023)
Maquina de Cartão de Crédito	4,00%	Nuvmshop (2024)
Sistema de Cobrança Automatico	3,99% + R\$0,39/Pgto.	Stripe (2024)
Instalação do Equipamento	R\$ 50.000	Use Elétrico (2024)
Preço do Equipamento	R\$ 154.500	Greenv Mobilidade Elétrica Brasil S.A. (2024)
Depreciação/Ano	6,59%	Francescato e Roos (2019)
Fator de Cap Est. de Carregamento	26%	Paren (2024)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5.2.1

Fluxo de Caixa do Posto de Recarga

O fluxo de caixa do posto de recarga foi estruturado considerando receitas, custos e investimentos para expansão e manutenção da infraestrutura, permitindo avaliar sua viabilidade financeira ao longo do tempo.

A Receita Bruta foi estimada com base na capacidade anual ajustada de recarga por tomada, considerando a taxa de utilização, o número de carregadores (limitado a 10% do *market share*) e o preço médio do kWh corrigido pela inflação. Dessa receita, foram descontados tributos (PIS, COFINS e ISS) e despesas administrativas, resultando na Receita Líquida. O Lucro Bruto (LB) foi então calculado subtraindo os custos do serviço prestado, que levam em conta a capacidade anual ajustada da tomada, o custo por kWh e impostos (ICMS, PIS e COFINS), mantendo o limite de 10% do *market share* para os carregadores.

Para calcular o Lucro Líquido, foram subtraídas as despesas operacionais, como manutenção dos equipamentos e aluguel de vagas, corrigidos pela inflação. A depreciação dos carregadores foi considerada, e os tributos sobre o lucro (IRPJ e CSLL, totalizando 34%) foram aplicados. Por fim, o fluxo de caixa foi ajustado adicionando de volta a depreciação (que não impacta o caixa) e descontando os investimentos na expansão de carregadores conforme a demanda cresce.

A partir de 2040, os investimentos se igualam à depreciação, refletindo a

manutenção da infraestrutura sem novas expansões. A Tabela 4 apresenta a evolução do fluxo de caixa do posto ao longo do tempo, e os dados detalhados para todos os anos estão no Apêndice 2.

5.2.2

Custo de Capital Próprio (CAPM) e Fluxo de Caixa com Perpetuidade

Para estruturar o VPL, o custo de capital foi estimado pelo modelo CAPM, dado que o investimento será financiado exclusivamente com capital próprio. Como não há empresas brasileiras de recarga com ações negociadas, a EVgo Inc., líder em carregamento rápido nos EUA e listada na NASDAQ, foi utilizada como referência (EVGO, 2024).

O beta alavancado da EVgo foi ajustado para refletir a estrutura de capital sem financiamento. Com base em dados de setembro de 2024, foram considerados os seguintes valores: índice D/E (Dívida sobre Patrimônio Líquido) de 18,45%, alíquota de imposto de renda de 34% e beta alavancado de 2,36, resultando em um beta desalavancado de 2,10, que reflete o risco sistemático do projeto sem alavancagem financeira (Investing.com, 2024; Silva, 2023; Fonseca et al., 2023). Com essas informações, foi calculado o Global CAPM com base no beta desalavancado encontrado, na taxa de juros de 30 anos do Tesouro Americano de 4,80%, no prêmio de risco de mercado dos EUA de 5,44% e no prêmio de risco-país (CDS brasileiro de 5 anos, 1,8059%). Isso resultou em um Global CAPM de 18,05%, referência para encontrar o custo de capital no Brasil (Investing.com, 2024; Department of the Treasury, 2024; Damodaran, 2025).

Após o cálculo do Global CAPM, foi realizada a estimativa do CAPM ajustado para o contexto brasileiro (CAPM-BR). Considerando as projeções de inflação, foi adotada uma taxa de inflação de 4,9% para o Brasil nos anos de 2024 e 2025, e de 3% a partir de 2026. Para os Estados Unidos, a inflação projetada foi de 2,9%. O CAPM-BR resultou em 20,34% para 2024-2025 e 18,16% para 2026-2040, refletindo a convergência da inflação ao centro da meta (Investing.com, 2024; Economia em Dia, 2024).

Com o custo de capital definido, aplicou-se o desconto no fluxo de caixa. Antes do cálculo do VPL, foi determinada a perpetuidade para 2040, garantindo um fluxo contínuo após esse período. A taxa de desconto utilizada foi 18,16%, e a taxa

de crescimento constante (g) foi a inflação projetada de 3% (Economia em Dia, 2024). A Tabela 4 ilustra intervalos do fluxo de caixa considerando a perpetuidade, e os dados completos entre 2023 e 2040 estão disponíveis no Apêndice 2.

Tabela 4 – Fluxo de caixa com perpetuidade

Fluxo de Caixa - Posto de Recarga	2023	2024	2034	2040
Receita Bruta		R\$ 434.730	R\$ 11.305.344	R\$ 26.287.862
(-) Pis		-R\$ 7.173	-R\$ 186.538	-R\$ 433.750
(-) Cofins		-R\$ 33.039	-R\$ 859.206	-R\$ 1.997.877
(-) Software + Cartão		-R\$ 36.031	-R\$ 927.929	-R\$ 2.148.368
(-) ISS		-R\$ 21.737	-R\$ 565.267	-R\$ 1.314.393
(=) Receita Líquida		R\$ 336.750	R\$ 8.766.404	R\$ 20.393.474
(-) Custo/KWh		-R\$ 284.968	-R\$ 7.410.723	-R\$ 17.231.856
(=) Lucro Bruto		R\$ 51.781	R\$ 1.355.681	R\$ 3.161.618
(-) Despesas Op.		-R\$ 10.337	-R\$ 268.820	-R\$ 625.075
(-) Depreciação		-R\$ 10.182	-R\$ 193.449	-R\$ 376.717
IRPJ e CSLL		-R\$ 10.629	-R\$ 303.760	-R\$ 734.341
(=) Lucro Líquido		R\$ 20.633	R\$ 589.652	R\$ 1.425.485
(+) Depreciação		R\$ 10.182	R\$ 193.449	R\$ 376.717
(-) Investimentos	-R\$ 204.500	R\$ 0	-R\$ 1.022.500	-R\$ 376.717
Fluxo de Caixa	-R\$ 204.500	R\$ 30.815	-R\$ 239.399	R\$ 1.425.485
Fluxo de Caixa C/ Perpetuidade	-R\$ 204.500	R\$ 30.815	-R\$ 239.399	R\$ 9.400.206

Fonte: Elaborado pelo próprio autor com base em dados do Ribeiro (2019), Economia em Dia (2024), Torres (2024), Burin (2024), Stripe (2024) e Conta Azul (2024), Aneel (2024), Portal Tributário (2024), Callegari et al., (2023), Zap Imóveis (2024), Francescatto e Roos (2019) e Mendonça (2024), Use Electrico (2024) e Greenv Mobilidade Elétrica Brasil S.A. (2024).

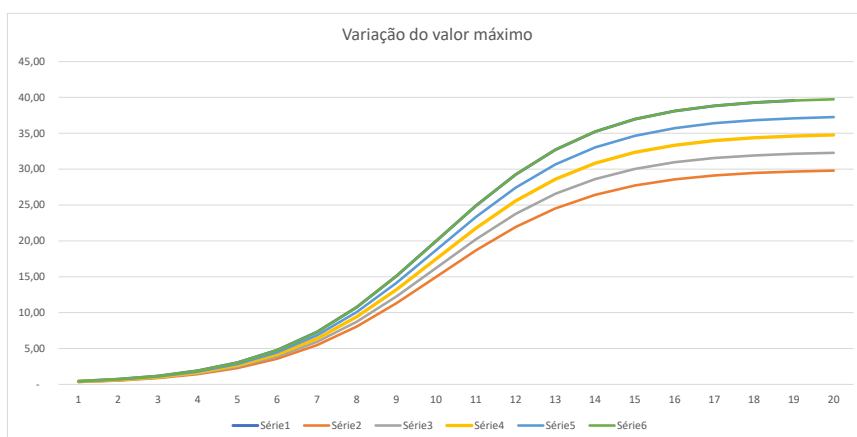
5.3

Análise de Viabilidade de Projetos pelo VPL Estocástico

A etapa de aplicação das variáveis no estudo de caso consiste na implementação da SMC para modelar a incerteza na adoção dos EV e seu impacto na viabilidade econômica. Essa abordagem permite explorar diferentes cenários probabilísticos e avaliar a sensibilidade do VPL-E diante da variabilidade dos principais parâmetros do modelo de adoção.

Os parâmetros para a aplicação da SMC foram definidos com base em distribuições probabilísticas, considerando que o primeiro modelo de previsão estimava que, em 2040, a proporção de EV na frota total seria de 36,67%. Assim, o valor máximo a ser atingido (L) foi modelado por uma distribuição triangular, com mínimo de 30%, valor mais provável de 35% e máximo de 40%.

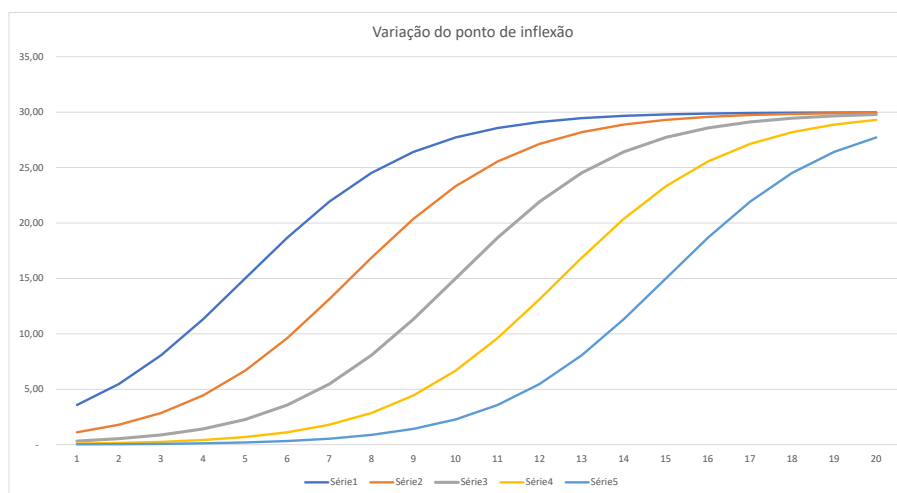
Figura 1 – Valor Máximo Atingido (L)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O ponto de inflexão (t_0) foi modelado por uma distribuição triangular, com mínimo de 7 anos, valor mais provável de 10 anos e máximo de 13 anos. Esse parâmetro representa o momento em que a curva de adoção começa a crescer a uma taxa menor, sinalizando a transição para uma fase de estabilização no processo de difusão dos EV.

Figura 2 – Ponto de Inflexão (T0)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A taxa de crescimento (c) foi redefinida, substituindo o fator de crescimento do modelo original por uma distribuição triangular, com mínimo de 0,25, valor mais provável de 0,75 e máximo de 1,25. Essa abordagem permite capturar uma maior variabilidade nos cenários de expansão da adoção de EV em relação a frota total, considerando períodos de crescimento mais acelerado ou mais lento. No modelo

original, o fator de crescimento médio entre 2023 e 2040 era de 0,36. Com a nova modelagem, o crescimento segue uma distribuição probabilística, permitindo uma adaptação mais flexível ao comportamento da frota ao longo do período analisado.

Além disso, a volatilidade foi modelada por uma distribuição normal, com média de 0 e desvio-padrão de 10%, fundamentada na variação observada no crescimento da frota de EV entre março de 2020 e novembro de 2024, conforme dados da NeoCharge (2024). Esses parâmetros foram estimados a partir da previsão do modelo de difusão de Grangeia et al. (2023), buscando proporcionar uma representação das incertezas associada à adoção de EV em relação à frota total ao longo do tempo.

Finalmente, a SMC será aplicada após o cálculo inicial do VPL, incorporando as incertezas das variáveis listadas anteriormente. Para a simulação, serão gerados 10.000 interações de valores aleatórios para os parâmetros do modelo, conforme suas distribuições de probabilidade, permitindo a obtenção de múltiplos cenários de adoção e probabilidade no impacto econômico. Em seguida será calculado o VaR dos resultados para estimar a perda máxima esperada no investimento.

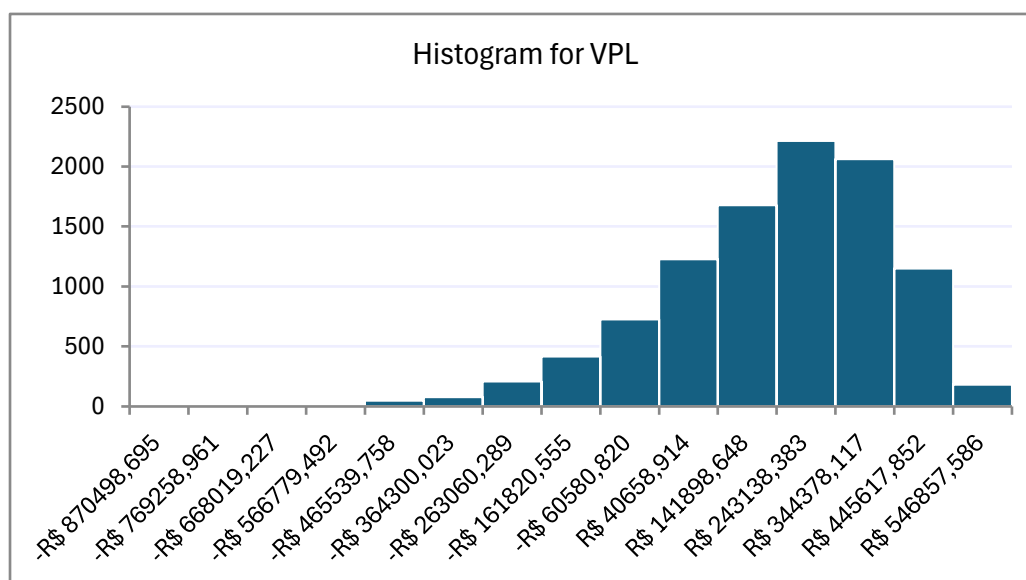
6

Resultado

A pesquisa demonstra que a instalação do posto de recarga obteve um VPL de R\$ 232.163,28 no modelo não estocástico. No entanto, ao considerar as incertezas por meio da SMC, a mediana do VPL-E reduziu o valor esperado para R\$ 224.571,95, indicando a presença de riscos antes não avaliados. Essa redução reflete a incorporação da variabilidade da demanda e do desempenho financeiro do projeto.

Além disso, os valores simulados não segue uma distribuição normal, como evidenciado pela assimetria de -0,8224 e curtose de 3,7826. A assimetria negativa indica que a curva tem uma cauda mais longa à esquerda, o que significa que há uma maior ocorrência de valores negativos extremos do que positivos. Já a curtose de 3,7826, um pouco acima de 3, sugere que a distribuição apresenta caudas ligeiramente mais pesadas do que uma normal. Esses resultados podem ser visualmente avaliados pelo gráfico 3.

Figura 3 - Histograma VPL



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A análise probabilística, por sua vez, indica que há uma chance de 15,91% de o projeto apresentar um VPL negativo ou igual a zero, o que representa o risco de inviabilidade econômica. Complementarmente, a análise de risco baseada no VaR

a 5%, calculado pelo método não paramétrico a partir do percentil de 5%, revela que, em um cenário adverso, a perda esperada no VPL pode atingir -R\$ 170.126,80, reforçando a importância de considerar variações nas premissas de entrada, especialmente em um setor emergente e sujeito a flutuações de mercado. Adicionalmente, a análise do CVaR a 5% amplia essa avaliação ao considerar a média das perdas além do percentil crítico. Nesse contexto, o CVaR a 5% indica que, nos cenários mais extremos, a perda esperada no VPL pode alcançar -R\$ 291.590,58, evidenciando um impacto ainda mais severo em condições adversas.

7

Conclusão

Este estudo confirma a viabilidade econômico-financeira da instalação de postos de recarga para EV na BR-116 (Rio de Janeiro – São Paulo), tanto pelo VPL tradicional quanto pela análise via SMC. O modelo não estocástico indicou um VPL positivo de R\$ 232.163,28, enquanto a análise estocástica, ao considerar incertezas, revelou uma mediana do VPL de R\$ 224.571,95, evidenciando a existência de riscos antes não avaliados. Além disso, a simulação apontou uma probabilidade de 15,91% de resultado negativo, destacando o risco de inviabilidade econômica em determinados cenários.

A distribuição dos valores simulados não segue um comportamento normal, conforme demonstrado pelo histograma. A assimetria de -0,8224 indica uma cauda mais longa à esquerda, sugerindo que perdas extremas ocorrem com maior frequência do que ganhos extremos. Esse comportamento reforça a necessidade de atenção especial a cenários de baixa performance financeira do projeto. Além disso, a curtose de 3,7826, ligeiramente superior a 3, sinaliza caudas mais pesadas na distribuição, o que significa uma maior incidência de eventos extremos, tanto negativos quanto positivos, em relação a uma distribuição normal.

A pesquisa concentrou-se no investimento em equipamentos de recarga, sem incluir custos associados à expansão da infraestrutura elétrica, o que destaca a necessidade de estudos complementares. Ainda assim, a disponibilidade de pontos de recarga se mostra essencial para impulsionar a adoção de EV no Brasil, reduzindo barreiras como a autonomia limitada dos veículos e a incerteza quanto à disponibilidade de carregadores. Nesse contexto, a curva S de adoção demonstrou-se uma ferramenta útil para projetar o crescimento da frota elétrica e estimar a demanda futura, auxiliando no planejamento da infraestrutura.

Além disso, a interpretação econômica do VaR a 5% revelou que, em cenários adversos, a perda esperada no VPL pode atingir -R\$ 170.126,80, indicando que há 5% de probabilidade de perdas ainda maiores. Esse resultado reforça a necessidade de estratégias para mitigar riscos financeiros, como ajustes na precificação e incentivos regulatórios, de modo a aumentar a resiliência do investimento frente às incertezas de mercado. Adicionalmente, a análise do CVaR a 5% ampliou essa avaliação ao considerar a média das perdas além do percentil crítico. Nesse

contexto, o CVaR a 5% revelou que, nos cenários mais extremos, a perda esperada no VPL pode alcançar -R\$ 291.590,58, evidenciando um impacto ainda mais severo em condições adversas. Esses resultados ressaltam a importância de estratégias de mitigação de riscos e da adoção de uma abordagem cautelosa na tomada de decisão, especialmente em setores emergentes e sujeitos a volatilidade.

É importante destacar que a presente análise não incorpora custos adicionais relacionados à infraestrutura elétrica necessária para suportar uma eventual expansão da demanda. O estudo considera exclusivamente o investimento em novos equipamentos de recarga à medida que a demanda se concretiza, sem incluir potenciais gastos com reforço da rede elétrica, subestações ou contratos de demanda com concessionárias. Assim, os riscos financeiros podem ser ainda mais elevados caso seja necessária uma adaptação significativa da infraestrutura elétrica existente. Portanto, integrar essa variável em estudos futuros contribuirá para uma avaliação mais abrangente da viabilidade econômica do projeto, permitindo decisões estratégicas mais fundamentadas e alinhadas com a realidade do setor.

Por fim, a combinação de métodos tradicionais e probabilísticos proporcionou uma análise comparativa das expectativas do investimento, oferecendo um modelo para investidores, acadêmicos, formuladores de políticas e empresas do setor. Para aprofundar essa investigação, recomenda-se explorar a integração dos postos de recarga com geração distribuída de energia renovável e avaliar o impacto de incentivos governamentais, bem como os potenciais ganhos ambientais decorrentes dessas iniciativas. Dada a rápida evolução do setor, revisões periódicas são essenciais para manter as projeções alinhadas com os avanços tecnológicos e regulatórios.

Referências Bibliográficas

ABDELHADY, Suzan. Performance and cost evaluation of solar dish power plant: sensitivity analysis of levelized cost of electricity (LCOE) and net present value (NPV). **Renewable Energy**, v. 168, p. 332-342, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148120318580>. Acesso em: 28 mar. 2024.

AFSHAR, Shahab et al. Mobile charging stations for electric vehicles — A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 152, 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111654. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121005561>. Acesso em: 13 ago. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Ranking da Tarifa Residencial**. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/rankingtarifas>. Acesso em: 21 dez. 2024.

AKINDIPE, Dayo et al. Techno-Economic Analysis and Market Potential of Geological Thermal Energy Storage (GeoTES) Charged With Solar Thermal and Heat Pumps. Golden, CO: **National Renewable Energy Laboratory**, 2024. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy25osti/91225.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2024.

AMORIM, Fernando Rodrigues de; SILVA, Saulo André; IZEPPE, Fabio Roberto. Tendências de custos com insumos na produção de cana-de-açúcar: uma abordagem através da Simulação de Monte Carlo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 17, n. 4, e10997, 2024. DOI: 10.17765/2176-9168.2024v17n4e10997. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2024v17n4e10997>. Acesso em: 20 dez. 2024.

BASS, F. M. A new product growth for model consumer durables. **Management Science**, v. 15, n. 5, p. 215-227, 1969.

BARBIER, Pablo José Arana. Towards a deeper comprehension of unlevered betas in emerging markets: Gordon and a regression stock valuation model. **International Journal of Economic Policy in Emerging Economies**, v. 17, n. 4, p. 586-599, 2023. DOI: 10.1504/IJEPEE.2022.10049624.

BASTIAN-PINTO, Carlos de Lamare et al. A parameter based approach to single factor stochastic process selection for real options applications. **The European Journal of Finance**, 2021. DOI: 10.1080/1351847X.2021.1895859. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1351847X.2021.1895859>. Acesso em: 24 maio 2024.

BERMÚDEZ-RODRÍGUEZ, T.; CONSONI, F. L. Uma abordagem da dinâmica do desenvolvimento científico e tecnológico das baterias lítio-íon para veículos elétricos. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 19, p. 1-33, 3 ago. 2020.

BRANDÃO, L. E.; DYER, J. S.; HAHN, W. J. Volatility Estimation for Stochastic Project Value Models. **European Journal of Operational Research**, v. 217, n. 2, p. 442-450, 2012.

DOI: 10.1016/j.ejor.2011.09.035.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Frota de veículos 2024**. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>. Acesso em: 30 jan. 2024.

BURIM, Renato. Taxa de cartão de crédito: entenda o que é e como calcular. **Nuvemshop**, 2024. Disponível em: <https://www.nuvemshop.com.br/blog/taxa-de-cartao-de-credito/>. Acesso em: 6 nov. 2024.

CAIRNS, E. J.; ALBERTUS, P. Batteries for electric and hybrid-electric vehicles. **Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering**, v. 1, p. 299-320, 2010. DOI: 10.1146/annurev-chembioeng-073009-100942. PMID: 22432583.

CALLEGARI, Camila et al. Manutenção: o principal desafio das redes de recarga rápida em operação. *In*: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 43., 2023, Fortaleza. **Anais [...]**, Fortaleza: ENEGEP, 2023, p. 1-14. Disponível em: <https://abepro.org.br/publicacoes/artigo.asp?e=enegep&a=2023&c=45298>. Acesso em: 22 ago. 2024.

CHIZMAR, S. et al. A discounted cash flow and capital budgeting analysis of silvopastoral systems in the Amazonas region of Peru. **Land**, v. 9, n. 353, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/10/353>. Acesso em: 28 mar. 2024.

CNN BRASIL. **Na China, BYD e rivais no setor de veículos elétricos registram vendas recordes em dezembro**. 2025 Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/negocios/na-china-byd-e-rivais-no-setor-de-veiculos-eletricos-registram-vendas-recordes-em-dezembro/#:~:text=O%20maior%20fabricante%20dom%C3%A9stico%20de,4%2C3%20mil h%C3%B5es%20de%20ve%C3%ADculos>. Acesso em: 8 jan. 2025.

CONTA AZUL. **Saiba o que é ISS, como calcular e quem deve pagar**. 2024. Disponível em: <https://blog.contaazul.com/iss/#:~:text=Por%20exemplo%3A%20a%20empresa%20X,servi%C3%A7o%20%C3%A9%20de%20R%24%20500>. Acesso em: 21 dez. 2024.

CUNHA, Sâmia Marques Russo. **Modelagem e estimação de garantia de risco cambial ofertada pelo governo em uma concessão/parceria público-privada**: simulações para a Companhia Docas do Espírito Santo (CODESA). 2019. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas e Desenvolvimento) – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2019.

DAMODARAN, Aswath. **Data Sets - Current**. Disponível em: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datacurrent.html#discrate. Acesso em: 25 jan. 2025.

DAMODARAN, Aswath. **Valuation**: como avaliar empresas e escolher as melhores ações. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

DANIAL, M.; AZIS, F. A.; ABAS, P.E. Techno-Economic Analysis and Feasibility Studies of Electric Vehicle Charging Station. **World Electr. Veh. J**, v. 12, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/wevj12040264>. Acesso em: 24 maio 2024

DE LA O, Ricardo; MYERS, Sean. Subjective cash flow and discount rate expectations. **The Journal of Finance**, v. 76, n. 3, p. 1339-1344, jun. 2021. DOI: <10.1111/jofi.13016>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (Brasil). **Dados do Programa Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT)**. Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct>. Acesso em: 17 jan. 2025.

DEPARTMENT OF THE TREASURY. **Daily Treasury Yield Curve Rates**. Disponível em: https://home.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/TextView?type=daily_treasury_yield_curve&field_tdr_date_value_month=202411. Acesso em: 16 nov. 2024.

EBERSOLD, Felix et al. Carbon insetting as a measure to raise supply chain energy efficiency potentials: Opportunities and challenges. **Energy Conversion and Management: X**, v. 20, p. 100504, 2023. DOI: 10.1016/j.ecmx.2023.100504. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174523000504>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ECONOMIA EM DIA. **Projeções de longo prazo para a economia brasileira**. 2024. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/economiaemdia/html/projecoes/longo-prazo.html>. Acesso em: 11 out. 2024.

ELECTRIC VEHICLE DATABASE. **All electric vehicles**. Disponível em: <https://ev-database.org/#sort:path~type~order=.rank~number~desc|make-checkbox-dropdown:pathGroup=.byd|rs-price:prev~next=10000~100000|rs-range:prev~next=0~1000|rs-fastcharge:prev~next=0~1500|rs-acceleration:prev~next=2~23|rs-topspeed:prev~next=110~350|rs-battery:prev~next=10~200|rs-towweight:prev~next=0~2500|rs-eff:prev~next=100~350|rs-safety:prev~next=-1~5|paging:currentPage=0|paging:number=10>. Acesso em: 07 out. 2024.

ESTÚDIO FOLHA. **CCR: Rodovia Presidente Dutra – Extensão e fluxo**. 2023. Disponível em: <https://estudio.folha.uol.com.br/ccr/index.html#:~:text=principais%20obras%20na%20rodovia,-Pistas%20marginais%20Grande&text=Grande%20S%C3%A3o%20Paulo-,Na%20regi%C3%A3o%20da%20Grande%20S%C3%A3o%20Paulo%2C%20trafegam%20cerca%20de%20180,nos%20dois%20sentidos%20da%20rodovia>. Acesso em: 19 jan. 2025.

EVGO. **EVgo: Electric Vehicle Charging Made Easy**. Disponível em: <https://www.evgo.com/>. Acesso em: 16 nov. 2024.

FALCÃO, D. **Sistemas Energéticos do Futuro III – Revisão Bibliográfica Sobre Metodologias para Projeção de Difusão dos Recursos Energéticos Distribuídos**. Relatório Final. Maio de 2020.

FELIX, Leonardo. Avaliação: BYD Yuan Plus em 12 detalhes surreais que nenhum outro carro tem. **MOBIAUTO**, 06 mar 2023. Disponível em: <https://www.mobiauto.com.br/revista/avaliacao-byd-yuan-plus-em-12-detalhes-surreais-que-nenhum-outro-carro-tem/2683>. Acesso em: 07 out. 2024.

FONSECA, A. J. S. et al. Decommissioning of a fuel oil-fired thermoelectric power plant in Brazil – Economic feasibility under certain and risk conditions. **Sustainable Futures**, v. 8, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100332>. Acesso em: 23 dez. 2024.

FONSECA, A. J. S. et al. Análise dos custos de capital para uma termoeletrica a óleo combustível no Nordeste brasileiro: uma aplicação do WACC e CAPM. **International Journal of Scientific Management and Tourism**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 1713-1726, 2023. DOI: 10.55905/ijsmtv9n3-015.

FRANCESCETTO, Matheus; ROOS, Cristiano. Viabilidade econômica de estações de recarga de veículos elétricos: foco em equipamentos de carregamento rápido. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 9., 2019, Ponta Grossa. **Anais [...]**, Ponta Grossa: APREPRO, 2019. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10122019_101000_5da1d288ba556.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

G2 ENERGIA. **Quanto custa para carregar um carro elétrico?** 2024. Disponível em: <https://g2energia.com.br/custopararecargaeetrica/>. Acesso em: 11 mar. 2025.

GEETHA, B. T. et al. Hybrid approach based combined allocation of electric vehicle charging stations and capacitors in distribution systems. **Journal of Energy Storage**, v. 72, nov. 2023. DOI: 10.1016/j.est.2023.108195.

GOMES, R.; NERIS JR., C. **A difusão tecnológica e obstáculos ao catch up: uma perspectiva evolucionária**. São Paulo: São Paulo State University, 2021.

GRANGEIA, C. Et al. Energy transition scenarios in the transportation sector in Brazil: Contributions from the electrical mobility. **Energy Policy**, v. 174, mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113434>. Acesso em: 27 jan. 2024.

GREENV MOBILIDADE ELÉTRICA BRASIL S.A. Cotação de produto realizada diretamente via WhatsApp em 18 dez. 2024.

GREENV STORE. **Carregador DC GreenV: carga rápida e ultrarrápida para veículos elétricos**. Disponível em: <https://loja.greenv.com.br/carregador-dc-greenv-carga-rapida-ultrarrapida-para-veiculos-eletricos>. Acesso em: 21 dez. 2024.

GUPTA, Gaurav; SINGH, Anoop; SAINI, Vikash Kumar. **Economics of public EV charging infrastructure on highways in India**. 2023. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4465195>. Acesso em: 24 maio 2024.

HARDMAN, S. et al. A review of consumer preferences of and interactions with electric vehicle charging infrastructure. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 62, p. 508–523, jul. 2018. DOI: 10.1016/j.trd.2018.04.002.

HERZOG, Lusianny Pereira; SILVA, Everson Jonatha Gomes da; WEYMAR, Guilherme Jahnecke. Simulação com o método Monte Carlo: uma ferramenta para análise de risco no gerenciamento de projetos. **Revista de Gestão e Projetos (GeP)**, v. 15, n. 3, p. 542-565, set./dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5585/gep.v15i3.26721>. Acesso em: 14 jun. 2024.

HULL, John C.. Wiener processes and Itô's lemma. *In*: HULL, John C. **Options, Futures, and Other Derivatives**. 9. ed. Boston: Pearson Education, 2015.p. 302–320. Disponível em: <https://www.pearsonhighered.com>. Acesso em: 22 dez. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (Brasil). **Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular - Tabelas de Eficiência Energética 2024**. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2024-1.pdf/view>. Acesso em: 21 dez. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook 2024: Trends in Electric Vehicle Charging**. 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-electric-vehicle-charging>. Acesso em: 8 jan. 2025.

INVESTING.COM. **Brazil 5 Years CDS USD - Dados Históricos**. Disponível em: <https://br.investing.com/rates-bonds/brazil-cds-5-years-usd-historical-data>. Acesso em: 23 jan. 2025.

INVESTING.COM. EVgo Inc. - **Dados de mercado e Beta**. Disponível em: <https://br.investing.com/pro/NASDAQGS:EVGO/explorer/beta>. Acesso em: 23 jan. 2025.

INVESTING.COM. **Índice de Preços ao Consumidor (CPI) - Calendário Econômico**. Disponível em: <https://br.investing.com/economic-calendar/cpi-733>. Acesso em: 23 jan. 2025.

KUZIO, J. et al. **Economic impacts of electric vehicle infrastructure expansion on Texas metros**. College Station: Texas A&M Transportation Institute, 2021.

LAUDAGÉ, C.; TURKALJ, I. Quantum Risk Analysis: Beyond (Conditional) Value-at-Risk. **Kaiserslautern: RPTU Kaiserslautern-Landau; Fraunhofer Institute for Industrial Mathematics ITWM**, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2211.04456>. Acesso em: 17 mar. 2025.

LIU, F.; HUANG, X.; LI, L. The impact of green consumers on electric vehicle charging station diffusion based on complex network evolutionary game. **Energy & Environment**, v. 1, n. 1, p. 1-22, 2024.

LIVEAGENT. **Custo por Contato Explicado: Cálculo e Uso**. 2024. Disponível em: <https://www.liveagent.com.br/glossario/custo-por-contato/>. Acesso em: 22 dez. 2024.

MACHADO, G. I. O et al. Viabilidade econômica da terminação de categorias bovinas em pastagem cultivada de inverno ou confinamento por meio da simulação de Monte Carlo. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 22, n. 11, p. 1-18, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv22n11-134>. Acesso em: 8 jan. 2025.

MENDONÇA, Fabiana. Lucro real: entenda como funciona esse regime tributário. **Blog Fortes Tecnologia**, 28 mar 2024. Disponível em: <https://blog.fortestecnologia.com.br/gestao-contabil/lucro-real-entenda-melhor/>. Acesso em: 22 out. 2024.

MOREIRA, K. L. B. et al. Análise probabilística da viabilidade de investimento calculando o VPL e utilizando a Simulação de Monte Carlo. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n.

11, p. 01-13, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i11.4382>. Acesso em: 23 dez. 2024.

NEOCHARGE. **Carros elétricos no Brasil**. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil>. Acesso em: 10 mar. 2024.

NIGRO, Nick; FRADES, Matt. Business Models for Financially Sustainable EV Charging Networks. **Center for Climate and Energy Solutions**, mar. 2015. Disponível em: <http://www.c2es.org>. Acesso em: 21 maio 2024.

NIMMALA, Rohit. Evaluating Financial Risks of Carbon Capture in the Oil & Gas Industry Using Advanced Machine Learning Techniques. **Journal of Artificial Intelligence & Cloud Computing**, v. 3, n. 1, p. 1-5, 2024. DOI: 10.47363/JAICC/2024(3)312. Disponível em: [https://doi.org/10.47363/JAICC/2024\(3\)312](https://doi.org/10.47363/JAICC/2024(3)312). Acesso em: 23 dez. 2024.

PAIVA, Herivelto Nunes. Simulação pelo Método de Monte Carlo: uma proposta para a tomada de decisão. **Revista Pesquisa & Educação a Distância**, v. 2, n. 32, jul./dez. 2024. ISSN 2358-646X. Disponível em: <http://www.dpl.adainc.com/newsfall97/whitepap.htm>. Acesso em: 27 jan. 2025.

PAREN. **Utilization rates for EV fast chargers**. Disponível em: <https://www.paren.app/>. Acesso em: 23 jan. 2025.

PORTAL TRIBUTÁRIO. **Lucro Real**: guia completo sobre o regime de tributação. Disponível em: https://www.portaltributario.com.br/guia/lucro_real.html#:~:text=A%20pessoa%20jur%C3%ADdica%2C%20seja%20comercial,de%20conformidade%20com%20o%20Regulamento. Acesso em: 19 nov. 2024.

RAHIM, Muhammad et al. Techno-economic assessment of co-production of biodiesel and epoxy fatty acid methyl ester as renewable fuel and plasticizer from waste cooking oil. **Chemical Engineering Journal**, v. 499, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.156363>. Acesso em: 23 dez. 2024.

RIBEIRO, Rodrigo. Correio técnico: Por que carga rápida de carro elétrico nunca atinge 100%? **Revista Quatro Rodas**, São Paulo, 11 mar 2019. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/correio-tecnico-por-que-carga-rapida-de-carro-eletrico-nunca-atinge-100>. Acesso em: 19 jan. 2025.

ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. 1. ed. New York: Free Press, 1962.

RODRIGUES, Erivelton Meneses; NUNES, Rosângela Venâncio; ADRIANO, Nayana de Almeida. A simulação de Monte Carlo como instrumento para a análise econômico-financeira em investimentos de risco: O caso de uma decisão de investimento na abertura de uma filial para revenda de equipamentos pesados no Estado do Ceará. In: Congresso Brasileiro de Custos, 17, 2010, Belo Horizonte. **Anais [...]**, Belo Horizonte: ABC, 2010, p. 1-16.

SALUGA, Piotr W. et al. Risk-adjusted discount rate and its components for onshore wind farms at the feasibility stage. **Energies**, v. 14, n. 6840, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.3390/en14206840>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/energies>. Acesso em: 3 abr. 2024.

SATHLER, Kelvin Palhares Bastos; YETER, Baran; KOLIOS, Athanasios. Impact of operational losses on the levelized costs of energy and in the economic viability of offshore wind power projects. **Energy Sources**, Part B: Economics, Planning, and Policy, v. 20, n. 1, p. 2437181, 2025. DOI: 10.1080/15567249.2024.2437181. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15567249.2024.2437181>. Acesso em: 23 dez. 2024.

SERCOM. Consumidores preferem chat (51%) e WhatsApp (49%) quando precisam do SAC. **Sercom Assessoria de Imprensa**, dez. de 2020. Disponível em: <https://www.sercom.com.br/assessoria-de-imprensa/consumidores-preferem-chat-51-e-whatsapp-49-quando-precisam-do-sac>. Acesso em: 22 dez. 2024.

SILVA, M. J. C. F. **Difusão da Inovação e Condução de Calor: Validação de uma Analogia**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra, 2023.

SILVEIRA, Anderson Garcia et al. Influência da escolha do critério de informação na proporção de não rejeição da hipótese nula do teste ADF considerando a presença de raiz unitária. **Vetor**, Rio Grande, v. 33, n. 2, p. 11–16, 2023.

SOUZA, J. H. **Governo 4.0: Análise e proposições sobre a adoção tecnológica de blockchain por governos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.

STRIPE. **Preços - Stripe**. Disponível em: <https://stripe.com/br/pricing>. Acesso em: 21 dez. 2024.

TORRES, Victor. O que é lucro real? Entenda essa tributação e como calcular. **Contabilizei**, 2024. Disponível em: [https://www.contabilizei.com.br/contabilidade-online/lucro-real/#:~:text=Dentre%20todas%20as%20mudan%C3%A7as%20de,3%25\)%20sobre%20as%20receitas](https://www.contabilizei.com.br/contabilidade-online/lucro-real/#:~:text=Dentre%20todas%20as%20mudan%C3%A7as%20de,3%25)%20sobre%20as%20receitas). Acesso em: 21 dez. 2024.

USE ELECTRICO. **Quanto custa uma estação de carregamento de carros elétricos?** Disponível em: https://useeletrico.com/quanto-custa-uma-estacao-de-carregamento-de-carros-eletricos/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 21 dez. 2024.

VAJARGAH, Kianoush Fathi; SHOGHI, Maryam. Simulation of stochastic differential equation of geometric Brownian motion by quasi-Monte Carlo method and its application in prediction of total index of stock market and value at risk. **Mathematical Sciences**, v. 9, p. 115–125, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40096-015-0158-5>. Acesso em: 27 dez. 2024.

VERHULST, P. F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. **Correspondance Mathématique et Physique**, v. 10, p. 113–121, 1838.

WANG, Ning; TANG, Linhao; PAN, Huizhong. A global comparison and assessment of incentive policy on electric vehicle promotion. **Sustainable Cities and Society**, v. 39, p. 1–10, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.024>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670717305577>. Acesso em: 22 dez. 2024.

ZAP IMÓVEIS. **Quanto se cobra por aluguel de garagem?** 2024. Disponível em: <https://www.zapimoveis.com.br/blog/anunciar/meu-imovel/vaga-de-garagem/#:~:text=firma%2C%20se%20necess%C3%A1rio,-,Quanto%20se%20cobra%20por%20aluguel%20de%20garagem?,a%20definir%20um%20valor%20justo>. Acesso em: 25 nov. 2024.

APÊNDICE 1 – DEMANDA POSTO DE RECARGA

Demanda de EV	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Frota Total Estimada no Brasil	58.454.663	58.553.158	58.648.000	58.739.710	58.828.854	58.916.001	59.001.694	59.086.421	59.170.596	59.254.550	59.338.531	59.422.708	59.507.186	59.592.017	59.677.210	59.762.750	59.848.607
Frota EV Estimada no Brasil	247.462	403.410	633.337	977.176	1.473.632	2.180.079	3.202.570	4.599.689	6.464.925	8.799.741	11.495.033	14.307.666	16.904.006	18.986.113	20.471.490	21.401.914	21.945.835
Proporção de EV Estimados no Brasil	0,42%	0,69%	1,08%	1,66%	2,50%	3,70%	5,43%	7,78%	10,93%	14,85%	19,37%	24,08%	28,41%	31,88%	34,30%	35,81%	36,67%
Número de Veículos que Circularão na BR-116	3.928.821	3.935.441	3.941.815	3.947.979	3.953.971	3.959.828	3.965.588	3.971.282	3.976.940	3.982.583	3.988.227	3.993.885	3.999.563	4.005.264	4.010.990	4.016.739	4.022.510
Número Estimado de EV que Transitarão na BR-116	16.632	27.114	42.567	65.677	99.045	146.526	215.249	309.152	434.517	591.443	772.598	961.639	1.136.142	1.276.756	1.375.918	1.438.453	1.475.011
Extensão Total da Rodovia	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402
Autonomia Média Ajustada dos EV	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80	240,80
Quantidade de Energia Consumida por Recarga	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63	39,63
Consumo de Energia por Quilômetro (kWh/km)	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165
Qtd. Total de Energia Demandada na BR-116 no ano	1.100.386	1.793.838	2.816.253	4.345.199	6.552.782	9.694.130	14.240.832	20.453.385	28.747.510	39.129.710	51.114.833	63.621.734	75.166.851	84.469.801	91.030.343	95.167.646	97.586.295
Cap. de Carregamento Anual de uma Tomada	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678	506.678
Taxa de Utilização	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%
Cap. de Carregamento Anual de uma Tomada Ajustada	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736	131.736
Número de Equipamentos na Rodovia	4	7	11	16	25	37	54	78	109	149	194	241	285	321	346	361	370
Número de Equipamentos no Posto	1	1	1	2	2	4	5	8	11	15	19	24	29	32	35	36	37

APÊNDICE 2 – FLUXO DE CAIXA POSTO DE RECARGA

Fluxo de Caixa - Posto de Recarga	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Receita Bruta	R\$ 434.730	R\$ 456.032	R\$ 469.713	R\$ 967.608	R\$ 996.637	R\$ 2.053.071	R\$ 2.643.329	R\$ 4.356.207	R\$ 6.169.478	R\$ 8.665.312	R\$ 11.305.344	R\$ 14.708.948	R\$ 18.306.387	R\$ 20.806.156	R\$ 23.439.405	R\$ 24.832.407	R\$ 26.287.862
(-) Pis	-R\$ 7.173	-R\$ 7.525	-R\$ 7.750	-R\$ 15.966	-R\$ 16.445	-R\$ 33.876	-R\$ 43.615	-R\$ 71.877	-R\$ 101.796	-R\$ 142.978	-R\$ 186.538	-R\$ 242.696	-R\$ 302.055	-R\$ 343.302	-R\$ 386.751	-R\$ 409.735	-R\$ 433.750
(-) Cofins	-R\$ 33.039	-R\$ 34.658	-R\$ 35.698	-R\$ 73.538	-R\$ 75.744	-R\$ 156.033	-R\$ 200.893	-R\$ 331.072	-R\$ 468.880	-R\$ 658.564	-R\$ 859.206	-R\$ 1.117.872	-R\$ 1.391.285	-R\$ 1.581.268	-R\$ 1.781.397	-R\$ 1.887.263	-R\$ 1.987.877
(-) Software + Cartão	-R\$ 36.031	-R\$ 37.733	-R\$ 38.626	-R\$ 79.905	-R\$ 82.224	-R\$ 168.226	-R\$ 217.684	-R\$ 358.432	-R\$ 507.202	-R\$ 711.805	-R\$ 927.929	-R\$ 1.206.351	-R\$ 1.500.277	-R\$ 1.703.697	-R\$ 1.918.186	-R\$ 2.030.780	-R\$ 2.148.368
(-) ISS	-R\$ 21.737	-R\$ 22.802	-R\$ 23.486	-R\$ 48.380	-R\$ 49.832	-R\$ 102.654	-R\$ 132.166	-R\$ 217.810	-R\$ 308.474	-R\$ 433.286	-R\$ 565.267	-R\$ 735.442	-R\$ 915.319	-R\$ 1.040.308	-R\$ 1.171.972	-R\$ 1.241.620	-R\$ 1.314.393
(=) Receita Líquida	R\$ 336.750	R\$ 353.314	R\$ 363.952	R\$ 749.819	R\$ 772.382	R\$ 1.591.283	R\$ 2.048.971	R\$ 3.377.015	R\$ 4.783.126	R\$ 6.718.701	R\$ 8.766.404	R\$ 11.406.486	R\$ 14.197.450	R\$ 16.137.381	R\$ 18.181.130	R\$ 19.263.008	R\$ 20.383.474
(-) Custo/KWh	-R\$ 284.968	-R\$ 298.932	-R\$ 307.900	-R\$ 634.273	-R\$ 653.301	-R\$ 1.345.801	-R\$ 1.732.719	-R\$ 2.855.521	-R\$ 4.044.131	-R\$ 5.680.166	-R\$ 7.410.723	-R\$ 9.641.741	-R\$ 11.934.449	-R\$ 13.449.449	-R\$ 15.107.614	-R\$ 16.407.660	-R\$ 17.407.660
(=) Lucro Bruto	R\$ 51.781	R\$ 54.382	R\$ 56.053	R\$ 115.546	R\$ 119.090	R\$ 245.482	R\$ 316.252	R\$ 521.495	R\$ 738.994	R\$ 1.038.535	R\$ 1.355.681	R\$ 1.764.745	R\$ 2.197.500	R\$ 2.498.817	R\$ 2.816.435	R\$ 2.985.212	R\$ 3.161.618
(-) Despesas Op.	-R\$ 10.337	-R\$ 10.844	-R\$ 11.169	-R\$ 23.008	-R\$ 23.698	-R\$ 48.818	-R\$ 62.853	-R\$ 103.592	-R\$ 146.698	-R\$ 206.045	-R\$ 268.820	-R\$ 349.748	-R\$ 435.291	-R\$ 494.731	-R\$ 557.345	-R\$ 590.467	-R\$ 625.075
(=) Lucro Operacional	R\$ 41.444	R\$ 43.539	R\$ 44.884	R\$ 92.538	R\$ 95.392	R\$ 196.664	R\$ 253.399	R\$ 417.912	R\$ 592.296	R\$ 832.490	R\$ 1.086.861	R\$ 1.414.987	R\$ 1.762.209	R\$ 2.004.087	R\$ 2.259.090	R\$ 2.394.745	R\$ 2.536.543
(-) Depreciação	-R\$ 10.182	-R\$ 10.182	-R\$ 10.182	-R\$ 20.363	-R\$ 20.363	-R\$ 40.726	-R\$ 50.908	-R\$ 81.452	-R\$ 111.997	-R\$ 152.723	-R\$ 193.449	-R\$ 244.357	-R\$ 295.265	-R\$ 325.810	-R\$ 356.354	-R\$ 366.536	-R\$ 376.717
(=) LAIR	R\$ 31.263	R\$ 33.357	R\$ 34.702	R\$ 72.175	R\$ 75.029	R\$ 155.937	R\$ 202.491	R\$ 336.460	R\$ 480.299	R\$ 679.767	R\$ 893.412	R\$ 1.170.640	R\$ 1.466.945	R\$ 1.678.277	R\$ 1.902.736	R\$ 2.028.209	R\$ 2.159.825
IRPJ e CSLL	-R\$ 10.629	-R\$ 11.341	-R\$ 11.799	-R\$ 24.540	-R\$ 25.510	-R\$ 53.019	-R\$ 68.847	-R\$ 114.396	-R\$ 163.302	-R\$ 231.121	-R\$ 303.760	-R\$ 398.018	-R\$ 498.761	-R\$ 570.614	-R\$ 646.930	-R\$ 689.591	-R\$ 734.341
Lucro Líquido	R\$ 20.633	R\$ 22.016	R\$ 22.903	R\$ 47.636	R\$ 49.519	R\$ 102.919	R\$ 133.644	R\$ 222.064	R\$ 316.997	R\$ 448.646	R\$ 589.652	R\$ 772.622	R\$ 968.183	R\$ 1.107.663	R\$ 1.255.806	R\$ 1.338.618	R\$ 1.425.485
(+) Depreciação	R\$ 10.182	R\$ 10.182	R\$ 10.182	R\$ 20.363	R\$ 20.363	R\$ 40.726	R\$ 50.908	R\$ 81.452	R\$ 111.997	R\$ 152.723	R\$ 193.449	R\$ 244.357	R\$ 295.265	R\$ 325.810	R\$ 356.354	R\$ 366.536	R\$ 376.717
Investimentos	-R\$ 204.500	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	-R\$ 409.000	-R\$ 613.500	-R\$ 613.500	-R\$ 818.000	-R\$ 818.000	-R\$ 1.022.500	-R\$ 1.022.500	-R\$ 613.500	-R\$ 613.500	-R\$ 204.500	-R\$ 204.500	-R\$ 376.717
Fluxo de Caixa	-R\$ 204.500	R\$ 30.815	R\$ 32.197	R\$ 171.415	R\$ 67.999	-R\$ 339.118	-R\$ 428.948	-R\$ 309.984	-R\$ 389.006	-R\$ 216.631	-R\$ 239.399	-R\$ 5.521	R\$ 649.948	R\$ 919.973	R\$ 1.407.660	R\$ 1.500.654	R\$ 1.425.485
Fluxo de Caixa C/ Perpetuidade	-R\$ 204.500	R\$ 30.815	R\$ 171.415	R\$ 67.999	R\$ 339.118	-R\$ 60.855	-R\$ 428.948	-R\$ 309.984	-R\$ 389.006	-R\$ 216.631	-R\$ 239.399	-R\$ 5.521	R\$ 649.948	R\$ 919.973	R\$ 1.407.660	R\$ 1.500.654	R\$ 9.400.206