



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO



Eficácia dos veículos elétricos na mitigação de poluentes atmosféricos: evidências e desafios

Alberto Sousa Chagas

Mossoró/RN

2025



INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA

A poluição atmosférica é um dos grandes desafios enfrentados pelas sociedades urbanas contemporâneas. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 99% da população mundial respira ar que excede os limites recomendados de qualidade. Estima-se que a poluição do ar cause aproximadamente 7 milhões de mortes prematuras por ano no mundo, sendo grande parte delas relacionadas a doenças respiratórias e cardiovasculares. No Brasil, o Instituto Saúde e Sustentabilidade apontou que, apenas na cidade de São Paulo, a poluição atmosférica provoca mais de 4 mil mortes por ano, superando inclusive os índices de mortes por acidentes de trânsito. Esses impactos são sentidos tanto no meio ambiente quanto na saúde pública, com efeitos diretos no aumento de doenças respiratórias, cardiovasculares e na piora da qualidade de vida das populações, especialmente em grandes centros urbanos. Seus impactos são sentidos tanto no meio ambiente quanto na saúde pública, com efeitos diretos no aumento de doenças respiratórias, cardiovasculares e na piora da qualidade de vida das populações, especialmente em grandes centros urbanos. No Brasil, cidades como São Paulo, Belo Horizonte e Recife convivem com altos índices de emissão de poluentes oriundos do setor de transporte, sobretudo dos veículos movidos a combustíveis fósseis como gasolina e diesel. Esses combustíveis, ao serem queimados, emitem compostos altamente prejudiciais como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (PM), dióxido de enxofre (SO₂) e dióxido de carbono (CO₂), este último amplamente associado ao agravamento das mudanças climáticas.

Nesse contexto, os veículos elétricos (EVs) surgem como uma alternativa promissora, com potencial para mitigar esses impactos negativos. Diferente dos veículos com motores de combustão interna, os EVs não emitem poluentes diretamente durante sua operação. Além disso, apresentam maior eficiência energética e, quando combinados com fontes de energia limpa, como a solar e a eólica, tornam-se ainda mais sustentáveis do ponto de vista ambiental. Diversos países têm investido fortemente na eletrificação de suas frotas como estratégia para atingir metas de redução de emissões e promover uma mobilidade mais sustentável.



A escolha por focar especificamente nos EVs, em vez de outras alternativas, como transporte público ou uso de biocombustíveis, se deve ao fato de que os veículos elétricos vêm ganhando destaque global como símbolo da transição energética e têm despertado interesse tanto do setor privado quanto do público consumidor. Além disso, representam uma mudança tecnológica significativa que envolve inovação industrial, infraestrutura e mudanças de comportamento. Assim, estudar a eficácia dos EVs na mitigação da poluição atmosférica permite compreender melhor os limites e as possibilidades dessa alternativa dentro de um cenário de transição para modelos urbanos mais limpos e sustentáveis.

Foi a partir dessa inquietação que surgiu o interesse em desenvolver este plano de trabalho. Ao longo da graduação em Ciências e Tecnologia, venho me envolvendo em disciplinas e projetos voltados à sustentabilidade, meio ambiente e inovações tecnológicas, o que ampliou minha compreensão sobre os impactos ambientais das escolhas energéticas e os caminhos para uma mobilidade mais limpa. Atividades realizadas nas áreas de Fundamentos de Energia, Desenvolvimento Sustentável, Tecnologias Limpas e Seminários Temáticos contribuíram para formar uma base acadêmica sólida e interdisciplinar, permitindo o aprofundamento em temas como transição energética, poluição atmosférica e uso eficiente de recursos.

A escolha por estudar os veículos elétricos foi motivada tanto por esse contexto acadêmico quanto por uma curiosidade pessoal sobre o quanto essa tecnologia, de fato, contribui para melhorar a qualidade do ar nas cidades. Muitos discursos circulam na mídia, mas nem sempre vêm acompanhados de dados científicos consistentes. Por isso, acredito ser importante buscar evidências reais sobre a eficácia dos EVs na redução de poluentes atmosféricos, com base em estudos atualizados, comparativos e contextualizados.



Além disso, essa pesquisa se torna ainda mais relevante quando observamos a realidade brasileira. O país ainda possui uma frota majoritariamente movida por combustíveis fósseis e enfrenta entraves significativos para a ampliação do uso de veículos elétricos, como a falta de infraestrutura adequada de recarga, o alto custo de aquisição dos modelos disponíveis e a ausência de incentivos governamentais consistentes. No entanto, estudos como o de Schwartz et al. (2024) mostram que existe uma parcela crescente da população interessada nessa tecnologia, principalmente por motivações ambientais. Compreender as barreiras e ao mesmo tempo reconhecer os avanços que estão sendo feitos permite propor soluções mais realistas e adaptadas à nossa realidade.

Outro aspecto que reforça a importância deste trabalho é o acúmulo crescente de evidências científicas sobre os impactos positivos dos EVs na qualidade do ar. O estudo de Hu et al. (2021), por exemplo, demonstrou que mesmo com apenas 30% da frota de Xangai composta por veículos elétricos, já seria possível reduzir significativamente a emissão de diversos poluentes, como monóxido de carbono e material particulado fino (PM2.5).

Resultados semelhantes foram observados em outras cidades ao redor do mundo. Em Los Angeles (EUA), pesquisas apontaram uma queda de até 40% nas emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) nas áreas onde houve maior adesão a veículos elétricos, segundo dados compilados pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2020). Já em Oslo (Noruega), onde mais de 70% da frota urbana já é elétrica, os níveis de PM2.5 caíram consideravelmente na última década, refletindo diretamente em melhorias na saúde pública urbana (IEA, 2022).

Esses dados internacionais reforçam que políticas públicas voltadas à eletrificação da frota urbana podem gerar benefícios concretos à saúde da população em diferentes contextos, inclusive no Brasil, e em um curto espaço de tempo.



Neste sentido, o presente projeto pretende reunir e analisar essas evidências de forma sistemática, organizando os principais dados sobre a eficácia dos veículos elétricos na mitigação da poluição atmosférica. A proposta é examinar especificamente dois aspectos principais: a redução das emissões de poluentes atmosféricos (como CO₂, NOx e material particulado) e o impacto na melhoria da qualidade do ar urbano, a partir de estudos comparativos. O recorte da análise incluirá tanto o cenário internacional, com destaque para experiências em países como China e Noruega, quanto o contexto brasileiro, considerando fatores locais que influenciam a adoção dos EVs, como infraestrutura, políticas públicas e comportamento do consumidor.

A ideia é construir um panorama que considere tanto o ponto de vista global quanto o nacional, utilizando como base três estudos de referência: Sachs et al. (2022), que apresenta uma avaliação abrangente das emissões ao longo do ciclo de vida de veículos elétricos e a combustão; Hu et al. (2021), que modela os impactos dos EVs na cidade de Xangai; e Schwartz et al. (2024), que investiga os fatores que influenciam a compra de EVs no Brasil.

Entender como os EVs podem contribuir para uma mobilidade menos poluente é não apenas um exercício acadêmico, mas uma contribuição real para o debate público sobre o futuro das cidades. A mobilidade elétrica não é uma solução mágica e apresenta desafios importantes, mas representa um caminho possível e viável para melhorar a qualidade ambiental urbana e a saúde coletiva.

Assim, este projeto pretende ir além de uma análise teórica. Ele busca oferecer uma visão crítica, fundamentada em dados, sobre as oportunidades e limitações dos veículos elétricos. Trata-se de uma tentativa de compreender, com profundidade, as condições em que os EVs são realmente eficazes na redução de poluentes, onde suas vantagens são mais expressivas e o que ainda precisa ser enfrentado para que essa tecnologia se torne acessível e transformadora em escala nacional.



A pergunta que guia esta pesquisa é: *Em que medida os veículos elétricos contribuem para a mitigação dos poluentes atmosféricos urbanos, considerando diferentes contextos geográficos, níveis de adoção e políticas públicas?*

Espero que, ao final da pesquisa, seja possível não só responder a essa pergunta central sobre a eficácia dos EVs, mas também contribuir com sugestões para tornar sua adoção mais eficiente, justa e sustentável no Brasil.

OBJETIVOS

A definição clara de objetivos é essencial para nortear uma pesquisa científica sólida e coerente com os desafios propostos. Diante da urgência em se pensar alternativas tecnológicas mais sustentáveis e do crescente interesse pelos veículos elétricos como solução para a poluição atmosférica, este plano de trabalho foi estruturado com o intuito de contribuir para o entendimento sobre a real eficácia dessa tecnologia. Assim, os objetivos foram formulados considerando tanto a fundamentação teórica já existente quanto as lacunas e desafios observados no cenário atual.

GERAL

Investigar, com base em evidências científicas, a eficácia dos veículos elétricos na redução da poluição atmosférica urbana, analisando seus impactos ambientais diretos e indiretos, bem como os benefícios e limitações associados à adoção dessa tecnologia. A pesquisa buscará compreender em que contextos os EVs são mais eficazes, considerando aspectos como ciclo de vida dos veículos, matriz energética utilizada, políticas públicas e níveis de adoção, tanto em cenários nacionais quanto internacionais, com foco na melhoria da qualidade do ar e na viabilidade da mobilidade sustentável.



Específicos

- Reunir, sistematizar e comparar dados de estudos científicos que investigam os efeitos dos veículos elétricos na redução dos principais poluentes atmosféricos urbanos — como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (PM2.5 e PM10) e dióxido de carbono (CO₂) — considerando diferentes metodologias de análise, contextos geográficos e níveis de penetração dos EVs nas frotas avaliadas.
- Analisar a variação dos efeitos dos veículos elétricos em diferentes contextos regionais, comparando casos internacionais (como o estudo de Hu et al. em Xangai) com o panorama brasileiro (descrito por Schwartz et al.).
- Analisar o ciclo de vida completo dos veículos elétricos (produção, uso e descarte), com base em estudos como o de Sachs et al. (2022), com foco na quantificação das emissões de CO₂ em cada fase e na avaliação de seus impactos ambientais, como degradação de recursos e geração de resíduos.
- Identificar os principais entraves para a adoção em larga escala de veículos elétricos (EVs) no Brasil e avaliar seu impacto na efetiva redução de poluentes atmosféricos, considerando aspectos econômicos (ex.: custos de aquisição), estruturais (ex.: infraestrutura de recarga), sociais (ex.: percepção do consumidor) e de políticas públicas (ex.: incentivos fiscais), com ênfase nos fatores que influenciam a decisão de compra.
- Sintetizar os resultados da pesquisa para construir uma análise crítica sobre o papel da mobilidade elétrica na mitigação da poluição urbana, identificando:
 - (i) lacunas de conhecimento no tema,
 - (ii) desafios práticos para implementação, e
 - (iii) oportunidades para futuras pesquisas e políticas públicas, com base em evidências empíricas e teóricas.



A combinação desses objetivos busca promover uma análise profunda, equilibrada e aplicada do tema, de forma a produzir não apenas conhecimento acadêmico, mas também subsídios para políticas públicas e educação ambiental. Essa abordagem multifacetada permitirá compreender os limites e o potencial dos veículos elétricos para transformar o padrão atual de mobilidade urbana e contribuir com a transição energética sustentável.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste projeto será fundamentada em uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória, com foco na análise documental e na revisão sistemática da literatura científica. Essa escolha se justifica pela complexidade do fenômeno estudado — a eficácia dos veículos elétricos (EVs) na mitigação da poluição atmosférica — e pela necessidade de compreender esse tema a partir de múltiplas evidências empíricas já consolidadas por estudos acadêmicos e institucionais.

O procedimento metodológico será estruturado em três grandes etapas interligadas: (1) levantamento bibliográfico sistemático, (2) análise e categorização dos dados coletados, e (3) construção de uma matriz comparativa para interpretação crítica dos resultados.

1. Levantamento bibliográfico sistemático

A primeira fase do estudo consistirá na identificação e seleção de artigos científicos relevantes, com base em critérios de qualidade, atualidade e aderência ao tema. Serão utilizadas bases de dados consolidadas na área, como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar e o Portal de Periódicos da CAPES.

Os principais descritores de busca incluirão:



"electric vehicles", "air pollution", "emission reduction", "urban mobility", "EV adoption", "life cycle assessment".

Serão considerados estudos publicados entre 2019 e 2024, revisados por pares, com texto completo disponível em português, inglês ou espanhol, e que apresentem dados empíricos, modelagens ou avaliações ambientais relacionadas ao uso de veículos elétricos.

CrITÉRIOS de exclusão também serão definidos previamente, desconsiderando estudos de opinião, textos opinativos sem fundamentação científica e revisões sem critérios metodológicos claros. Essa triagem inicial será realizada com base em título, resumo e palavras-chave.

2. Análise, fichamento e categorização dos dados

Os artigos selecionados serão lidos na íntegra e fichados de forma sistemática. Cada estudo será analisado a partir de uma ficha padrão, contendo as seguintes categorias:

- Autor(es), ano e país de realização;
- Objetivo da pesquisa e tipo de abordagem metodológica;
- Tipo de poluente analisado (CO, NO_x, PM_{2.5}, CO₂ etc.);
- Tipo de intervenção relacionada aos EVs;
- Resultados obtidos (qualitativos ou quantitativos);
- Limitações e considerações finais dos autores.

Além disso, os artigos serão classificados de acordo com o nível de evidência científica e o rigor metodológico, utilizando critérios como: clareza na descrição dos métodos,



amostra utilizada, replicabilidade, confiabilidade dos dados e validação estatística. Essa avaliação visa reforçar a qualidade metodológica dos estudos utilizados, como sugerido pelo avaliador.

3. Matriz comparativa e interpretação dos resultados

Com os dados organizados, será construída uma matriz comparativa, estruturada por região geográfica (Brasil, China, Europa etc.), tipo de poluente, contexto urbano ou rural, e impacto estimado da adoção de EVs. Essa matriz permitirá identificar padrões, convergências e divergências nos resultados dos diferentes estudos, enriquecendo a análise crítica.

Além disso, será feita uma comparação entre os contextos estudados nos artigos e a realidade brasileira, com o objetivo de refletir sobre as condições de aplicabilidade dos resultados obtidos em outros países ao nosso contexto. Tal abordagem é importante para subsidiar políticas públicas mais eficazes, adaptadas às barreiras e oportunidades locais.

Estudos de referência e aprofundamento com LCA

A metodologia também incluirá a análise de três estudos centrais para a fundamentação da pesquisa:

- Sachs et al. (2022) – Avaliação das emissões no ciclo de vida de veículos elétricos e a combustão;
- Hu et al. (2021) – Modelagem dos impactos dos EVs na qualidade do ar em Xangai;
- Schwartz et al. (2024) – Fatores que influenciam a adoção de EVs no Brasil.

Esses estudos servirão como eixo de comparação para os demais trabalhos, fornecendo um panorama mais robusto e multidimensional. Também será feita uma análise crítica do



ciclo de vida completo dos EVs (LCA), incluindo etapas de extração de lítio e cobalto, produção das baterias, uso de energia elétrica e destinação dos resíduos. Essa etapa buscará compreender os impactos indiretos e menos discutidos dessa tecnologia.

Recursos visuais e síntese final

Para facilitar a visualização dos dados e auxiliar na elaboração dos relatórios e apresentações, serão construídos quadros-resumo, gráficos e tabelas comparativas. Ao final, será realizada uma sistematização crítica das evidências, discutindo sob quais condições os EVs são mais eficazes na redução de poluentes atmosféricos e quais entraves ainda precisam ser superados para ampliar sua adoção de forma sustentável.

HABILIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS

Ao longo da execução deste projeto, espera-se o desenvolvimento de um conjunto de habilidades fundamentais para a formação acadêmica e científica do pesquisador. A leitura crítica e a interpretação de textos acadêmicos, inclusive em diferentes idiomas, serão constantemente mobilizadas, principalmente durante a etapa de revisão bibliográfica, permitindo contato com diferentes correntes teóricas e abordagens metodológicas.

Será fortalecida também a capacidade de selecionar, organizar e sistematizar dados científicos de forma coerente e estruturada, especialmente durante a análise de artigos e relatórios técnicos. Essa habilidade se alia à aptidão para realizar análises comparativas entre diferentes contextos — nacionais e internacionais — e distintas metodologias de avaliação da eficácia dos veículos elétricos na redução de poluentes atmosféricos.

A prática da escrita científica será estimulada por meio da produção de sínteses claras, com linguagem acessível e argumentação sólida, o que contribuirá para a comunicação eficaz dos resultados. Além disso, o projeto proporciona uma compreensão ampliada sobre



as interações entre tecnologia, meio ambiente e sociedade, reforçando uma visão crítica e interdisciplinar.

Do ponto de vista técnico, o estudante desenvolverá habilidades na elaboração de quadros e tabelas comparativas para fins científicos, o que auxilia na organização e visualização dos dados analisados. A vivência com essa etapa permitirá maior familiaridade com técnicas de sistematização e apresentação de informações relevantes.

Espera-se também que a pesquisa contribua para a ampliação da consciência ambiental, especialmente no que diz respeito à realidade brasileira, incentivando uma postura ética, crítica e comprometida com os desafios locais. Por fim, o projeto estimula o desenvolvimento de uma postura investigativa e propositiva, voltada para a sustentabilidade e para a busca de soluções concretas para problemas ambientais urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HU, X. et al. *The Potential Impacts of Electric Vehicles on Urban Air Quality in Shanghai City*. Sustainability, v. 13, n. 2, p. 496, 2021. DOI: [10.3390/su13020496](https://doi.org/10.3390/su13020496).

SACHS, H. et al. *Lifecycle Emissions of Electric Vehicles vs. Combustion Engines: A Global Assessment*. Nature Sustainability, v. 4, p. 407–415, 2022. DOI: [10.1038/s41893-021-00844-z](https://doi.org/10.1038/s41893-021-00844-z).

SCHWARTZ, M. A. et al. *Analysis of the Factors Influencing the Purchase of Electric Vehicles in Brazil*. Sustainability, v. 16, n. 22, p. 9957, 2024. DOI: [10.3390/su16229957](https://doi.org/10.3390/su16229957)



Nota sobre o uso de inteligência artificial

Durante a elaboração deste plano de trabalho, ferramentas de inteligência artificial foram utilizadas pontualmente para auxiliar na organização de ideias, revisão linguística e estruturação de trechos do texto. Todo o conteúdo foi cuidadosamente adaptado, complementado e validado pelo(a) autor(a), garantindo sua autenticidade, coerência com os objetivos do projeto e adequação à realidade da pesquisa proposta.

CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PROJETO

Atividades	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Definição dos critérios e objetivos	X					
Revisão bibliográfica aprofundada		X				
Seleção e organização dos dados			X			
Construção das matrizes de análise				X		
Interpretação e cruzamento das informações					X	
Sistematização e escrita do relatório final						X
Revisão final e preparação para entrega						X



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

