

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA DE DIREITO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO AMBIENTAL

VITOR LUIZ MAIA DA SILVA XAVIER

**TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE: A INSERÇÃO DOS CARROS ELÉTRICOS
NO CONTEXTO JURÍDICO E AMBIENTAL BRASILEIRO.**

MANAUS/AM

2026

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA DE DIREITO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO AMBIENTAL

**TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE: A INSERÇÃO DOS CARROS ELÉTRICOS
NO CONTEXTO JURÍDICO E AMBIENTAL BRASILEIRO.**

Dissertação apresentada à banca, como parte do requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Direito Ambiental da Universidade do Estado do Amazonas – UEA.

Linha de Pesquisa: Direitos da Sócio e Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Alcian Pereira de Souza.

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

X3t Xavier, Vitor Luiz Maia da Silva
 Tecnologia e sustentabilidade : a inserção dos carros elétricos no
 contexto jurídico e ambiental brasileiro / Vitor Luiz Maia da Silva Xavier.
 Manaus : [s.n], 2026.
 112 f.: color.; 21.0 cm.

 Dissertação - Mestrado em Direito Ambiental- Universidade do
 Estado do Amazonas, Manaus, 2026.
 Orientador: Alcian Pereira de Souza.

 1. Direito ambiental. 2. Emissões de gases de efeito estufa. 3. Veículos
 elétricos. 4. Potencial relevante de redução. 5. Extrafiscalidade do IPVA.
 I. Alcian Pereira de Souza (Orient.) II. Universidade do Estado do
 Amazonas. III. Título

CDU(1997)349.6(043.3)

**TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE: A INSERÇÃO DOS CARROS ELÉTRICOS
NO CONTEXTO JURÍDICO E AMBIENTAL BRASILEIRO.**

Dissertação apresentada à banca, como parte
do requisito para conclusão do Curso de
Mestrado em Direito Ambiental da
Universidade do Estado do Amazonas – UEA.

Linha de Pesquisa: Direitos da Sócio e
Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Alcian Pereira de Souza.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alcian Pereira de Souza –
Orientador/Diretor da Escola de Direito da
Universidade do Estado do Amazonas (UEA)

Prof. Dr. Neuton Alves de Lima –
Coorientador/Membro Interno - Universidade do Estado do Amazonas (UEA)

Prof. Dr. Bernardo Silva de Seixas – Membro Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder saúde, por me abençoar com uma família que sempre esteve ao meu lado e por todas as graças derramadas sobre minha vida. Agradeço, especialmente, por conduzir cada etapa desta caminhada e por mostrar que todas as coisas acontecem no tempo certo.

À minha mãe, Wladia Rachel Maia da Silva, minha maior inspiração. Mãe solo, você me criou com amor, coragem e uma dedicação incansável, nunca medindo esforços para proporcionar o melhor para mim. Foi acompanhando sua luta diária que aprendi o valor do estudo, do trabalho, da perseverança e da responsabilidade.

Tenho uma profunda admiração pela mulher que você é e por toda a sua trajetória. Obrigado por me ensinar, pelo exemplo, os valores da honestidade, do caráter e da dignidade, que levarei comigo por toda a vida. Se hoje concluo este mestrado, essa conquista é fruto de tudo o que você construiu e semeou em minha formação. Esta vitória também é sua.

À minha avó, Graça Maia da Silva, por todo o amor, carinho, apoio e incentivo ao longo da minha vida. Sua presença, suas palavras de encorajamento e seu afeto sempre foram fonte de força nos momentos mais desafiadores. Sou profundamente grato por todo o cuidado e por fazer parte, de maneira tão especial, desta conquista.

À minha amada bisavó, Terezinha (in memoriam), cuja lembrança permanece viva em meu coração. Em todos os momentos desta caminhada, senti sua presença e seu carinho me acompanhando, como uma força silenciosa que me confortou e me fortaleceu. O amor que nos une transcende o tempo e a ausência, e tenho a certeza de que você continuará para sempre presente em minha vida e em minhas lembranças.

Aos meus amados irmãos caninos, Buddy e Simba, companheiros inseparáveis durante toda esta jornada. Enquanto eu escrevia esta dissertação, vocês estiveram ao meu lado em todos os momentos. Bastava erguer os olhos e lá estavam vocês, sempre por perto, oferecendo uma companhia silenciosa, mas repleta de afeto. Nos momentos de insegurança, quando eu ia para a varanda em busca de serenidade e reflexão, vocês também estavam ali, como se soubessem exatamente do que eu precisava. O carinho, a lealdade e a presença constante de

vocês tornaram esta caminhada mais leve. Sem dúvida, foram dois dos meus maiores apoios ao longo dessa trajetória.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alcian Pereira de Souza, minha profunda gratidão pela orientação, confiança e amizade ao longo desta trajetória acadêmica. Tive a honra de ser seu aluno, e foi a partir das reflexões desenvolvidas em sua disciplina que nasceu a ideia que viria a se transformar nesta dissertação.

Agradeço por ter acreditado no meu projeto desde o início e por conduzir esta pesquisa com dedicação, paciência e generosidade. Mais do que um orientador, encontrei um grande amigo, cujos ensinamentos, conselhos e incentivo foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Obrigado pelas oportunidades que me proporcionou, pela confiança depositada em meu trabalho e por contribuir de forma tão significativa para esta importante etapa da minha vida. Sua orientação deixará marcas que levarei por toda a minha trajetória profissional e acadêmica.

Agradeço, ainda, por ter me proporcionado a oportunidade de conhecer pessoas extraordinárias ao longo desta jornada. Foi por meio de sua orientação que tive o privilégio de construir uma sincera amizade com Katy Santos e Albefredo Souza Júnior, cuja convivência, apoio e companheirismo enriqueceram ainda mais esta experiência acadêmica. Sou grato por tê-los conhecido e por levá-los comigo para além do mestrado.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Neuton Alves de Lima, expresso minha sincera gratidão pela disponibilidade, pelos ensinamentos e pela valiosa contribuição para o desenvolvimento desta pesquisa. Tive a honra de atuar como seu estagiário de docência, experiência que ampliou significativamente minha formação acadêmica e despertou ainda mais meu interesse pela atividade docente. Agradeço pela confiança, pelas oportunidades concedidas e por compartilhar, com tanta generosidade, seu conhecimento e sua experiência.

À equipe do Programa de Pós-Graduação em Direito Ambiental da Universidade do Estado do Amazonas (PPGDA/UEA), expresso minha sincera gratidão pelo acolhimento, profissionalismo e dedicação durante toda a minha trajetória no mestrado.

Em especial, agradeço à Dona Rai, cuja disponibilidade, atenção e prontidão para auxiliar sempre fizeram a diferença nos momentos em que precisei. Sua gentileza e compromisso com os discentes merecem meu mais profundo reconhecimento.

Estendo, ainda, meus agradecimentos à equipe da Direção da Escola de Direito da UEA, especialmente a Franklin, Julianna e Rochelle, pelo apoio, cordialidade e atenção dispensados ao longo desta caminhada.

Ao meu chefe, Luiz Aurélio Carvalho Leite, expresso minha mais sincera gratidão pela confiança, compreensão e apoio durante esta etapa tão importante da minha vida acadêmica. Sua sensibilidade em compreender a relevância deste momento e o incentivo que me proporcionou foram determinantes para que eu pudesse dedicar a atenção necessária à conclusão desta dissertação. Sou profundamente grato pela confiança depositada em mim e pelas oportunidades concedidas ao longo dessa trajetória.

Aos meus queridos amigos de trabalho, Karla Gualti, Josy Botinelly, Maria Cruz e Yan Carvalho, agradeço pela amizade, pelo companheirismo e pelo apoio constante ao longo desta jornada. As palavras de incentivo, a compreensão nos momentos mais desafiadores e a convivência diária tornaram esse caminho mais leve e especial. Levo comigo a certeza de que esta conquista também foi fortalecida pela presença e pelo carinho de vocês. Minha eterna gratidão.

Aos meus grandes amigos Alan Cezar Monteiro Correa e Yan Carvalho, minha sincera gratidão pela amizade verdadeira, pela presença nos momentos mais importantes desta trajetória, especialmente na qualificação e na defesa desta dissertação, e pelo apoio incondicional ao longo de todo esse percurso.

Aos meus amigos Paulo Wallace, Hugo Motta Nogueira e Marcos Santarita, expresso minha sincera gratidão pelo apoio, incentivo e amizade ao longo de toda esta caminhada. Vocês estiveram presentes desde a preparação para o ingresso no mestrado, compartilhando comigo as expectativas, os desafios e as conquistas, inclusive no inesquecível dia em que recebi a notícia da minha aprovação.

Ao meu grande amigo Alísio Cláudio Barbosa Ribeiro e à sua esposa, Jacy Ribeiro, bem como ao meu querido amigo Jorge Jatahy e à sua esposa, Jalila Fraxe, expresso minha

profunda gratidão pela amizade sincera, pelo carinho e pelo apoio constante ao longo de tantos anos.

Aos meus queridos vizinhos e amigos Jean Savino, Kelen Santos, Wanderson Fonseca e Ana Claudia, bem como ao meu amigo James Belchior, expresso minha sincera gratidão pela amizade, pela presença constante e pela torcida ao longo de toda esta jornada.

À querida Miscilane Gomes, amiga tão especial da minha mãe e uma verdadeira tia de coração para mim, expresso minha profunda gratidão pelo carinho e torcida de sempre. Estendo meu agradecimento aos queridos Vitória Pimentel e Victor Pimentel, por todo o carinho, amizade e torcida durante esta caminhada.

Aos queridos Jefferson Carlos, Maurício Itikawa, Marisa Feitosa e Andrea Aranha, amigos da minha mãe e também meus amigos de longa data, expresso minha sincera gratidão pelo carinho, pela amizade, presença pela constante torcida ao longo da minha trajetória.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, fizeram parte desta caminhada e contribuíram para que este sonho se tornasse realidade. Aos familiares, professores, colegas, amigos e a todas as pessoas que acreditaram em mim, ofereceram uma palavra de incentivo, compartilharam momentos de alegria, compreenderam minhas ausências ou simplesmente estiveram presentes, o meu mais sincero obrigado.

Esta dissertação representa muito mais do que a conclusão de um mestrado; ela simboliza uma trajetória construída com fé e dedicação. Tenho a convicção de que nenhuma grande conquista é alcançada sozinho, e levo comigo a gratidão por cada gesto de incentivo, confiança e carinho recebido ao longo desse caminho. Que esta seja apenas mais uma etapa de uma caminhada que continuará sendo guiada por Deus e compartilhada com pessoas tão especiais quanto aquelas que tive o privilégio de encontrar ao longo da vida.

RESUMO

A presente dissertação analisou a inserção dos carros elétricos no contexto jurídico e ambiental brasileiro, com o objetivo de verificar em que medida a eletrificação veicular contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, em comparação com veículos a combustão, bem como examinou o papel da tributação, especialmente do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), como instrumento de indução de políticas públicas ambientais. Adotou-se metodologia qualitativa, com base no método dedutivo, mediante pesquisa bibliográfica e documental, envolvendo a análise do arcabouço constitucional, infraconstitucional e internacional relacionado à proteção ambiental, às mudanças climáticas e à mobilidade sustentável, além da revisão de estudos técnicos acerca das emissões no ciclo de vida dos veículos. Os resultados indicaram que a eletrificação veicular, no contexto brasileiro, apresenta potencial relevante de redução de emissões, especialmente em razão da matriz elétrica predominantemente renovável do país, embora não se configure como solução isolada para os desafios ambientais do setor de transportes. Verificou-se, ainda, que os Estados vêm utilizando o IPVA em sua dimensão extrafiscal, por meio de isenções e alíquotas reduzidas, como mecanismo de incentivo à adoção de veículos elétricos, evidenciando a compatibilidade entre tributação e proteção ambiental, em consonância com o art. 225 da Constituição Federal e com o princípio da preservação do meio ambiente no âmbito do Sistema Tributário Nacional. Contudo, constatou-se que tais incentivos, embora relevantes, não são suficientes, isoladamente, para promover a massificação da eletromobilidade, sendo dependentes de fatores estruturais, econômicos e tecnológicos, como custo dos veículos, infraestrutura de recarga, desenvolvimento industrial e os desafios relacionados às baterias, especialmente no que se refere à sua produção, durabilidade e descarte. Concluiu-se que a eletrificação veicular constitui instrumento relevante na mitigação das mudanças climáticas, desde que integrada a um conjunto mais amplo de políticas públicas, devendo-se considerar, ainda, os efeitos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida dessa tecnologia.

Palavras-chave: Direito ambiental; Emissões de gases de efeito estufa; Veículos elétricos; Potencial relevante de redução; Extrafiscalidade do IPVA.

ABSTRACT

This dissertation analyzed the integration of electric cars within the Brazilian legal and environmental context, aiming to verify the extent to which vehicle electrification contributes to the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions in Brazil, compared to combustion engine vehicles, as well as examining the role of taxation, especially the Vehicle Property Tax (IPVA), as an instrument for inducing environmental public policies. A qualitative methodology was adopted, based on the deductive method, through bibliographic and documentary research, involving the analysis of the constitutional, infraconstitutional, and international framework related to environmental protection, climate change, and sustainable mobility, in addition to a review of technical studies on emissions in the life cycle of vehicles. The results indicated that vehicle electrification, in the Brazilian context, presents significant potential for emission reduction, especially due to the country's predominantly renewable electricity matrix, although it does not constitute an isolated solution to the environmental challenges of the transportation sector. It was also found that states have been using the IPVA (Vehicle Property Tax) in its extra-fiscal dimension, through exemptions and reduced rates, as a mechanism to encourage the adoption of electric vehicles, demonstrating the compatibility between taxation and environmental protection, in accordance with Article 225 of the Federal Constitution and the principle of environmental preservation within the National Tax System. However, it was found that such incentives, although relevant, are not sufficient, in isolation, to promote the mass adoption of electromobility, being dependent on structural, economic and technological factors, such as the cost of vehicles, charging infrastructure, industrial development and the challenges related to batteries, especially regarding their production, durability and disposal. It is concluded that vehicle electrification constitutes a relevant instrument in mitigating climate change, provided it is integrated into a broader set of public policies, and the environmental effects throughout the entire life cycle of this technology should also be considered.

Keywords: Environmental law; Greenhouse gas emissions; Electric vehicles; Significant potential for reduction; Extra-fiscality of the IPVA (Vehicle Property Tax).

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Comparação entre veículos a combustão interna e veículos elétricos	67
Tabela 2 – Estados que concederam isenção total para veículos elétricos	76
Tabela 3 – Estados que concederam alíquotas reduzidas para veículos elétricos	79

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
CAPÍTULO 1 – DIREITO AMBIENTAL, SUSTENTABILIDADE E GOVERNANÇA CLIMÁTICA: BASE NORMATIVA E CONCEITUAL PARA A ANÁLISE DA ELETRIFICAÇÃO VEICULAR NO BRASIL	14
1.1 Construção histórica do direito ambiental internacional e os marcos da sustentabilidade	14
1.2 Evolução e constitucionalização da tutela ambiental no Brasil: fundamentos e instrumentos infraconstitucionais de política climática	26
1.3 A evolução da governança ambiental global e os marcos internacionais de mitigação das mudanças climáticas	36
CAPÍTULO 2 – TRANSPORTE INDIVIDUAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: DA DEPENDÊNCIA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS À ELETRIFICAÇÃO VEICULAR	46
2.1 Automobilismo e consolidação do transporte individual no Brasil: formação da cultura do automóvel e implicações ambientais	46
2.2 Veículos elétricos: fundamentos, evolução histórica e papel no enfrentamento das mudanças climáticas	55
2.3 Eletrificação veicular no contexto brasileiro: potencial de redução de emissões, limites e transição energética	66
CAPÍTULO 3 – EXTRAFISCALIDADE DO IPVA E ELETROMOBILIDADE: ENTRE O INCENTIVO TRIBUTÁRIO E OS LIMITES DA (IN)VIABILIDADE PRÁTICA NO CONTEXTO BRASILEIRO	75
3.1 Competência tributária e extrafiscalidade do IPVA no incentivo à adoção de veículos elétricos em contexto climático	75
3.2 Mapeamento comparado dos regimes estaduais: estrutura do IPVA aplicado aos veículos elétricos	80
3.3 Limites à efetividade da eletromobilidade: análise da (in)viabilidade prática no contexto brasileiro	87
CONCLUSÃO	104
REFERÊNCIAS.....	107

INTRODUÇÃO

Já se tornou parte do cotidiano observar, nas ruas brasileiras, a presença crescente de veículos elétricos. Em estacionamentos de shoppings, supermercados, trabalho, casas condomínios, tornam-se visíveis espaços reservados para carregamento. Em avenidas e rodovias, marcas antes pouco conhecidas no cenário nacional, como BYD, GWM, dentre outras, passam a conviver ao lado de veículos tradicionais movidos a combustíveis fósseis.

A eletromobilidade, que durante anos pareceu associada apenas a experiências distantes ou a países desenvolvidos, encontra hoje espaço concreto no ambiente urbano brasileiro e começa a integrar as escolhas de consumo, mobilidade e inovação tecnológica.

Esse fenômeno está diretamente associado ao agravamento das mudanças climáticas e à necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Nesse contexto, a proteção ao meio ambiente assume posição central no ordenamento jurídico brasileiro, sendo consagrada no art. 225 da Constituição Federal de 1988 como direito fundamental de todos e dever do Poder Público e da coletividade.

Paralelamente, o Brasil também se insere em um cenário internacional de compromissos voltados à mitigação das mudanças climáticas, destacando-se instrumentos como o Acordo de Paris e a Agenda 2030, com seus respectivos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que reforçam a necessidade de adoção de medidas voltadas à redução das emissões e à promoção de modelos sustentáveis de desenvolvimento.

Nesse cenário, o setor de transportes desempenha papel relevante, razão pela qual a eletrificação veicular vem sendo frequentemente apresentada como alternativa ambientalmente mais adequada e alinhada aos compromissos assumidos pelo Brasil em âmbito nacional e internacional. Entretanto, a difusão dessa narrativa nem sempre vem acompanhada de reflexão crítica sobre seus fundamentos, seus limites e suas implicações jurídicas.

A presente dissertação parte justamente dessa inquietação, pretende-se compreender o papel que a eletrificação pode desempenhar na mitigação de emissões no contexto brasileiro, ao mesmo tempo em que examina a atuação do Estado por meio de incentivos tributários,

especialmente aqueles relacionados ao IPVA. Busca-se investigar se tais incentivos se justificam à luz da extrafiscalidade ambiental e se apresentam coerência com as diretrizes constitucionais e com os objetivos de enfrentamento das mudanças climáticas, avaliando as potencialidades e as limitações da eletrificação sem aderir a visões reducionistas ou meramente entusiastas.

Dessa forma, a problemática que orienta a presente pesquisa pode ser formulada nos seguintes termos: em que medida a eletrificação veicular contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, em comparação com veículos a combustão, à luz do dever de proteção ambiental consagrado no art. 225 da Constituição Federal, dos compromissos assumidos pelo país no âmbito da Agenda 2030 e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), e qual é o papel da tributação, em sua dimensão extrafiscal, especialmente do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), como instrumento de incentivo à adoção de tecnologias menos poluentes?

A partir dessa problemática, a presente dissertação tem como objetivo geral analisar em que medida a eletrificação veicular contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, em comparação com veículos a combustão, bem como examinar o papel dos incentivos tributários estaduais, especialmente o IPVA, como instrumento de indução dessa estratégia.

Para o alcance desse objetivo, estabelecem-se como objetivos específicos: contextualizar as mudanças climáticas e o setor de transportes, evidenciando a relevância das emissões de GEE e o surgimento da eletrificação veicular como estratégia de mitigação; sistematizar o marco jurídico-ambiental aplicável à eletrificação veicular no Brasil, com destaque para o art. 225 da Constituição Federal e para as políticas públicas de enfrentamento das mudanças climáticas; comparar a eletrificação veicular e os veículos a combustão quanto ao potencial de redução de emissões de GEE no contexto brasileiro, com base em estudos técnicos, relatórios e literatura especializada; mapear e analisar os incentivos tributários estaduais, em especial os regimes de IPVA voltados aos veículos eletrificados, discutindo seu papel como instrumento de indução de políticas ambientais e climáticas, bem como examinar os limites à efetividade da eletromobilidade no contexto brasileiro, considerando condicionantes de natureza econômica, tecnológica, estrutural e ambiental.

Como hipóteses de pesquisa, parte-se da premissa de que a eletrificação veicular, no Brasil, tende a contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), quando comparada aos veículos a combustão. Ademais, considera-se que os Estados brasileiros vêm utilizando o IPVA como instrumento de extrafiscalidade ambiental, mediante a concessão de incentivos tributários a veículos elétricos, buscando induzir sua adoção em coerência com o dever constitucional de proteção ao meio ambiente.

O tema revela-se pertinente diante do discurso crescente que associa o carro elétrico a uma solução ambiental quase automática, como se a simples substituição tecnológica bastasse para assegurar sustentabilidade e compatibilidade climática. Analisar o tema a partir do Direito Ambiental permite deslocar o foco do entusiasmo tecnológico para uma abordagem problematizadora, que considera as relações entre políticas públicas, instrumentos econômicos, normas jurídicas e compromissos internacionais.

Cumprе explicitar o recorte material adotado na presente pesquisa. Embora a temática da eletromobilidade envolva diferentes modalidades de transporte, o estudo concentra-se essencialmente nos veículos automotores leves de uso individual, com especial atenção aos veículos elétricos a bateria (*Battery Electric Vehicles – BEV*), por representarem o modelo mais difundido e diretamente associado às políticas de incentivo no contexto brasileiro. Tal delimitação permite uma análise mais precisa dos efeitos ambientais, das estratégias regulatórias e dos instrumentos tributários voltados à promoção da mobilidade sustentável.

Ademais, a contribuição original desta dissertação consiste em oferecer uma análise jurídica integrada da eletrificação veicular no Brasil, articulando, de forma crítica, os planos ambiental, constitucional e tributário. Diferentemente de abordagens predominantemente técnicas ou setoriais, o estudo busca demonstrar que a adoção de veículos elétricos, embora potencialmente relevante para a mitigação das mudanças climáticas, não se configura como solução automática, devendo ser examinada à luz de seus limites estruturais, econômicos e ambientais, bem como da coerência dos incentivos públicos, especialmente tributários, com os princípios constitucionais de proteção ao meio ambiente.

Metodologicamente, a pesquisa adota abordagem qualitativa e fundamenta-se no método dedutivo, com emprego de pesquisa bibliográfica e documental. No plano teórico, a presente dissertação estrutura-se a partir de uma matriz de amarração que articula diferentes

referenciais, configurando uma moldura analítica unificada, construída de forma progressiva ao longo dos capítulos e subitens.

No primeiro capítulo, realiza-se a análise jurídico-normativa do arcabouço constitucional, infraconstitucional e regulatório aplicável ao meio ambiente e às mudanças climáticas, em diálogo constante com artigos científicos e literatura especializada, nacionais e internacionais.

No item 1.1, examina-se a construção histórica do Direito Ambiental Internacional e os marcos da sustentabilidade, analisando a evolução do tema desde o período anterior à Conferência de Estocolmo, passando pelo Relatório Brundtland até a consolidação dos principais instrumentos internacionais de proteção ambiental. Esses referenciais fornecem a base normativa e ética para a compatibilização entre crescimento econômico, inovação tecnológica e proteção do meio ambiente, em diálogo com doutrinas como Édis Milaré, bem como com contribuições da literatura científica nacional a exemplo de Valerio de Oliveira Mazzuoli Teixeira e Gustavo de Faria Moreira e internacional, como Sneddon e Jutta Brunnée, dentre outros autores que analisam a evolução e a estrutura do Direito Ambiental Internacional.

Na sequência, o item 1.2 volta-se à evolução e à constitucionalização da tutela ambiental no Brasil, com ênfase em seus fundamentos e nos instrumentos infraconstitucionais de política climática. Analisa-se a consolidação do Direito Ambiental no ordenamento jurídico brasileiro, especialmente a partir do reconhecimento do meio ambiente como direito fundamental no art. 225 da Constituição Federal, com base na doutrina de José Afonso da Silva, Celso Antônio Pacheco Fiorillo, dentre outros, evidenciando a natureza intergeracional da proteção ambiental.

Por sua vez, o item 1.3 aborda a governança climática global sob a perspectiva dos instrumentos contemporâneos de regulação internacional, com destaque para o Protocolo de Kyoto, o Acordo de Paris e a Agenda 2030, com seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em diálogo com a literatura científica nacional e internacional, a exemplo de Bodansky e Brunnée, bem como com relatórios de organismos como o IPCC.

Superada a base teórica e normativa, o segundo capítulo desloca a análise para o setor de transportes, examinando a consolidação do transporte individual motorizado no Brasil, a

dependência de combustíveis fósseis e a emergência da eletrificação veicular como alternativa no contexto das mudanças climáticas, trazendo o contexto histórico dos veículos elétricos e sua comparação quanto ao potencial de redução de emissões.

No item 2.1, examina-se a consolidação do transporte individual motorizado e suas implicações ambientais, em diálogo com a literatura sobre mobilidade urbana e dependência de combustíveis fósseis, incluindo autores como Márcio Silveira Nascimento, Pedro dos Santos Pedreti, dentre outros.

Na sequência, o item 2.2 dedica-se à análise dos veículos elétricos, abordando seus fundamentos tecnológicos, evolução histórica e papel no enfrentamento das mudanças climáticas, com apoio em estudos técnicos e relatórios institucionais, como os da Agência Internacional de Energia (IEA), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), além de artigos científicos nacionais e internacionais.

Já o item 2.3 concentra-se na eletrificação veicular no contexto brasileiro, com ênfase na comparação entre veículos elétricos e veículos a combustão quanto ao potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa, com base em estudos técnicos e na literatura científica especializada, incluindo contribuições como a de André Vitor dos Santos Silva, que estuda essa comparação.

Por fim, o terceiro capítulo analisa o papel da tributação na indução de comportamentos sustentáveis, abrangendo não apenas a utilização do IPVA em sua dimensão extrafiscal como também os limites à efetividade da eletromobilidade no contexto brasileiro.

No item 3.1, examina-se a competência tributária e a função extrafiscal do IPVA, à luz de autores como Hugo de Brito Machado, Leandro Paulsen, dentre outros, bem como de estudos como os de Jordana Viana Payão e Maria de Fátima Ribeiro, evidenciando sua utilização como instrumento de indução de comportamentos ambientalmente desejáveis.

No item 3.2, realiza-se o mapeamento comparado dos regimes estaduais de incentivo à eletromobilidade, a partir da análise de legislações estaduais que preveem isenção ou redução de alíquotas, permitindo a comparação entre diferentes modelos adotados pelos entes federativos.

Por fim, o item 3.3 examina os limites à efetividade da eletromobilidade, considerando condicionantes de natureza econômica, tecnológica e ambiental, com base em estudos técnicos, como o *Global EV Outlook* da *International Energy Agency* (IEA), e em contribuições da literatura científica nacional e internacional, incluindo autores como Igor Rodrigues Arangues e Michael Westbrook.

Cumprе destacar que os autores mencionados constituem apenas parte do referencial teórico mobilizado, o qual se amplia ao longo da dissertação com outras contribuições doutrinárias e técnicas pertinentes ao tema. Ademais, a seleção das fontes bibliográficas e documentais observou critérios de pertinência temática, atualidade e relevância acadêmica, priorizando estudos técnicos, relatórios institucionais e produções científicas, nacionais e internacionais, diretamente relacionados à eletrificação veicular, às mudanças climáticas e à tributação ambiental. O recorte temporal da pesquisa concentrou-se, predominantemente, nas últimas décadas, com ênfase em produções recentes, sem prejuízo da incorporação de marcos teóricos e normativos clássicos indispensáveis à adequada compreensão do tema.

Desse modo, a investigação que se desenvolve ao longo desta dissertação procura contribuir para o debate contemporâneo sobre mobilidade sustentável no Brasil, oferecendo uma análise jurídica crítica e fundamentada acerca da eletrificação veicular. Ao examinar simultaneamente as dimensões ambiental, normativa e tributária, o estudo busca esclarecer em que medida essa tecnologia pode ser instrumento de mitigação das mudanças climáticas e quais limites precisam ser reconhecidos para que sua adoção ocorra de forma responsável e alinhada ao texto constitucional. Trata-se, portanto, de um esforço acadêmico voltado não apenas à compreensão teórica do tema, mas também ao aprimoramento das políticas públicas voltadas à proteção do meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável.

CAPÍTULO 1 – DIREITO AMBIENTAL, SUSTENTABILIDADE E GOVERNANÇA CLIMÁTICA: BASES NORMATIVAS INTERNACIONAIS E NACIONAIS.

A presente dissertação, intitulada Tecnologia e Sustentabilidade: a inserção dos carros elétricos no contexto jurídico e ambiental brasileiro, parte da premissa de que a transição para modelos de mobilidade de baixa emissão somente pode ser compreendida à luz da evolução histórica, normativa e institucional do Direito Ambiental e dos instrumentos de mudanças climáticas.

Assim, o presente capítulo tem por finalidade apresentar os fundamentos teóricos e jurídicos que sustentam o debate contemporâneo sobre sustentabilidade. Inicialmente, examina-se a construção histórica do Direito Ambiental Internacional e os marcos da sustentabilidade, desde Estocolmo até a ECO-92, evidenciando como se consolidou o conceito de desenvolvimento sustentável.

Em seguida, analisa-se o processo de constitucionalização da tutela ambiental no Brasil, destacando também, os principais instrumentos infraconstitucionais voltados à proteção do clima. Por fim, aborda-se a evolução da governança ambiental global, com ênfase nos tratados, políticas e organismos internacionais que estruturam a resposta coletiva às mudanças climáticas.

Dessa forma, o capítulo estabelece a base conceitual e normativa necessária para compreender, nos capítulos seguintes, a relação entre inovação tecnológica, políticas públicas e a inserção dos carros elétricos como alternativa sustentável (ou não) no cenário brasileiro.

1.1 CONSTRUÇÃO HISTÓRICA DO DIREITO AMBIENTAL INTERNACIONAL E OS MARCOS DA SUSTENTABILIDADE.

Desde os primórdios, o ser humano manteve uma relação estreita com a natureza. Inicialmente, sobreviveu como caçador-coletor, alimentando-se de frutos, raízes, caça e pesca, além de utilizar abrigos naturais para proteção. Com o tempo, passou a cultivar a terra em uma economia de subsistência e, posteriormente, a produzir excedentes destinados à troca com outros povos, o que favoreceu o surgimento e a consolidação das primeiras Cidades-Estados (Dellagnezze, 2022). Desse modo, o homem não agredia a natureza indiscriminadamente, retirava dela o necessário para o seu sustento, tendo sempre essa relação estreita com o meio ambiente.

Essa dependência da terra e a relação de subsistência com a natureza continuaram a ser à base da sociedade durante o período do feudalismo. A base econômica desse sistema estava diretamente ligada à terra, com a produção agrícola voltada, em grande medida, para a subsistência. As aldeias feudais mantinham-se quase autossuficientes, e essa organização limitava a exploração intensiva dos recursos naturais, pois o cultivo e a criação de animais atendiam prioritariamente às necessidades locais (Miranda, 2012).

Posteriormente, no século XVIII, na Inglaterra, foi instaurada a revolução industrial, que marcou a transição da agricultura, do artesanato, predominante na Idade Média, para a produção mecanizada. Na Idade Moderna, a ascensão da burguesia industrial, motivada pela busca de maior lucro, redução de custos e aumento da produtividade, impulsionou mudanças profundas nos sistemas de produção. Esse processo foi acompanhado pelo crescimento populacional, que ampliou o consumo de bens e mercadorias, reforçando a necessidade de intensificar a atividade industrial (Dellagnezze, 2022).

Assim, com a eclosão da Revolução Industrial, essa relação equilibrada entre ser humano e natureza foi profundamente alterada. Enquanto o feudalismo se baseava em uma economia agrária de subsistência, relativamente ajustada aos ciclos naturais, a Revolução Industrial instaurou a exploração intensiva dos recursos naturais, impulsionada pelo uso do carvão mineral e, mais tarde, de outros combustíveis fósseis (Miranda, 2012).

Posto isso, notável que houve uma intensificação dos recursos naturais, principalmente após a Revolução Industrial, na qual trouxe consigo um impacto ambiental sem precedentes: poluição do ar e da água, degradação do solo, perda da biodiversidade e comprometimento da qualidade de vida humana.

Nesse sentido, Souza e Júnior (2024, p. 176) lecionam que:

A variação do clima global é processo que se encontra em constante transformação e, em decorrência da elevação da temperatura desde a Era Glacial, possibilitou-se o surgimento da vida humana na Terra. Ao avaliar a linha cronológica, observa-se que fatores naturais (radiação solar, vulcanismo, raios cósmicos) foram, por grande extensão de tempo, os (únicos) responsáveis pelo fenômeno de aquecimento global. Todavia, desde a Revolução Industrial (séculos XVIII e XIX), verifica-se que o aumento nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) decorre majoritariamente de ações antrópicas, intensificando o efeito estufa, consoante estudos dos principais organismos internacionais sobre o processo, como o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – PIMC.

Ademais, outro fator marcante foi o século XX, marcado pelas duas Guerras Mundiais¹ (1914-1918 e 1939-1945), que representou um período de intensos avanços científicos e tecnológicos, inéditos até então na história da humanidade. Contudo, esse progresso esteve acompanhado de graves consequências, pois os conflitos armados deixaram não apenas marcas sociais e políticas profundas, mas também impactos significativos sobre o meio ambiente, seja pela destruição de ecossistemas, pelo uso de armamentos de alto poder destrutivo ou pela exploração intensiva de recursos naturais para sustentar o esforço de guerra (Santos; Azambuja; Silva; 2024).

Com isso, ao longo das gerações, as atividades antrópicas desencadearam diversos impactos que culminaram em mutações no planeta terra e, conseqüentemente, na degradação da qualidade ou na diminuição quantitativa da disponibilidade dos recursos ambientais, seja pelo viés da contaminação, seja pela lógica do desperdício, como também pelas atrocidades das guerras (Mazuoli e Teixeira, 2013).

Diante desse cenário, a preocupação ambiental ganhou espaço no debate internacional, consolidou-se a percepção de que os recursos naturais como a água, as florestas, o ar atmosférico e até mesmo a camada de ozônio não são infinitos e, portanto, necessitam de proteção e gestão responsável.

Nesse contexto, entre os dias 5 e 16 de junho de 1972, foi realizada em Estocolmo, na Suécia, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, conhecida como Conferência de Estocolmo, considerada o primeiro grande marco da governança ambiental global, organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU), esse encontro representou um marco histórico ao impulsionar a construção do Direito Ambiental em escala global, ao reconhecer a necessidade da preservação ambiental.

Mazzuoli e Teixeira (2013, p. 200) comentam que:

¹ Na Primeira Guerra, o uso de armas químicas, como gás mostarda e cloro, contaminou solos e cursos d'água, afetando ecossistemas inteiros e a saúde das populações locais. Já na Segunda Guerra, a exploração intensiva de recursos naturais para sustentar o esforço bélico acelerou a degradação ambiental, enquanto o bombardeio de cidades e áreas industriais liberou enormes quantidades de poluentes na atmosfera. O ápice desse impacto ocorreu com as bombas nucleares lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki, em 1945, que deixaram não apenas destruição imediata, mas também radiação persistente no solo, na água e no ar, com consequências ambientais e humanas sentidas por décadas. Esses episódios evidenciam que o progresso científico, quando voltado para a guerra, pode gerar danos irreversíveis ao equilíbrio ecológico e à própria sobrevivência humana (Santos; Azambuja; Silva, 2024).

O homem do pós-guerra, no entanto, não tardou a perceber que a dignidade humana estava não só ameaçada pela possibilidade de guerras apocalípticas, mas também pela deterioração que o próprio homem vinha impondo ao meio ambiente. Os perversos efeitos do vazamento das indústrias químicas, a poluição transfronteiriça em rios internacionais, os acidentes com os superpetroleiros, os riscos de catástrofes provenientes das usinas nucleares, a independência dos países africanos nos anos 1960 e a inserção de novos atores na geopolítica mundial complementaram o mosaico de fatores que aceleraram os debates e o nascimento do direito internacional ambiental em 1972, com a Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano.

Posto isso, esse encontro internacional consolidou a ideia de que a proteção ao meio ambiente é responsabilidade comum da humanidade e deve estar integrada ao desenvolvimento econômico e social, lançando as bases para o Direito Ambiental contemporâneo.

Insta salientar que, na esfera internacional, já existiam algumas convenções anteriores, como a Convenção de Genebra de 1.958 sobre o alto mar, dentre outras, todavia, de acordo com Silva (2017, p. 36): “Embora alguns atos internacionais a respeito tenham sido assinados com anterioridade, a Conferência de 1972 é considerada o principal ponto de partida do movimento ecológico internacional”.

Como resultado, foi aprovada a Declaração de Estocolmo, composta por 26 princípios², dentre eles, cabe ressaltar o de nº 1, que consagrar a ideia de que o ser humano possui o direito fundamental de viver com liberdade, igualdade e dignidade, em um ambiente saudável que assegure seu bem-estar. Ou seja, ao mesmo tempo, carrega a responsabilidade de

² Primeiro deles reconhece o direito do ser humano a viver com dignidade em um ambiente saudável, impondo também o dever de protegê-lo para as gerações futuras. Em seguida, afirma-se a necessidade de uso racional dos recursos naturais, renováveis e não renováveis, da preservação da capacidade produtiva da Terra e da conservação da vida silvestre e dos ecossistemas. Destaca-se, ainda, a importância do controle da poluição, especialmente dos mares, e a integração das políticas ambientais ao desenvolvimento econômico e social. A Declaração ressalta a cooperação internacional como instrumento essencial para prevenir e resolver problemas ambientais, defendendo a criação de normas comuns, o planejamento populacional adequado e a promoção da educação ambiental como forma de conscientização. Também enfatiza a relevância da pesquisa científica e do uso de tecnologias adequadas, sempre considerando o impacto de longo prazo das atividades humanas sobre o planeta. No campo da cooperação entre Estados, o documento previu o compartilhamento de informações e tecnologias ambientais, a troca livre de conhecimentos e a necessidade de apoiar países em desenvolvimento para que pudessem compatibilizar crescimento econômico e preservação ambiental. Outro ponto crucial foi o reconhecimento da soberania dos Estados para explorar seus recursos, desde que não provoquem danos ambientais a outros territórios, estabelecendo a responsabilidade internacional em caso de prejuízos transfronteiriços. A Declaração também determinou que as diferenças de contextos sociais e econômicos, sobretudo dos países em desenvolvimento, devem ser consideradas na formulação de políticas ambientais. Reforçou-se, por fim, que a cooperação internacional e a atuação coordenada das organizações multilaterais são indispensáveis à proteção ambiental, e que não haverá um meio ambiente equilibrado sem o desarmamento e a paz mundial, já que os conflitos armados representam ameaça direta à qualidade de vida e ao equilíbrio ecológico (Estocolmo, 1.972).

proteger e preservar esse meio ambiente, garantindo sua qualidade para as atuais e futuras gerações (Estocolmo, 1.972).

Ocorre que não foram verificados resultados concretos na aplicação dos princípios por parte da maioria dos países, devido ao fato de serem considerados *soft law*, normas não severas, nos dizeres de Silva (2017.p. 334) “Se exorta os países a proceder desta ou daquela maneira, evitando, contudo, a adoção de normas rígidas.”.

Mazuoli e Teixeira (2013, p. 202) também lecionam que:

Outro desafio à nova engenharia reside no fato de esta ser estruturada por normas de *soft law*. Apesar de indicarem obrigações morais dos Estados, as normas de *soft law* não possuem status de norma jurídica e, por isso, não tem força vinculante. Assim, os Estados que vierem a descumprir suas “obrigações morais” relacionadas à proteção ao meio ambiente, não podem sofrer sanções da comunidade internacional.

Dessa forma, embora tenha representado um marco histórico, sua efetividade foi limitada pelo caráter não vinculante das normas aprovadas. A ausência de mecanismos jurídicos obrigatórios reduziu o alcance prático dos princípios proclamados, mas, por outro lado, serviu como fundamento ético e político essencial para a construção de instrumentos internacionais mais robustos.

Além do mais, ao reconhecer que a dignidade humana estava ameaçada não apenas pelas guerras, mas também pela deterioração ambiental causada pela industrialização, lançou as bases para que os Estados passassem a discutir alternativas menos poluentes em setores estratégicos, o encontro consolidou a noção de que seria imprescindível substituir progressivamente os combustíveis fósseis por fontes energéticas limpas e renováveis.

Desse modo, a Conferência de Estocolmo deve ser compreendida não apenas pelo alcance prático limitado de seus princípios, em razão de sua natureza de *soft law*, mas, sobretudo, pelo papel que desempenhou como ponto de partida de um processo normativo global.

Nesse sentido, assinala Brunné (2009, p.19):

The Stockholm Declaration did mark an important moment in the evolution of international environmental law. In my view, its significance should not be measured against the degree to which its principles have, or have not, become binding as customary international law. Rather, the declaration should be appreciated as

*the beginning of a normative process*³.

Sendo assim, ainda que seus efeitos jurídicos imediatos tenham sido restritos, Estocolmo consolidou-se como o ponto de partida de uma nova consciência ambiental global, fixando princípios éticos universais que até hoje orientam a construção do Direito Ambiental Internacional e a responsabilidade comum da humanidade na preservação do meio ambiente.

Nesse cenário de amadurecimento, uma década após Estocolmo, em 1.983, as Nações Unidas instituíram, a Comissão Geral do Meio Ambiente⁴ presidida pela primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, cujo objetivo, de acordo com Silva, (2017, p.37) era “encontrar um equilíbrio entre crescimento econômico, social e ambiental”.

O trabalho dessa comissão resultou, em 20 de março de 1987, no Relatório *Our Common Future*, conhecido no Brasil como Nosso Futuro Comum ou Relatório Brundtland, que consolidou o conceito de desenvolvimento sustentável e tornou-se um dos documentos mais influentes do direito ambiental contemporâneo.

Conforme ensinamentos de Silva (2017, p.175):

A Comissão encerrou os seus trabalhos com a entrega de seu relatório, assinado pelo seu presidente, a senhora Gro Harlem Brundtland, em 20 de março de 1987. O relatório Brundtland (publicado no Brasil com o título “Nosso Futuro Comum”) concluiu que “era necessário um novo tipo de desenvolvimento capaz de manter o progresso humano não apenas em alguns lugares e por alguns anos, mas em todo o planeta e até um futuro longínquo”. A fórmula finalmente encontrada foi a tese do desenvolvimento sustentável a servir de formulação da política ambiental não só dos países em desenvolvimento, mas também dos países industrializados.

Ainda segundo Júnior, Cruz e Silva (2023, p.12) “agregou diferentes visões sobre questões ambientais, além de propor o Desenvolvimento Sustentável, capaz de equilibrar as necessidades presentes com as das futuras gerações.”

³ Tradução livre pelo autor “A Declaração de Estocolmo marcou um momento importante na evolução do direito ambiental internacional. Na minha opinião, sua importância não deve ser medida pelo grau em que seus princípios se tornaram, ou não, vinculativos como direito internacional consuetudinário. Em vez disso, a declaração deve ser apreciada como o início de um processo normativo”.

⁴ Silva (2017, p. 56) leciona que: Em 1983, dando prosseguimento aos seus trabalhos, a Assembleia Geral das Nações Unidas criou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento e, dentre outras medidas, incumbiu o secretário-geral da Organização de nomear o futuro presidente da Comissão. Para o posto foi escolhida a senhora Gro Harlem Brundtland, da Noruega, que fora a única estadista no mundo designada para o cargo de primeira-ministra, depois de haver ocupado a pasta do Meio Ambiente. A Comissão era composta de dez membros escolhidos dentre representantes de países desenvolvidos e dez de países em desenvolvimento, além da presidente e do vice-presidente. Dentre os membros cumpre mencionar Paulo Nogueira Neto do Brasil, que teve papel de destaque.

Nota-se, assim, a importância do relatório, que apresentou o conceito de desenvolvimento sustentável como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades” (Nosso futuro comum, 1991).

Portanto, o desenvolvimento sustentável consiste na busca por soluções que respondam às necessidades atuais sem comprometer as oportunidades das gerações futuras, ou seja, mecanismo possível à coexistência entre crescimento econômico e preservação do meio ambiente enquanto fonte de recursos.

Desse modo, o relatório reforçou a percepção de que a continuidade da degradação ambiental representava um risco existencial para a humanidade e que seria imprescindível integrar economia, justiça social e proteção ambiental em uma mesma estratégia global.

Trata-se como destaca Sneddon (2006, p.12), de um divisor de águas no discurso internacional *“The Brundtland Commission’s report marked a watershed moment in international environmental discourse, setting the stage for subsequent debates on the balance between growth, equity, and ecological limits⁵”*.

Além disso, o documento se encarrega também de questões que envolvem temáticas voltadas à produção de energias limpas, crescimento populacional, segurança alimentar, patrimônio genético e outros (Júnior, Cruz e Silva, 2023).

Nesse contexto, ao propor um novo modelo de desenvolvimento baseado em energias limpas e eficiência no uso de recursos, o documento antecipou a relevância de soluções tecnológicas capazes de conciliar crescimento econômico e preservação ambiental.

Posto isso, o Relatório Brundtland representou um marco histórico na consolidação do conceito de desenvolvimento sustentável, ao propor uma nova forma de pensar o progresso humano em harmonia com a preservação ambiental. Sua relevância transcende o contexto da década de 1980, permanecendo atual diante dos desafios contemporâneos, ao indicar que a busca pelo equilíbrio entre crescimento econômico, justiça social e proteção ambiental é condição indispensável para garantir um futuro comum às próximas gerações.

5 Tradução pelo autor: O relatório da Comissão Brundtland marcou um momento decisivo no discurso ambiental internacional, preparando o cenário para debates subsequentes sobre o equilíbrio entre crescimento, equidade e limites ecológicos.

Insta salientar, que o Relatório Brundtland também propôs à Assembleia Geral da ONU a realização de uma nova conferência internacional, que foi aprovada pela ONU em 1.989, por meio da Resolução 44/2286, que de acordo com Silva (2017, p.111): “a resolução 44/228, que foi aprovada por consenso, é um documento longo no qual os objetivos da conferência, os principais tópicos a serem abordados e o próprio funcionamento se acham estabelecidos”.

Sendo assim, o estabelecido na resolução foi concretizado em 1992 no Rio de Janeiro, denominada Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como ECO 92, realizada entre os dias 3 e 14 de junho, contando com a presença de 172 países, incluindo 108 chefes de Estado e de Governo, além de milhares de representantes da sociedade civil e de organizações não governamentais, o que lhe conferiu dimensão sem precedentes.

Segundo Saragoussi e Durigan (2022, p.02):

The first United Nations Conference on Environment and Development (Eco-92) took place in Rio de Janeiro. The event gathered more than 150 countries and is considered a milestone in the history of the fight against climate change, being the first to count with the massive presence of governments, civil society and private initiative in favor of a single interest: to define measures to face the growing problems of greenhouse gas emissions⁷.

A Conferência consolidou a noção de desenvolvimento sustentável, instaurado pelo relatório Brundtland, como paradigma global e estabeleceu compromissos internacionais que moldaram a governança ambiental contemporânea. Como principais resultados, destacam-se a Agenda 21, Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente, Convenção do Clima (Organização das Nações Unidas, 1.992).

A Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, representa um dos mais relevantes instrumentos normativos de caráter não vinculante do Direito Ambiental

⁶ Silva (2017, p.121): A resolução 44/228, que foi aprovada por consenso, é um documento longo no qual os objetivos da conferência, os principais tópicos a serem abordados e o próprio funcionamento se acham estabelecidos. Trata-se de uma conferência das Nações Unidas e na qual o Brasil é apenas um dos participantes, não lhe cabendo nenhuma primazia a não ser que o presidente deverá ser o chefe da delegação do Brasil e que o Brasil figurará dentre os membros do Bureau da Conferência.

⁷ Tradução pelo autor: A primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Eco-92) aconteceu no Rio de Janeiro. O evento reuniu mais de 150 países e é considerado um marco na história do combate às mudanças climáticas, sendo o primeiro a contar com a presença massiva de governos, sociedade civil e iniciativa privada em prol de um único interesse: definir medidas para enfrentar os crescentes problemas de emissões de gases de efeito estufa.

Internacional. Composta por 27 princípios, buscou conciliar a proteção ambiental com a promoção do desenvolvimento econômico, inaugurando uma visão integrada de sustentabilidade (Conferência das Nações unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1.992).

Dentre eles, cabe ressaltar o princípio da precaução (princípio 15), que orienta a adoção de medidas preventivas mesmo diante da incerteza científica, de acordo com o documento:

Com a finalidade de proteger o meio ambiente, os Estados deverão aplicar amplamente o critério de precaução conforme suas capacidades. Quando houver perigo de dano grave ou irreversível, a falta de certeza científica absoluta não deverá ser utilizada como razão para que seja adiada a adoção de medidas eficazes em função dos custos para impedir a degradação ambiental.

Esse dispositivo evidencia que a ação preventiva deve prevalecer sobre a inércia e, no contexto específico do presente trabalho, incide diretamente sobre os riscos advindos da queima de combustíveis fósseis e suas consequências.

Nesse mesmo sentido, Cunha (2015, p. 334) assinala que “o princípio da precaução, foi incorporado como elemento estruturante da tutela ambiental, conferindo suporte à adoção de medidas preventivas mesmo diante da incerteza científica”. Essa perspectiva reforça a busca para se reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes.

Insta mencionar também o da responsabilidade comum, porém diferenciada, que reconhece as diferentes capacidades dos Estados no enfrentamento dos problemas ambientais globais. Além disso, a declaração enfatizou a participação social e o acesso à informação (princípio 10) como condições essenciais para a efetividade da governança ambiental (Conferência das Nações unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1.992).

Nesse sentido, Wirth (1.995, p.600) observa que a Declaração reafirmou princípios de Estocolmo, introduzindo o princípio da precaução e responsabilidade comum, porém diferenciada:

The Rio Declaration on Environment and Development represents both continuity and change: while reaffirming principles from Stockholm, it also introduced innovative norms, such as the precautionary principle and common but

*differentiated responsibilities, which have since shaped international environmental law*⁸.

Embora desprovida de força jurídica obrigatória, sua relevância reside no papel de *soft law*, servindo de marco ético e político que influenciou a elaboração de tratados internacionais posteriores e consolidou a noção de que o desenvolvimento sustentável é um direito e, ao mesmo tempo, um dever da comunidade internacional.

Outro documento de grande relevância foi a Agenda 21, plano de ação abrangente que propôs medidas práticas para governos, empresas e sociedade civil no sentido de implementar políticas sustentáveis, abordando temas como agricultura, energia, resíduos, recursos hídricos e desenvolvimento urbano (Brasil, 2.000).

Cabe ressaltar o capítulo 9, denominado “Proteção da Atmosfera”, que ao tratar da promoção do desenvolvimento sustentável nessa área, estabelece como base de ação:

A energia é essencial para o desenvolvimento social e econômico e para uma melhor qualidade de vida. Boa parte da energia mundial, porém, é hoje produzida e consumida de maneiras que não poderiam ser sustentadas caso a tecnologia permanecesse constante e as quantidades globais aumentassem substancialmente. A necessidade de controlar as emissões atmosféricas de gases que provocam o efeito estufa e de outros gases e substâncias deverá basear-se cada vez mais na eficiência, produção, transmissão, distribuição e consumo da energia, e em uma dependência cada vez maior de sistemas energéticos ambientalmente saudáveis, sobretudo de fontes de energia novas e renováveis.

O capítulo enfatiza ainda a importância de remover barreiras que dificultam a expansão de sistemas energéticos limpos, sobretudo nos países em desenvolvimento, e define como objetivo central reduzir os impactos do setor energético sobre a atmosfera. Para tanto, recomenda a adoção de políticas que estimulem tecnologias menos poluentes e mais eficientes, levando em consideração também a situação particular de países fortemente dependentes da produção e consumo de combustíveis fósseis (Agenda 21, 1992).

Além do mais, Souza e Júnior (2024, p.177) comentam que:

Fora na ECO-92 que houve a consolidação do termo desenvolvimento sustentável, especificamente na Agenda 21, selando o compromisso dos estados membros ao fixar diretrizes principiológicas voltadas a aliar o avanço econômico com a preservação ambiental.

8 Tradução livre pelo autor: A Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento representa tanto continuidade quanto mudança: ao mesmo tempo que reafirma princípios de Estocolmo, também introduz normas inovadoras, como o princípio da precaução e as responsabilidades comuns, porém diferenciadas, que desde então moldaram o direito ambiental internacional.

Nesse cenário, é possível estabelecer uma conexão direta entre as diretrizes da Agenda 21 e a temática abordada nesta dissertação. O Capítulo 9, ao enfatizar a necessidade de transição para sistemas energéticos mais limpos e eficientes, fornece um fundamento normativo e político que respalda a adoção de tecnologias sustentáveis no setor de transportes, um dos principais responsáveis pelas emissões globais de gases de efeito estufa.

Como observa Milaré (2015, p.15):

Ao tratar da proteção da atmosfera, a Agenda 21 inaugura um marco político de incentivo à adoção de tecnologias menos poluentes, ao reconhecer que os padrões vigentes de uso da energia não seriam sustentáveis no longo prazo. Nesse contexto, estabelece diretrizes que orientam a transição para sistemas energéticos ambientalmente saudáveis, com ênfase na eficiência e no uso de fontes renováveis.

Na mesma linha, foi firmada durante a conferência a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), que consolidou o dever global de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Como observa Bodansky (2010, p.5), *‘by some estimates, the carbon dioxide emissions of developing countries will at least equal those of developed countries by the year 2030’*⁹, o que reforça a urgência de mecanismos jurídicos e políticas eficazes de mitigação.

Considerando que o setor de transportes figura entre os maiores emissores de CO₂, essa convenção se tornou um dos principais fundamentos jurídicos e políticos para justificar a transição em direção a veículos de baixa emissão, como os elétricos.

Dessa forma, a ECO-92 representou um marco histórico ao integrar, de maneira definitiva, a questão ambiental às agendas políticas, econômicas e sociais dos Estados. Ao consolidar princípios fundamentais como a precaução, a responsabilidade comum, porém diferenciada, e ao instituir instrumentos como a Agenda 21 e a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima, a conferência estabeleceu as bases normativas e políticas da governança ambiental contemporânea. Tais diretrizes transcendem o contexto da década de 1990, mantendo-se atuais diante dos desafios climáticos globais, como a COP30, realizada em Belém, no ano de 2025, que evidenciou a permanência e a evolução desses debates, ao colocar no centro das discussões temas como a transição energética, a descarbonização da economia.

⁹ Tradução livre pelo autor: Segundo algumas estimativas, as emissões de dióxido de carbono dos países em desenvolvimento serão pelo menos iguais às dos países desenvolvidos até o ano de 2030.

Diante de todo esse percurso histórico, observa-se que a construção do Direito Ambiental Internacional resultou de um processo gradual de conscientização acerca dos limites ecológicos do planeta e da necessidade de compatibilizar crescimento econômico, justiça social e preservação ambiental.

De Estocolmo (1972) ao Relatório Brundtland (1987) e, posteriormente, à ECO-92, consolidou-se a noção de desenvolvimento sustentável como paradigma orientador das políticas ambientais globais, com a crescente institucionalização de princípios, tratados e planos de ação voltados à proteção do clima e dos recursos naturais.

Assim, os marcos internacionais analisados não apenas inauguraram uma nova forma de compreender a relação entre ser humano e natureza, como também abriram caminho para o fortalecimento das políticas climáticas internas.

1.2 – EVOLUÇÃO E CONSTITUCIONALIZAÇÃO DA TUTELA AMBIENTAL NO BRASIL: FUNDAMENTOS E INSTRUMENTOS INFRACONSTITUCIONAIS DE POLÍTICA CLIMÁTICA.

A formação do Direito Ambiental no Brasil reflete um processo histórico de constante amadurecimento normativo e institucional, pois, desde o período colonial, já se observavam normas voltadas ao controle do uso dos recursos naturais, ainda que com finalidades essencialmente econômicas e de interesse da Coroa Portuguesa.

As primeiras ordenações aplicadas ao território, como as Ordenações Afonsinas e, posteriormente, as Ordenações Manuelinas e Filipinas, tinham como base o direito canônico e o direito romano, refletindo a preocupação em resguardar as riquezas florestais, minerais e agrícolas que sustentavam o sistema colonial (Chiarelli, 2022).

Nesse contexto, Barbosa (2022, p.3) contextualiza que:

Na época do descobrimento do Brasil, vigiam as Ordenações Afonsinas (1446-1514), que no seu Livro Quinto, Título Cinquenta e Nove, 7, onde eram tipificados como crimes de Lesa-Majestade, dentro outros, aqueles referentes ao corte de árvores alheias que dão frutos: “[..] os que cortam árvores alheias que dem fruto”. Nas Ordenações Manuelinas, que vigoraram entre 1521 e 1595, havia previsão de proibição de caça de perdizes e lebres, sob pena da perda das armadilhas, além da pena de dois mil réis por cada presa apreendida, no Livro V, Título LXXXI: “Que nom cacem perdizes, nem lebres, nem coelhos com boi, redes nem fio”. Havia, ainda, pena de degredo para aqueles que atearem fogo em pães, vinhas, árvores de

frutos e colmeia, no Livro V, Título LXXXIII: “Da pena que averam os que põem foguos.”. Existia, ainda, previsão, no Livro V, TIT. XCVII, de pena de açoite ou de degredo para aqueles que compravam colmeias para matar as suas abelhas: “Dos que compram colmeias pera matar as abelhas delas”. As Ordenações Filipinas, um compilado de regras ao Código Manuelino, fruto da unificação das coroas portuguesa e espanhola, que se deu no período de 1580 a 1640, com vigência iniciada em 1603, no seu Livro I, que contém a Lei de 15 de outubro de 1827, art. 5º, inciso 12, competia ao juiz de paz: “Vigiar sobre a conservação das matas e florestas públicas, onde as houver, e obstar nas particulares ao corte de madeiras reservadas por lei”

Desse modo, as ordenações portuguesas aplicadas ao Brasil colonial já continham normas voltadas ao controle do uso dos recursos naturais, ainda que orientadas por interesses patrimoniais da Coroa. As Ordenações Afonsinas e Manuelinas previam sanções ao corte de árvores frutíferas, à caça e a práticas que resultassem na destruição de áreas produtivas, enquanto as Ordenações Filipinas consolidaram esse regime ao atribuir às autoridades locais a fiscalização das matas e florestas.

Embora desprovidas de uma concepção ambiental propriamente dita, tais disposições revelam a existência de mecanismos jurídicos embrionários de tutela dos recursos naturais, que constituíram a base histórica para a posterior evolução do Direito Ambiental brasileiro.

Ademais, nesse processo inicial de conformação de um arcabouço normativo voltado ao controle do uso dos recursos naturais no Brasil colonial, a tutela jurídica passou a se manifestar de forma mais específica e direcionada, especialmente em relação às riquezas florestais de maior interesse econômico para a Coroa Portuguesa. A exploração intensiva do pau-brasil, elemento central da economia colonial, evidenciou a necessidade de instrumentos legais capazes de disciplinar sua extração e assegurar o controle estatal sobre essa atividade estratégica (Chiarelli, 2022).

Nesse contexto, destaca-se o Regimento do Pau-Brasil, de 1605, reconhecido como o primeiro diploma normativo de natureza florestal com caráter protetivo no território brasileiro, ao vedar a extração da madeira sem prévia autorização real e estabelecer sanções severas aos infratores. Tal regulamentação, contudo, não se orientava por uma preocupação ambiental propriamente dita, mas pela necessidade de garantir o monopólio da exploração dos recursos naturais pela Coroa (Chiarelli, 2022).

Assim, o Regimento do Pau-Brasil foi considerado a primeira norma protecionista no território brasileiro. Em 1.824, foi outorgada a Constituição Imperial, primeira do Brasil, não contendo qualquer referência direta ao meio ambiente, de forma infraconstitucional, em

1.830, foi instituído o primeiro código criminal, estabelecendo, com relação ao meio ambiente, penas com relação ao corte ilegal de madeira, todavia, com relação a constituição, nada foi mencionado (Brasil, 1.824).

Em 1891, foi promulgada a Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil, a primeira do período republicano, fortemente influenciada pelo modelo liberal norte-americano. No que se refere à temática ambiental, o texto constitucional ainda não tratava diretamente da proteção do meio ambiente, mas estabelecia regras relacionadas à propriedade e ao domínio dos recursos naturais.

O art. 34, inciso 29, atribuía competência privativa ao Congresso Nacional para legislar sobre terras e minas da União, dispositivo posteriormente revogado pela Emenda Constitucional de 1926. A nova redação, inserida no art. 64, passou a dispor que pertencem aos Estados as minas e terras devolutas situadas em seus respectivos territórios, reservando-se à União apenas as áreas indispensáveis à defesa das fronteiras, fortificações, construções militares e ferrovias federais (Brasil, 1.891).

Desse modo, observa-se que, à época, a preocupação constitucional estava centrada na distribuição das competências e na exploração econômica do território nacional, e não propriamente na tutela ambiental, que ainda não figurava como valor jurídico autônomo.

A Constituição de 1.934, com relação a matéria ambiental, estabeleceu, em seu art. 5º, IX, alínea “j” que compete privativamente à união legislar sobre “bens do domínio federal, riquezas do sub-solo, mineração, metallurgia, aguas, energia hydro-electrica, florestas, caça e pesca e a sua exploração (Brasil, 1.934).

Observa-se, portanto, que a Constituição de 1934 centralizou na União a competência legislativa sobre recursos naturais estratégicos, vinculando sua disciplina à exploração econômica e ao interesse nacional. A proteção ambiental, enquanto finalidade jurídica própria, ainda não se encontrava presente, permanecendo a normatização desses bens associada à sua utilização produtiva e ao controle estatal.

A Constituição dos Estados Unidos do Brasil, de 10 de novembro de 1937, outorgada no contexto do Estado Novo, manteve o tratamento dos recursos naturais sob uma lógica centralizadora e eminentemente econômica, sem qualquer menção expressa à proteção do meio ambiente como valor jurídico autônomo. A preocupação constitucional permanecia

vinculada à exploração e ao controle estatal de bens considerados estratégicos ao desenvolvimento nacional.

Nesse sentido, o art. 16, inciso XIV, atribuía competência privativa à União para legislar sobre matérias relacionadas aos recursos naturais, incluindo os bens do domínio federal, minas, metalurgia, águas, energia hidráulica, florestas, caça e pesca, bem como a sua exploração (Brasil, 1.937).

Por sua vez, o art. 18 admitia a atuação legislativa dos Estados de forma subsidiária e condicionada, permitindo-lhes legislar apenas para suprir lacunas da legislação federal ou atender a peculiaridades locais, desde que não afastassem ou reduzissem as exigências estabelecidas pela União. Mesmo nessa hipótese, as matérias abrangidas como riquezas do subsolo, mineração, águas, energia hidrelétrica, florestas, caça e pesca continuavam inseridas em uma perspectiva de exploração econômica e domínio estatal (Brasil, 1.937).

Conclui-se, portanto, que a Constituição de 1937 deu continuidade ao modelo iniciado na Constituição de 1934, no qual os elementos ambientais eram tratados exclusivamente como recursos naturais passíveis de exploração, submetidos à centralização normativa da União.

A Constituição dos Estados Unidos do Brasil, de 18 de setembro de 1946, promulgada no contexto da redemocratização pós-Estado Novo, representou um avanço institucional significativo ao restabelecer garantias fundamentais e o equilíbrio federativo. No entanto, no que se refere à tutela ambiental, o texto constitucional ainda não reconheceu o meio ambiente como um bem jurídico autônomo, permanecendo vinculado à lógica da exploração econômica dos recursos naturais (Santos, 2022).

A disciplina constitucional concentrou-se, sobretudo, na definição de competências legislativas e dominiais. O art. 5º, inciso XV, atribuiu à União a competência para legislar sobre minas, energia, águas, florestas, caça e pesca, bem como sobre a exploração desses recursos, mantendo a centralização normativa já observada nas constituições anteriores. Aos Estados, por sua vez, cabia a atuação suplementar, nos limites da legislação federal (Brasil, 1.946)

Apesar de não inovar substancialmente quanto à proteção ambiental propriamente dita, a Constituição de 1946 teve relevância indireta ao permitir o fortalecimento da legislação infraconstitucional, em especial no campo administrativo e regulatório. Esse ambiente

institucional favoreceu a edição de normas setoriais voltadas à proteção de florestas, recursos hídricos e patrimônio natural, ainda que sob uma perspectiva fragmentada.

Dessa forma, a Constituição de 1946 reafirmou o tratamento dos elementos ambientais como recursos naturais estratégicos, subordinados ao interesse econômico e ao desenvolvimento nacional. A proteção do meio ambiente, enquanto direito fundamental e dever do Estado e da coletividade, ainda não se encontrava constitucionalmente afirmada, permanecendo como um tema disperso no ordenamento jurídico, a ser desenvolvido por legislação ordinária.

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1967, posteriormente substancialmente modificada pela Emenda Constitucional nº 1, de 1969, foi elaborada no contexto do regime militar e manteve uma abordagem instrumental e econômica dos recursos naturais, sem reconhecer o meio ambiente como um direito fundamental autônomo.

No texto constitucional, a temática ambiental permaneceu diluída em dispositivos relativos à ordem econômica, à segurança nacional e à exploração dos recursos naturais. O art. 8º, inciso XVII, atribuía à União competência para legislar sobre águas, energia, minas, florestas, caça e pesca, bem como sobre sua exploração, reforçando o modelo centralizador já observado nas constituições anteriores. Aos Estados restava, novamente, atuação suplementar, condicionada à legislação federal (Brasil, 1.967).

A Emenda Constitucional 1/1.969, em seu artigo 172 estabelece que “A lei regulará, mediante prévio levantamento ecológico, o aproveitamento agrícola de terras sujeitas a intempéries e calamidades. O mau uso da terra impedirá o proprietário de receber incentivos e auxílios do Governo” (Brasil, 1.969).

Isso significa um sinal promissor que antes da Conferência de Estocolmo em 1.972 o poder público procurasse instituir um sistema de avaliação prévia relacionada à ecologia e instituisse como princípio o bom uso da terra, inclusive, proibindo o recebimento de incentivos e auxílios para aqueles que degradassem o solo (Machado, 2012).

Nesse período, apesar de a constituição manter uma abordagem instrumental e econômica dos recursos naturais observa-se um progressivo amadurecimento, impulsionado pela ampliação do debate internacional sobre a tutela do meio ambiente, especialmente a partir de Estocolmo em 1972.

Tal contexto possibilitou a edição de diplomas normativos relevantes, culminando na Lei nº 6.938/1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente, referido diploma representou um marco estruturante ao definir o conceito de meio ambiente, em seu art. 3º como “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas (Brasil, 1.981).

Ou seja, meio ambiente é o conjunto que abriga e rege a vida em todas as suas formas. No mais, a lei também estabelece objetivos, princípios e instrumentos da política ambiental, além de criar o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), antecipando, em nível infraconstitucional, a tutela ambiental que seria posteriormente consagrada (Brasil, 1.981)

Importa aclarar que com os resultados internacionais da Conferência de Estocolmo, como também do Relatório Brundtland, muitas constituições passaram a incorporar, de forma expressa, a proteção ao meio ambiente como valor jurídico fundamental (Mazzoli e Teixeira, 2013).

Machado (2012, p.150) informa que:

Em 1.985, ainda que com um sistema de eleição indireta, é eleito um Presidente civil. Passa-se a preparar uma nova constituição. Reúne-se uma Assembleia de notáveis, onde a questão do meio ambiente é levantada. A sociedade civil, através de suas organizações, faz seminários por todo o país. A sociedade Brasileira de Direito do Meio ambiente no mesmo ano de 1.985 organizou seminários nas principais capitais dos Estados e um curso de Direito ambiental na cidade de Salvador (Estado da Bahia), como comparecimento de uma quinzena de professores estrangeiros, preparando um texto a ser proposto à Assembleia Nacional Constituinte.

Nesse contexto, a Constituição da República Federativa do Brasil, promulgada em 5 de outubro de 1988, promoveu uma ruptura paradigmática ao instituir, pela primeira vez, um capítulo específico dedicado ao meio ambiente, incorporando os ideais de proteção ambiental, responsabilidade intergeracional e sustentabilidade que vinham sendo afirmados no plano internacional desde a década de 1970.

Machado (2012, p.150) leciona que “A Constituição da República Federativa do Brasil de 1.988 é a primeira Constituição brasileira em que a expressão “meio ambiente” é mencionada”.

Tal opção normativa materializou-se no Capítulo VI, no art. 225, ao reconhecer que:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Desse modo, a proteção ambiental foi elevada à condição de direito fundamental de terceira dimensão, consolidando a responsabilidade intergeracional e inaugurando um novo paradigma jurídico-constitucional no ordenamento brasileiro (De-Carvalho, 2025).

Ademais, cabe ressaltar que é um direito de todos ter um meio ambiente ecologicamente equilibrado, cabendo o dever de proteger não só para a presente como também para futura geração. Insta salientar que o Meio ambiente é unitário, indivisível, segundo Melo (2022, p.09) “o meio ambiente, como se sabe, não possui elementos estanques, sendo a sua indivisibilidade pedra angular do Direito Ambiental”.

Nesse sentido, Fiorillo (2025, p.21) comenta que “o conceito de meio ambiente é unitário, na medida em que é regido por inúmeros princípios, diretrizes e objetivos que compõem a Política Nacional do Meio Ambiente”.

Isso quer dizer que não se sustenta uma divisão desse conceito em espécies, segundo Melo (2022) “Não se sustenta, portanto, a divisão do meio ambiente em subespécies ou classes”. Assim, não se obtém espécies ao tratar do conceito de meio ambiente, todavia, pode-se estudar por aspectos, visto que esta palavra significa “olhar, aparência” diferente de classe, que implica uma divisão.

Nesse sentido, Silva (2019, p.20), dispõe:

Daí por que a expressão “meio ambiente” se manifesta mais rica de sentido (como conexão de valores) do que a simples palavra “ambiente”. Esta exprime o conjunto de elementos; aquela expressa o resultado da interação desses elementos. O conceito de meio ambiente há de ser, pois, globalizante, abrangente de toda a Natureza original e artificial.

Dessarte, de acordo com o autor, o meio ambiente deve ter essa visão globalizante, ou seja, visualizado sob certos aspectos. Melo (2022, p.10) ilustra que “O estudo do meio ambiente em aspectos facilita a visualização do bem imediatamente tutelado”. Neste interregno, o meio ambiente pode ser visualizado por 4 aspectos, o Natural, Artificial, Cultural, Digital e o do Trabalho.

Dentre os 4 aspectos, cabe começar com o meio ambiente natural que é aquele constituído pela atmosfera, elementos da biosfera, pelas águas, pelo clima, pelo solo, pelo subsolo (inclusive recursos minerais), pela fauna e pela flora (Fiorillo, 2025).

Após, tem-se o meio ambiente artificial, que compreende o espaço urbano construído, consistente no conjunto de edificações (espaço urbano fechado) e pelos equipamentos públicos (espaço urbano aberto). Também o meio ambiente do trabalho, que consiste no local onde as pessoas desempenham suas atividades laborais relacionadas à saúde, sejam remuneradas ou não (Fiorillo, 2025).

Por fim, o meio ambiente cultural, previsto no art.216 da Constituição Federal de 88, que é aquele que traduz o chamado patrimônio cultural, a história de um povo, a sua formação, cultura e portanto, os próprios elementos identificadores de sua cidadania, princípio fundamental norteador da República Federativa do Brasil, previsto no art. 1º, II da CF/88 (Fiorillo, 2025).

Nesse aspecto, pode-se dizer que as formas de expressão, assim como manifestações populares, bem como os grupos participantes do nosso processo civilizatório, estão tutelados pelo meio ambiente cultural no plano constitucional, ainda mais na atualidade, pois o que antes necessitava-se de comunicação presencial, de um comércio físico, de jornais em forma de papel, aparelhos de DVD, de meios dificultosos para realizar uma ligação, etc, mudou com o advento da internet. Fiorillo (2025, p. 495) dispõe que “O uso da internet apresenta um dos campos mais importantes do direito ambiental brasileiro na atualidade”.

Diante disso, tem-se uma nova forma de viver, relacionada a uma cultura de convergência na qual as tecnologias como a internet, moldam uma nova vida, reveladora de uma nova faceta do meio ambiente cultural, a saber, o meio ambiente digital (Fiorillo, 2025).

Do exposto, o meio ambiente encontra respaldo, proteção constitucional, podendo ser visualizado por 4 aspectos, o Natural, Artificial, Cultural (Digital) e o do Trabalho. Por conseguinte, além de elevar a proteção ambiental à condição de direito fundamental no art. 225, a Constituição Federal também incorporou a tutela do meio ambiente como elemento estruturante da ordem econômica. Nesse sentido, o art. 170, ao dispor sobre os princípios gerais da atividade econômica, estabelece expressamente, em seu inciso VI, a defesa do meio

ambiente, inclusive mediante tratamento diferenciado conforme o impacto ambiental dos produtos, serviços e de seus processos produtivos (Brasil, 1988)

Tal previsão revela que a proteção ambiental não se limita à esfera dos direitos fundamentais, mas projeta-se diretamente sobre a organização da economia, condicionando o exercício da livre iniciativa e a valorização do trabalho humano à observância dos ditames da sustentabilidade e da justiça social.

Nesse seguimento, Barbosa (2022, p. 13), comenta que “o conceito constitucional de 1988 inova colocando o meio ambiente na Ordem Econômica e num capítulo específico para o mesmo. Isto já demonstra uma inovação no tratamento do meio ambiente”.

Dessa forma, a Constituição consagra um modelo de ordem econômica ambientalmente orientada, no qual o desenvolvimento econômico deve ser compatibilizado com a preservação do meio ambiente, reforçando a lógica do desenvolvimento sustentável e legitimando a adoção de políticas públicas e instrumentos regulatórios voltados à redução de impactos ambientais, inclusive no setor de energia e transportes.

Diante do exposto, insta salientar que as Constituições anteriores a 1988 tratavam do meio ambiente, como proteção de florestas, caça e pesca. A atual destina um capítulo ao meio ambiente, tornando-se propriamente ambiental, um direito fundamental, trazendo a matéria de maneira ampla não só para as presentes como para as futuras gerações (Silva, 2009).

À vista desse percurso histórico-normativo, constata-se que a constitucionalização da tutela ambiental no Brasil não se deu de forma abrupta, mas como resultado de um processo gradual de amadurecimento jurídico e institucional. A Constituição de 1988 representa o ponto culminante dessa trajetória, ao elevar o meio ambiente à condição de direito fundamental de terceira dimensão e ao integrá-lo, simultaneamente, à ordem social e à ordem econômica.

Com efeito, a partir da consolidação desse arcabouço constitucional, tornou-se imperiosa a construção de instrumentos infraconstitucionais capazes de operacionalizar os comandos constitucionais de proteção ambiental, mitigação de impactos e promoção de padrões produtivos e tecnológicos mais sustentáveis.

Nesse cenário, o enfrentamento da crise climática passou a ocupar posição central na agenda normativa nacional, na medida em que a intensificação dos eventos climáticos extremos, o aumento da temperatura média global e a elevação do nível do mar evidenciam a urgência de respostas normativas articuladas, capazes de enfrentar riscos ambientais, econômicos e sociais de dimensão global.

Nos dizeres de Scovazzi (2021, p.470):

Um exemplo típico de risco global são as mudanças climáticas. Há um aquecimento atmosférico progressivo (o chamado efeito estufa), devido ao uso de combustíveis fósseis (carvão e petróleo) que emitem dióxido de carbono. Esse gás, junto com outros que têm efeitos semelhantes, retém a radiação solar na superfície terrestre, resultando em um aumento da temperatura. O aquecimento provoca a alteração das características climáticas de todo o planeta, com o consequente risco de subida do nível do mar em função do derretimento do gelo polar e a submersão de cidades e regiões costeiras. Para entender a dimensão econômica do problema, basta pensar que o carvão e o petróleo são, de longe, as fontes de energia mais difundidas e que o uso em larga escala de fontes alternativas de energia não é viável no momento.

Diante do exposto, a constatação científica e jurídica das mudanças climáticas como risco global passou a impulsionar, no plano interno brasileiro, a edição de normas infraconstitucionais específicas, destinadas a operacionalizar os deveres constitucionais de mitigação de emissões, adaptação climática, transição energética e incentivo a tecnologias de baixo carbono, especialmente nos setores de energia e transportes.

Dentre a edição de normas infraconstitucionais, cabe ressaltar duas leis instituídas em 2009, a primeira é a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, que cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, com a finalidade de assegurar recursos financeiros para apoiar projetos, estudos e empreendimentos destinados à redução das emissões de gases de efeito estufa e à adaptação aos impactos das mudanças climáticas (MMA,2025)

A segunda é a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, estabelecendo metas voluntárias de redução de emissões, criando mecanismos de planejamento e monitoramento como também prevendo a elaboração de planos setoriais de mitigação e adaptação, abrangendo setores estratégicos da economia, como energia, indústria, agropecuária e transportes (Brasil, 2009)

Mais recentemente, a Lei nº 14.904, de 27 de junho de 2024, avançou ao estabelecer diretrizes para a elaboração de planos de adaptação à mudança do clima, reforçando a dimensão preventiva e prospectiva da política climática nacional. A norma alterou

dispositivos da Lei nº 12.114/2009, ampliando a integração entre adaptação, mitigação e planejamento setorial, e reconhecendo a necessidade de incorporar a variável climática nas políticas públicas de infraestrutura, transição energética, mobilidade urbana e transportes (Brasil, 2024)

Por fim, insere-se nesse processo normativo a Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024, que instituiu o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), criando as bases para um mercado regulado de carbono no país. Ao estabelecer limites de emissão e mecanismos econômicos de precificação do carbono, a lei fortalece instrumentos de mitigação e incentiva a adoção de tecnologias menos intensivas em carbono (Brasil, 2024).

Posto isso, esses instrumentos normativos evidenciam a internalização, pelo Brasil, das preocupações globais relacionadas às mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que traduzem os comandos constitucionais de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável em ações concretas de política pública.

No setor de transportes, em especial, tais diretrizes abriram espaço para a adoção de estratégias voltadas à descarbonização da mobilidade, incluindo o estímulo à eficiência energética, ao uso de fontes renováveis e à incorporação de tecnologias de baixa emissão, como a mobilidade elétrica, tema central da presente dissertação.

Em síntese, a evolução do Direito Ambiental no Brasil revela um processo contínuo de amadurecimento normativo, que parte de mecanismos embrionários de controle dos recursos naturais no período colonial, atravessa um longo ciclo constitucional marcado pela centralidade da exploração econômica, e culmina, com a Constituição de 1988, na consolidação do meio ambiente como direito fundamental de terceira dimensão e elemento estruturante da ordem social e econômica.

Assim, a partir desse marco constitucional, a tutela ambiental deixa de possuir caráter meramente programático e passa a demandar instrumentos jurídicos concretos de implementação, especialmente diante da emergência das mudanças climáticas como risco global. Nesse contexto, a edição de normas infraconstitucionais específicas voltadas à mitigação de emissões, à adaptação climática e à transição para modelos produtivos de baixo

carbono evidencia a internalização, pelo Estado brasileiro, dos compromissos internacionais e dos deveres constitucionais de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável.

1.3 A EVOLUÇÃO DA GOVERNANÇA AMBIENTAL GLOBAL E OS MARCOS INTERNACIONAIS DE MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

Clima é considerado como o conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera, num determinado espaço e tempo (Silva, 2012). Com isso, uma das maiores preocupações da sociedade é o fenômeno das mudanças climáticas, visto que há um aquecimento atmosférico progressivo (o chamado efeito estufa), devido ao uso de combustíveis fósseis (carvão e petróleo) que emitem dióxido de carbono (CO²).

Desse modo, a consolidação da governança ambiental global ao longo das últimas décadas resultou em um conjunto progressivo de instrumentos jurídicos e políticos voltados à promoção do desenvolvimento sustentável e ao enfrentamento das mudanças climáticas, buscando reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Após os marcos normativos inaugurais como a Conferência de Estocolmo (1972), o Relatório Brundtland (1987) e a ECO-92 (1992), ocasião em que foi assinada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) a comunidade internacional avançou para a construção de mecanismos mais abrangentes, com metas claras e compromissos mais ambiciosos, capazes de orientar políticas públicas em escala global.

Nesse contexto, a adoção da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) em 1992 abriu caminho para instrumentos mais robustos, instituindo a Conferência das Partes (COP), evento que ocorre anualmente com o intuito de mitigar o aquecimento global e as mudanças globais do clima. Entre eles, destaca-se o Protocolo de Kyoto, adotado na terceira conferência em 1997, que, de acordo com Pereira e-Souza (2024, p.165):

A Convenção Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima que propunha o controle da concentração de gases do efeito estufa (GEEs) na atmosfera terrestre. Ademais, tal Convenção influenciou o surgimento da Conferência das Partes (COP) em 1995, que ocorre anualmente com o intuito de mitigar o aquecimento global e as mudanças globais do clima. A terceira COP, realizada no Japão em 1997, alertou sobre os problemas acerca do aquecimento global e propiciou a aprovação do Protocolo de Kyoto, que teve como objetivo a construção de metas direcionadas à limitação e redução de emissões de gases que agravam as mudanças climáticas.

Desse modo, realizado durante a terceira Conferência das Partes (COP-3), no Japão, o instrumento representou um marco decisivo na evolução do regime climático internacional, ao estabelecer metas quantitativas obrigatórias de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Para viabilizar o cumprimento das metas de forma economicamente eficiente, o Protocolo instituiu três mecanismos de mercado: o Comércio Internacional de Emissões, a Implementação Conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Este último permitiu que países desenvolvidos investissem em projetos de redução de emissões em países em desenvolvimento, recebendo créditos de carbono que poderiam ser utilizados para compensar parte de suas obrigações (Pereira e Souza, 2024).

Ainda que limitado, sobretudo pela ausência de metas obrigatórias para países em desenvolvimento e pelo não cumprimento integral de alguns compromissos por parte de nações desenvolvidas, o Protocolo de Kyoto estabeleceu precedentes jurídicos e políticos fundamentais. Ao introduzir metas vinculantes e mecanismos econômicos inovadores, o instrumento inaugurou um novo paradigma de governança climática, no qual a redução das emissões passa a ser tratada de forma estruturada e quantificável.

Como observa Bodansky (2010, p. 230): *“The Kyoto Protocol represented the transition from a regime based on obligations of conduct to one with quantitative targets, albeit limited to industrialized countries¹⁰”*.

Na sequência da evolução do regime climático internacional, o Acordo de Paris, adotado em 12 de dezembro de 2015, durante a 21ª Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, representou um marco histórico ao consolidar um modelo de governança climática global mais inclusivo, flexível e ambicioso.

De acordo com o art. 2º do instrumento, o acordo tem por objetivo:

Fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima, no contexto do desenvolvimento sustentável e dos esforços de erradicação da pobreza, incluindo:
(a) Manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, e envidar esforços para limitar esse aumento da

¹⁰ Tradução livre pelo autor: O Protocolo de Quioto representou a transição de um regime baseado em obrigações de conduta para um com metas quantitativas, embora limitado aos países industrializados.

temperatura a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais, reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e os impactos da mudança do clima;
 (b) Aumentar a capacidade de adaptação aos impactos negativos da mudança do clima e promover a resiliência à mudança do clima e um desenvolvimento de baixa emissão de gases de efeito estufa, de uma maneira que não ameace a produção de alimentos.

Desse modo, diferentemente do Protocolo de Kyoto, que impunha metas apenas aos países desenvolvidos, o Acordo de Paris foi concebido como um tratado universal, envolvendo compromissos de todos os Estados-Partes, com o objetivo central de limitar o aumento da temperatura média global a bem menos de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, envidando esforços para limitá-lo a 1,5 °C.

Nesse sentido, Bodansky (2016, p. 289) destaca que:

The Paris Agreement represents a paradigm shift in international climate policy, moving from a top-down approach with legally binding targets for developed countries to a hybrid structure that combines universal participation, nationally determined contributions, and iterative cycles of review and ambition¹¹.

Essa mudança estrutural evidencia a transição de um regime climático restrito a países desenvolvidos para um modelo inclusivo, dinâmico e de alcance global, capaz de envolver todos os Estados em um processo contínuo de aumento de ambição e transparência.

Segundo Fiorillo (2025, p.659):

O aludido acordo, que ao pretender fortalecer a resposta global à ameaça das mudanças climáticas, procura estabelecer medidas de redução de emissão de dióxido de carbono, afetando em princípio diretamente as atividades econômicas vinculadas ao uso de fontes de energia renováveis e não renováveis.

Para alcançar essa meta, o acordo introduziu mecanismos inovadores, como as Contribuições Nacionalmente Determinadas nas quais cada país apresenta, de forma soberana, suas metas e estratégias de mitigação e adaptação, além de estabelecer um sistema de transparência e revisão periódica dos compromissos assumidos. No caso brasileiro, as metas de reduções de emissões anunciadas pelo país são de 37% abaixo dos níveis de 2005, já em 2025, e de 43%, em 2030, para o conjunto da economia (Milanez, 2017).

¹¹ Tradução livre pelo autor O Acordo de Paris representa uma mudança paradigmática na política climática internacional, passando de uma abordagem de cima para baixo com metas juridicamente vinculativas para os países desenvolvidos para uma estrutura híbrida que combina participação universal, contribuições nacionalmente determinadas e ciclos iterativos de revisão e ambição.

Essas metas refletem o compromisso do país com a descarbonização de longo prazo e têm implicações diretas para o setor de transportes, ao impulsionar políticas públicas de incentivo à mobilidade elétrica e outras tecnologias de baixa emissão, consolidando esse setor como peça-chave na estratégia nacional de mitigação.

Dentre as Contribuições Nacionalmente Determinadas, cabe ressaltar também os Net Zero pledges, assumidos por diversos países, e o Pacto Climático de Glasgow (COP-26, 2021) que representam instrumentos políticos centrais para reforçar as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e acelerar a transição energética em escala global (UNFCCC, 2021; 2022).

Na esteira do Acordo de Paris, a comunidade internacional consolidou um plano de ação abrangente para orientar a transição global rumo ao desenvolvimento sustentável: a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), adotados pela Assembleia Geral da ONU em setembro de 2015.

Composta por 17 objetivos e 169 metas, a Agenda 2030 busca integrar as dimensões econômica, social e ambiental do desenvolvimento, fornecendo um quadro normativo e político global para a implementação de políticas públicas orientadas à sustentabilidade (Fonseca, Gouvinnhas, 2024).

No contexto brasileiro, a incorporação da Agenda 2030 tem se refletido na formulação de estratégias de desenvolvimento sustentável e de descarbonização setorial. Para Morais (2021, p. 217):

A Agenda 2030 representa para o Brasil não apenas um compromisso internacional, mas uma oportunidade de alinhar políticas públicas internas a parâmetros globais de sustentabilidade, especialmente nos setores de energia e transportes, responsáveis por parcela significativa das emissões nacionais de GEE.

Embora não seja um instrumento jurídico vinculante, os ODS exercem forte influência na formulação de políticas nacionais, regionais e locais, inclusive nos setores de transporte e energia, ao promover a descarbonização e a mobilidade sustentável. Fonseca e Gouvinnhas (2024, p.4) ressaltam que:

Desde a adoção dos ODS em 2015, muitos países têm trabalhado para integrar essas metas em suas políticas nacionais de desenvolvimento. Relatórios regulares são elaborados para avaliar o progresso global e identificar áreas que exigem atenção especial. A implementação efetiva dos ODS requer a colaboração de governos, do setor privado, da sociedade civil e dos cidadãos em nível local, nacional e global. Os

ODS representam um compromisso coletivo para construir um futuro mais sustentável e inclusivo para as gerações presentes e futuras.

Dentre os 17 objetivos, cabe ressaltar o ODS 7, que trata de energia limpa e acessível, o 11, que diz respeito a cidades e comunidades sustentáveis, o 12 que trata de consumo e produção responsáveis e o 13 que diz respeito a ação contra a mudança global do clima.

O ODS 7, busca garantir acesso universal, confiável, sustentável e moderno à energia, no setor de transportes, a expansão dos veículos elétricos e o uso de fontes renováveis em sistemas públicos configuram estratégias centrais para reduzir emissões de gases de efeito estufa e alinhar a mobilidade às metas ambientais globais (ONU, 2015).

Fonseca e Gouvinnhas (2024, p.10) enfatizam que:

Ao promover a transição para veículos elétricos e expandir a infraestrutura de recarga, o ODS 7 não apenas responde aos desafios ambientais, mas também catalisa a inovação tecnológica e cria novas oportunidades econômicas. Essa abordagem não só contribui para a mitigação das mudanças climáticas, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis, mas também fortalece a resiliência do setor de transporte. Adicionalmente, ao adotar uma abordagem mais sustentável no consumo de energia, o ODS 7 promove uma transformação positiva no modo como nos deslocamos, incentivando uma mobilidade mais ecológica e alinhada com as metas de desenvolvimento sustentável.

Em síntese, o ODS 7 constitui um pilar fundamental da Agenda 2030, ao promover o acesso universal à energia limpa e sustentável, incentivando a eficiência energética e a expansão de fontes renováveis. No contexto da mobilidade, esse objetivo orienta a transição para sistemas de transporte de baixa emissão, fortalecendo a descarbonização do setor e contribuindo para a consecução das metas climáticas globais.

Os ODS 11 e 12 estão fortemente interligados ao promover, respectivamente, cidades mais sustentáveis e padrões responsáveis de consumo e produção. O uso intensivo de combustíveis fósseis compromete a qualidade do ar urbano, agrava problemas de saúde pública e sobrecarrega a infraestrutura viária, demandando soluções mais limpas e eficientes (ONU, 2015).

Nesse cenário, a adoção de veículos elétricos como alternativa de transporte sustentável contribui para a redução das emissões, melhora as condições ambientais nas cidades e incentiva estilos de vida mais saudáveis. Paralelamente, essa transição estimula práticas produtivas e de consumo mais inovadoras e eficientes, inclusive por meio de políticas

de incentivo voltadas a produtores e consumidores, promovendo uma integração entre mobilidade, planejamento urbano e padrões de consumo alinhados aos princípios da sustentabilidade (Fonseca e Gouvinnhas, 2024).

Por fim, o ODS 13 reforça a necessidade de adoção de medidas urgentes para combater a mudança global do clima e seus impactos, convocando os países a integrarem ações de mitigação e adaptação em políticas, estratégias e planejamentos nacionais. Considerando que o setor de transportes é responsável por uma parcela significativa das emissões globais de gases de efeito estufa, a transição para tecnologias de baixa emissão, como os veículos elétricos, assume papel estratégico no cumprimento das metas climáticas internacionais. (Fonseca e Gouvinnhas, 2024).

Essa transformação contribui para a redução direta das emissões de CO₂, fortalece a resiliência climática e alinha as políticas de mobilidade às diretrizes estabelecidas em instrumentos internacionais, como o Acordo de Paris. Além disso, a integração entre políticas energéticas, urbanas e de transporte amplia a capacidade dos Estados de implementar ações coordenadas, posicionando a mobilidade elétrica como uma ferramenta central na luta contra as mudanças climáticas.

Dessa forma, a análise conjunta dos ODS 7, 11, 12 e 13 revela que os desafios relacionados à energia limpa e acessível, ao desenvolvimento urbano sustentável, aos padrões responsáveis de consumo e à ação climática não podem ser enfrentados de forma isolada. A efetividade desses objetivos depende de uma implementação integrada, capaz de articular políticas públicas nos âmbitos energético, urbano, produtivo e ambiental, de modo a potencializar sinergias e evitar soluções fragmentadas.

Nesse sentido, Le Blanc (2015, p. 176) destaca que *“The SDGs can be seen as a network of targets that link different areas of sustainable development, making integration across sectors and goals both possible and necessary”*¹².

Assim, à luz dessas considerações, a Agenda 2030 e os ODS constituem um marco normativo e político fundamental para orientar a transição global rumo a modelos de desenvolvimento mais sustentáveis. Ao integrar metas relacionadas à energia limpa, cidades

¹² Tradução livre pelo autor: Os ODS podem ser vistos como uma rede de metas que interligam diferentes áreas do desenvolvimento sustentável, tornando a integração entre setores e objetivos possível e necessária”.

sustentáveis, padrões responsáveis de consumo e ação climática, esses instrumentos oferecem um caminho coerente para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos de forma articulada.

No contexto da mobilidade, a eletrificação dos transportes se apresenta como uma estratégia transversal, capaz de materializar simultaneamente diversos objetivos da Agenda 2030, contribuindo para a redução de emissões, o fortalecimento da resiliência climática e a promoção de cidades mais saudáveis e sustentáveis.

Posto isso, os ODS deixam de ser apenas diretrizes programáticas e passam a funcionar como vetores de transformação estrutural, orientando políticas públicas e inovações tecnológicas em escala nacional e global.

Nesse mesmo horizonte, destaca-se o papel dos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), órgão criado em 1988 pela Organização das Nações Unidas (ONU) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), responsável por avaliar a ciência relacionada às mudanças climáticas e oferecer evidências robustas acerca das causas, impactos e trajetórias de mitigação do aquecimento global. Esse documento constitui uma das principais bases técnicas para a formulação de políticas climáticas internacionais e nacionais, fornecendo parâmetros objetivos para o desenho de estratégias de transição energética e de mobilidade sustentável (IPCC, 2021; 2023).

Paralelamente, emergem campanhas e compromissos internacionais de descarbonização que fortalecem a ação coletiva em torno da neutralidade climática. Entre eles, destaca-se a iniciativa EV30@30, instituída em 2017 no âmbito do Clean Energy Ministerial (CEM), fórum ministerial global criado em 2010 pelos Estados Unidos para reunir ministros de energia e acelerar a transição para tecnologias limpas (CEM, 2022)

O EV30@30 tinha como meta aumentar a participação de veículos elétricos (VEs) nas novas vendas globais para, no mínimo, 30% até 2030, entre os países participantes. A campanha, encerrada em 2022, apoiou o avanço do mercado de veículos elétricos de passeio, comerciais leves, ônibus e caminhões, além de fomentar o desenvolvimento da infraestrutura de recarga necessária (CEM, 2022).

Do mesmo modo, a International Energy Agency (IEA), criada em 1974 no âmbito da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), publica relatórios

anuais como o Global EV Outlook, que acompanham o avanço da eletromobilidade e projetam cenários de expansão tecnológica. Segundo o relatório (IEA, 2024, p. 7):

The Global EV Outlook is an annual publication that identifies and discusses recent developments in electric mobility across the globe. It is developed with the support of the members of the Electric Vehicles Initiative (EVI). Combining historical analysis with projections to 2030, the report examines key areas of interest such as electric vehicle and charging infrastructure deployment, energy use, CO₂ emissions, battery demand and related policy developments¹³.

Dessa forma, a atuação da *International Energy Agency* consolida-se como referência técnica indispensável no monitoramento da transição energética global. Seus relatórios, ao reunir dados sobre emissões, infraestrutura de recarga e demanda de energia, não apenas orientam políticas públicas e investimentos, mas também contribuem para a construção de um panorama científico e estratégico da eletromobilidade.

Insta mencionar a COP30, realizada em Belém nos dias 10 a 21 de novembro de 2025, na qual evidenciou a centralidade dos veículos elétricos e híbridos no debate contemporâneo sobre a descarbonização do setor de transportes, destacando-os como alternativas relevantes à substituição dos combustíveis fósseis.

Nesse contexto, ressaltou-se o potencial do Brasil como ambiente favorável à eletrificação veicular, em razão de sua matriz elétrica predominantemente renovável, o que contribui para reduzir as emissões associadas ao uso desses veículos. Durante o evento, iniciativas práticas também foram apresentadas, como a utilização de frotas elétricas por empresas como BYD e GWM no transporte de autoridades e participantes, demonstrando a viabilidade operacional dessas tecnologias.

Além do mais, projeções indicaram tendência de crescimento significativo da frota eletrificada nas próximas décadas, embora tenham sido reconhecidos desafios relevantes, como o elevado custo dos veículos, a limitação da infraestrutura de recarga e as emissões associadas à produção de baterias.

13 O Global EV Outlook é uma publicação anual que identifica e discute os desenvolvimentos recentes na mobilidade elétrica em todo o mundo. É desenvolvido com o apoio dos membros da Electric Vehicles Initiative (EVI). Combinando análises históricas com projeções até 2030, o relatório examina áreas-chave de interesse, como a implantação de veículos elétricos e infraestrutura de recarga, o consumo de energia, as emissões de CO₂, a demanda por baterias e os desenvolvimentos de políticas relacionadas.

Por fim, destacou-se a necessidade de qualificação técnica para manutenção desses veículos, com a apresentação de normas específicas voltadas à segurança operacional. Nesse cenário, o debate sobre mobilidade na COP30 evidenciou que a transição energética no setor de transportes não se restringe à eletrificação pura, mas envolve uma abordagem integrada, que inclui o desenvolvimento tecnológico, o uso de biocombustíveis e a busca por maior eficiência energética.

Em conclusão, a trajetória da governança ambiental global evidencia um processo contínuo de fortalecimento institucional e normativo em torno da sustentabilidade. O Protocolo de Kyoto inaugurou a fase de metas obrigatórias de redução de emissões, enquanto o Acordo de Paris consolidou um modelo universal de cooperação climática, baseado na corresponsabilidade e nas Contribuições Nacionalmente Determinadas.

A Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ampliaram esse compromisso ao integrar desenvolvimento econômico, justiça social e preservação ambiental. Paralelamente, as contribuições científicas do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) e as projeções da *International Energy Agency* (IEA) reforçam a urgência da descarbonização e orientam políticas de transição energética em escala global.

Complementarmente, campanhas internacionais como o EV30@30, promovida no âmbito do Clean Energy Ministerial (CEM), refletem a mobilização de governos e empresas na construção de uma economia de baixo carbono. Assim, a construção normativa e política internacional não apenas delineou os fundamentos da sustentabilidade, mas também consolidou as bases para a redefinição das políticas públicas contemporâneas e para o redesenho das matrizes produtivas rumo a uma economia descarbonizada e resiliente.

CAPÍTULO 2 – TRANSPORTE INDIVIDUAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: DA DEPENDÊNCIA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS À ELETRIFICAÇÃO VEICULAR.

A compreensão do papel desempenhado pelo setor de transportes no contexto das mudanças climáticas exige a análise da trajetória histórica da mobilidade individual, bem como dos fatores que contribuíram para a consolidação do modelo baseado no uso intensivo de combustíveis fósseis. Nesse sentido, o automóvel, enquanto principal meio de transporte individual, assumiu posição central na organização urbana, na dinâmica econômica e nos padrões de consumo das sociedades contemporâneas.

Nesse contexto, o capítulo investiga o processo de consolidação do transporte individual no Brasil, destacando a formação da cultura do automóvel e suas implicações ambientais. Em seguida, aborda os fundamentos, a evolução histórica e o papel dos veículos elétricos no enfrentamento das mudanças climáticas, situando-os no contexto das transformações tecnológicas e das demandas por descarbonização.

Por fim, analisa-se a eletrificação veicular no contexto brasileiro, com ênfase em seu potencial de redução de emissões e na comparação com veículos movidos a combustão interna, a fim de avaliar, de forma integrada, sua contribuição para a mitigação das questões ambientais no setor de transportes.

Dessa forma, o capítulo estabelece a base analítica necessária para compreender a transição do modelo tradicional de mobilidade, centrado nos combustíveis fósseis, para busca por alternativas tecnológicas mais sustentáveis, como os carros elétricos.

2.1 AUTOMOBILISMO E CONSOLIDAÇÃO DO TRANSPORTE INDIVIDUAL NO BRASIL: FORMAÇÃO DA CULTURA DO AUTOMÓVEL E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS.

Desde os primórdios da organização social, o ser humano buscou meios de deslocar-se e transportar bens essenciais à sobrevivência e ao desenvolvimento econômico. Inicialmente, o transporte realizava-se por meio do esforço físico humano, com o carregamento direto de mercadorias.

Posteriormente, a domesticação de animais representou avanço significativo, ampliando a capacidade de deslocamento e de carga, com destaque para o papel

desempenhado pelo cavalo nesse processo. Entre as inovações que marcaram a evolução do transporte terrestre, a invenção da roda constituiu marco decisivo, possibilitando o surgimento de diferentes formas de locomoção ao longo da história, como carroças, carruagens, sistemas de tração mecanizada e, posteriormente, a locomotiva, culminando no desenvolvimento do automóvel como símbolo da mobilidade moderna (DNER, 1983).

No contexto brasileiro, a introdução do automóvel remonta ao final do século XIX, quando Alberto Santos Dumont, conhecido como o “Pai da Aviação”, importou da França um veículo Peugeot Type 3, que chegou à cidade de São Paulo. O episódio é considerado um dos marcos iniciais da presença do automóvel no país (Nascimento, 2016).

A partir das primeiras décadas do século XX, o investimento em infraestrutura rodoviária passou a ocupar posição central nas políticas públicas. Destaca-se o governo de Washington Luís, prefeito de São Paulo entre 1914 e 1924 e Presidente da República entre 1926 e 1930, cuja conhecida máxima, “Governar é abrir estradas”, sintetiza a orientação política voltada à expansão das rodovias e à consolidação do transporte rodoviário no país (Nascimento, 2016).

Paralelamente à expansão da malha viária, a indústria automobilística consolidava-se internacionalmente como um dos principais setores da economia industrial. Após a Primeira Guerra Mundial, a produção artesanal de veículos foi gradualmente substituída pela fabricação em massa, impulsionada por novos métodos de organização do trabalho e aumento da produtividade. Henry Ford e Alfred Sloan destacaram-se nesse processo ao transformar empresas como a Ford Motor Company e a General Motors em grandes conglomerados industriais, contribuindo decisivamente para a expansão do setor automobilístico e para o crescimento econômico dos Estados Unidos (Pimenta, 2002).

Após a Segunda Guerra Mundial, o aperfeiçoamento das linhas de montagem e a difusão do modelo fordista intensificaram a produção em larga escala, fenômeno que alguns estudiosos denominaram de “primeira revolução do automóvel”. A implantação de novas fábricas em diversas cidades norte-americanas e em outros países ampliou significativamente a indústria automobilística em escala global (Pimenta, 2002).

Esse movimento também alcançou o Brasil, onde, em 1919, a Ford instalou sua filial, tornando-se a primeira montadora a operar no país. Em 1925, modelos do Ford T começaram

a ser montados no centro de São Paulo, sendo posteriormente seguida pela instalação da General Motors, consolidando o setor automobilístico brasileiro (Pedreti, 2021).

No cenário brasileiro, a consolidação do setor automobilístico ganhou impulso decisivo durante o governo de Juscelino Kubitschek (1956–1961), cuja política desenvolvimentista ficou sintetizada no lema “cinquenta anos em cinco”. O Plano de Metas, principal instrumento de sua estratégia econômica, priorizou a industrialização pesada, a expansão da infraestrutura e o fortalecimento do setor de transportes, com ênfase especial na construção de rodovias e no estímulo à indústria automobilística nacional.

Nesse sentido, Pedreti (2021, p. 14) comenta que:

A indústria automobilística brasileira foi fundamentalmente transformada pelo "Plano de Metas" de Juscelino Kubitschek na década de 1950, estabelecendo a base para uma era de modernização industrial. Este plano não só almejava a montagem local de veículos, mas evoluía para a fabricação de componentes nacionais, assim foi criado um complexo industrial robusto. A política de substituição de importações, amplamente discutida por Prebisch (1950) e adotada no plano de metas, teve um papel fundamental na estruturação da indústria automotiva brasileira.

Assim, a opção pelo modal rodoviário como eixo estruturante da integração territorial e do desenvolvimento econômico representou mudança significativa na organização da mobilidade brasileira. Ao privilegiar a indústria automotiva e a ampliação da malha viária, o Estado brasileiro consolidou um modelo de transporte centrado no automóvel e no transporte rodoviário de cargas e passageiros, influenciando de maneira duradoura a configuração urbana e os padrões de deslocamento no país.

Nesse contexto de fortalecimento institucional e expansão produtiva, em 15 de maio de 1956 foi fundada a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA, entidade destinada a representar as montadoras instaladas no Brasil e coordenar os interesses da indústria automobilística nacional. A criação da associação simbolizou a consolidação do setor como eixo estratégico da política industrial brasileira, reforçando a centralidade do automóvel na dinâmica econômica e na estrutura de mobilidade adotada pelo país (ANFAVEA, 2026).

Ademais, a política de incentivo à indústria automobilística implementada no governo Juscelino Kubitschek rapidamente produziu resultados concretos. Em 1957, a Volkswagen inaugurou sua fábrica em São Bernardo do Campo, no estado de São Paulo, iniciando a produção nacional da Kombi, modelo que se tornaria símbolo da consolidação da indústria

automotiva no país. No ano seguinte, em 1958, foi fundada a Toyota do Brasil, ampliando a presença de montadoras estrangeiras no território nacional e reforçando a estratégia de internalização da produção de veículos.

Nesse sentido, Nascimento (2016, p.71) destaca que:

No ano de 1957 muitas foram às facilidades criadas para o crescimento da indústria automobilística no Brasil, os grandes fabricantes começaram a produzir veículo modernos e mais compatíveis com o uso demandado pelo amplo território brasileiro. Por isso ao final do ano de 1957 a indústria automobilística brasileira atingiu 30.542 veículos produzidos, dobrando esse número no ano posterior e em 1959 chegou a 96.114 veículos.

Esses marcos evidenciam que, em curto intervalo de tempo, o Brasil deixou de ser predominantemente importador de automóveis para estruturar um parque industrial próprio, integrado às cadeias produtivas internacionais. A instalação dessas montadoras não apenas fortaleceu o setor industrial e a geração de empregos, mas também consolidou o automóvel como elemento central do projeto desenvolvimentista brasileiro, aprofundando a dependência do transporte rodoviário e do uso do veículo particular como principal forma de mobilidade (Schneider, 2021).

A trajetória da indústria automobilística brasileira, contudo, não se desenvolveu de maneira linear. Ao longo da década de 1960, o setor atravessou período de instabilidade marcado por excesso de capacidade produtiva e retração da demanda interna. O contexto político e econômico posterior ao golpe de 1964 contribuiu para agravar esse cenário, especialmente em razão das políticas de controle de preços implementadas pelo governo, que comprimiram margens de lucro e comprometeram a sustentabilidade financeira de diversas montadoras. Empresas menos estruturadas não resistiram à crise, sobrevivendo predominantemente aquelas vinculadas ao capital transnacional. Apenas a partir de 1967-1968 observa-se reaquecimento gradual da demanda, permitindo relativa recuperação do setor (Pimenta, 2002).

Na década de 1970, a indústria automobilística retomou trajetória de expansão, com a instalação de novas montadoras em diferentes regiões do país, como a Fiat Automóveis S.A., em Minas Gerais, a Agrale, no Rio Grande do Sul, e a Volvo, no Paraná. Esse crescimento foi favorecido pelo fortalecimento de mecanismos de financiamento, especialmente pelo sistema de consórcios, que ampliou o acesso ao consumo de veículos e estimulou a formação de uma classe média motorizada (Limoncic, 1997).

Contudo, o período também foi fortemente impactado pela crise internacional do petróleo, desencadeada em 1973, quando a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) promoveu embargo que elevou abruptamente os preços do combustível no mercado global. A crise evidenciou a vulnerabilidade das economias dependentes da importação de petróleo, dentre elas o Brasil, cuja matriz energética encontrava-se fortemente atrelada ao combustível fóssil importado. O impacto sobre a balança comercial e a estabilidade macroeconômica foi significativo, exigindo respostas estruturais por parte do Estado (Nascimento, 2016).

Nesse contexto, em 1974, foi instituído o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), estratégia voltada à substituição parcial da gasolina por etanol produzido a partir da cana-de-açúcar. A medida buscava reduzir a dependência externa, preservar o crescimento industrial e adaptar o setor de transportes às novas condições energéticas. Ainda que concebido como solução conjuntural, o programa representou marco relevante na política energética nacional, introduzindo a ideia de adaptação tecnológica da indústria automobilística diante de crises externas e antecipando debates contemporâneos sobre diversificação da matriz energética e transição energética (Costa, 2021).

Nos anos 1980, entretanto, o setor voltou a enfrentar dificuldades estruturais. A produção automobilística sofreu queda significativa, em 1981, registrou-se redução superior a 30% em relação a 1979 e permaneceu oscilando entre 800 mil e 1 milhão de unidades ao longo da década, evidenciando período de estagnação após a euforia do crescimento anterior (Pimenta, 2002).

Ainda assim, observam-se mudanças importantes no padrão produtivo, com a adoção dos chamados “carros mundiais”, caracterizados pela padronização de projetos e pela integração internacional das cadeias de produção (Costa, 2021). No início da década de 1990, o parque automotivo brasileiro, consolidado ao longo de trinta anos de industrialização, alcançava maturidade estrutural, confirmando a centralidade da indústria automobilística no modelo de desenvolvimento nacional.

Nas décadas seguintes, a indústria automobilística brasileira continuou desempenhando papel relevante na economia nacional, ainda que sujeita a oscilações decorrentes de fatores econômicos e conjunturais. Um exemplo recente ocorreu durante a

pandemia de Covid-19, que provocou significativa retração das atividades produtivas em diversos setores da economia global.

No segmento automobilístico, a paralisação temporária de fábricas e a redução da demanda resultaram em forte desaceleração da produção e do comércio de veículos. Em abril de 2020, dados divulgados pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) indicaram queda de quase 90% nas atividades do setor, enquanto diversas montadoras passaram a operar com capacidade reduzida e registraram fechamento de postos de trabalho (Kutney, 2020).

Outro acontecimento marcante no setor automobilístico brasileiro ocorreu em 2021, quando a Ford anunciou o encerramento de suas atividades produtivas no país. A decisão surpreendeu governos, fornecedores, trabalhadores e consumidores, sobretudo pelo histórico da empresa no Brasil, onde havia instalado sua primeira operação fabril ainda em 1919. O fechamento das unidades industriais localizadas em Camaçari (BA), Taubaté (SP) e Horizonte (CE) resultou no desligamento de aproximadamente cinco mil trabalhadores diretos, além de impactos indiretos em concessionárias e na cadeia produtiva do setor. Segundo a própria empresa, a medida foi motivada pela continuidade de um ambiente econômico desfavorável, agravado pelos efeitos da pandemia de Covid-19 sobre o mercado automobilístico (Estigarriba, 2021).

Posto isso, apesar das oscilações e crises, o setor automobilístico consolidou-se como um dos pilares da economia brasileira e como elemento estruturante do modelo de mobilidade adotado pelo país. A expansão contínua da frota e a consolidação do transporte rodoviário como principal eixo logístico reforçaram a dependência do transporte individual motorizado.

Essa centralidade da indústria automobilística permanece perceptível na contemporaneidade. Conforme dados divulgados pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), a produção nacional de autoveículos manteve-se expressiva em 2025, totalizando 2.644.054 unidades produzidas ao longo do ano. Desse total, 2.491.747 correspondem a veículos leves, sendo 1.990.031 automóveis e 501.716 comerciais leves (ANFAVEA, 2025).

Além do mais, os dados mais recentes também indicam a continuidade dessa dinâmica produtiva. Em janeiro de 2026, a produção de autoveículos no país alcançou 159.552

unidades, das quais 150.946 correspondem a veículos leves e 120.474 especificamente a automóveis. Ainda que se trate de dados iniciais do ano corrente, os números evidenciam a manutenção do ritmo produtivo da indústria automobilística nacional, reafirmando a relevância do setor no contexto econômico brasileiro (ANFAVEA, 2026).

Assim sendo, a consolidação do automóvel como principal meio de transporte individual não se limitou ao avanço tecnológico. Progressivamente, ele ultrapassou a condição de simples artefato mecânico, tornando-se elemento estruturante da organização urbana, da dinâmica econômica e dos padrões de consumo que marcaram o desenvolvimento das cidades brasileiras ao longo do século XX e início do século XXI. Sua difusão acompanhou transformações profundas associadas ao processo de industrialização, à expansão da infraestrutura rodoviária e às escolhas de planejamento urbano adotadas pelo Estado brasileiro, historicamente orientadas à priorização do transporte individual motorizado.

Insta salientar que a consolidação do transporte individual motorizado esteve historicamente associada ao uso predominante de combustíveis fósseis, especialmente gasolina e diesel, que passaram a constituir a principal fonte energética do setor de transportes. Ao longo do processo de expansão da frota e da intensificação da circulação de veículos, o consumo desses combustíveis tornou-se elemento central do modelo de mobilidade adotado em grande parte das cidades.

Tradicionalmente, os veículos são movidos por motores de combustão interna, nos quais uma mistura de ar e combustível, geralmente gasolina ou diesel, é comprimida e inflamada na câmara de combustão, gerando energia mecânica necessária para o deslocamento do veículo. Esse processo resulta na emissão de diferentes gases e partículas que são expelidos pelo sistema de escapamento (Barros, 2016).

Ocorre que a queima de derivados de petróleo nos motores de combustão interna passou a contribuir significativamente para a emissão de poluentes atmosféricos, como dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio e material particulado, ampliando as preocupações relacionadas à qualidade do ar e às mudanças climáticas. Nesse contexto, o setor de transportes passou a ocupar posição relevante nas discussões contemporâneas sobre meio ambiente e sustentabilidade, especialmente diante da crescente necessidade de redução das emissões associadas ao uso de combustíveis fósseis.

De acordo com Pedreti (2021, p.30): “A indústria automotiva brasileira, fundamental para a economia do país, enfrenta o desafio de contribuir significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), exacerbando as preocupações relacionadas às mudanças climáticas globais”.

Diante desse cenário, o aumento da circulação de veículos movidos a combustíveis fósseis passou a ser progressivamente associado ao agravamento dos problemas ambientais nas áreas urbanas e à intensificação das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. O crescimento do setor de transportes, aliado à dependência de derivados de petróleo como principal fonte energética, ampliou o debate científico e político acerca da necessidade de revisão dos modelos tradicionais de mobilidade.

Nesse sentido, Costa (2021, p.25) destaca que:

Uma grande questão que precisa ser pontuada é a utilização dos derivados de petróleo como principais combustíveis utilizados pelos veículos automotores. Do petróleo são feitos plásticos, tecidos, produtos de limpeza, e dentre vários tipos de combustíveis, a gasolina e o diesel. Sendo essa uma fonte de energia não renovável e que gera intenso impacto ambiental tanto na sua extração como com os produtos que são dele derivados, outros tipos de combustíveis e tecnologias têm sido desenvolvidos, buscando com que de forma progressiva o petróleo perca sua intensa utilização e seja de fato substituído.

Assim, gasolina e diesel configuram fontes energéticas não renováveis que, além de sustentarem o funcionamento da maior parte da frota de veículos, também estão associadas a diferentes formas de degradação ambiental, tanto em sua cadeia de produção quanto em sua utilização nos motores automotivos.

Conforme mencionado anteriormente, em 1974 foi instituído o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), estratégia voltada à substituição parcial da gasolina por etanol produzido a partir da cana-de-açúcar. A medida buscava reduzir a dependência externa de petróleo e adaptar o setor de transportes às novas condições energéticas. Todavia, a produção de etanol também envolve desafios ambientais, como a substituição de áreas nativas por monoculturas, a compactação do solo decorrente da mecanização agrícola, a contaminação de solos e cursos d'água por fertilizantes e agrotóxicos e a poluição atmosférica associada à queima da palha da cana-de-açúcar (Costa, 2021).

Além disso, independentemente do combustível utilizado, gasolina, etanol, diesel, diferentes fontes de emissão permanecem associadas ao funcionamento dos veículos. Entre elas destacam-se o escapamento, o sistema de alimentação de combustível, o cárter (reservatório de óleo lubrificante) e até mesmo o desgaste de pneus e freios (Branco, 2004).

Portanto, a trajetória histórica da indústria automobilística e a consolidação do transporte individual motorizado no Brasil evidenciam não apenas a importância econômica e social do automóvel, mas também os desafios associados ao modelo energético que sustenta esse sistema de mobilidade.

A dependência predominante de combustíveis fósseis, aliada ao crescimento contínuo da frota de veículos, contribuiu para intensificar as preocupações relacionadas à poluição atmosférica e às mudanças climáticas, inserindo o setor de transportes no centro das discussões ambientais contemporâneas.

Como bem esclarece Dos Santos (2025, p.14): “Os combustíveis fósseis foram a base do desenvolvimento industrial e econômico ao longo dos últimos séculos, tornando-se essenciais para a sociedade moderna. Entretanto, essa dependência energética tem custado caro ao planeta”.

Nesse contexto, compreender o funcionamento dos veículos movidos a combustão e as emissões associadas a esse modelo revela-se etapa fundamental para a análise de alternativas tecnológicas capazes de mitigar seus impactos ambientais. A partir dessa compreensão, torna-se possível avançar na investigação de soluções voltadas à redução das emissões no setor de transportes, especialmente aquelas relacionadas à eletrificação veicular, tema que será desenvolvido no item seguinte.

2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS: FUNDAMENTOS, EVOLUÇÃO HISTÓRICA E PAPEL NO ENFRENTAMENTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

A relação entre emissões atmosféricas e o aquecimento da superfície terrestre vem sendo investigada pela ciência desde o século XIX. Estudos pioneiros de pesquisadores como Joseph Fourier e Sadi Carnot já indicavam que determinados gases presentes na atmosfera poderiam reter parte do calor irradiado pela Terra, contribuindo para o aumento gradual da temperatura do planeta. Esse fenômeno, posteriormente denominado efeito estufa, ocorre em

razão da presença de gases como dióxido de carbono (CO_2), metano e outros compostos que absorvem e reemitem radiação infravermelha, provocando o aquecimento da atmosfera e da superfície terrestre (Branco, 2004).

No final do século XIX, o cientista sueco Svante Arrhenius aprofundou essa compreensão ao demonstrar que o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera poderia elevar significativamente a temperatura global. Em seus estudos, Arrhenius já apontava que a expansão das atividades industriais, especialmente aquelas baseadas na queima de combustíveis fósseis, poderia intensificar esse processo de aquecimento (Branco, 2004).

Embora à época tal fenômeno fosse interpretado de maneira distinta, as análises posteriores confirmaram que a intensificação das emissões de CO_2 decorrente do desenvolvimento industrial e tecnológico passou a desempenhar papel central nas mudanças climáticas contemporâneas.

Conforme analisado no capítulo 1, o Acordo de Paris foi concebido como um tratado universal, envolvendo compromissos de todos os Estados-Partes, com o objetivo central de limitar o aumento da temperatura média global a bem menos de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, envidando esforços para limitá-lo a $1,5^\circ\text{C}$.

A mensagem central do Acordo de Paris é a necessidade de transformação dos padrões globais de geração e consumo de energia, estimulando a adoção de fontes renováveis e o desenvolvimento de tecnologias que permitam tornar esses processos progressivamente mais sustentáveis (Fundação Getúlio Vargas, 2017).

Entretanto, em 2024, pela primeira vez, a temperatura média global ultrapassou o limite de $1,5^\circ\text{C}$ acima dos níveis pré-industriais estabelecido como referência pelo Acordo de Paris, alcançando uma média de aproximadamente $15,10^\circ\text{C}$ e tornando-se o ano mais quente já registrado (Silva, 2025).

Nesse contexto, o programa Copernicus, iniciativa da União Europeia voltada ao monitoramento da Terra por meio de dados de satélites e modelos climáticos, fornece importantes análises sobre o estado do clima global. Relatórios do *Copernicus Climate Change Service* indicam a continuidade da elevação das temperaturas globais e o avanço do aquecimento em relação aos níveis pré-industriais.

De acordo com o relatório (2026, p. 9), o ano de 2025 figurou como o terceiro mais quente já registrado, sucedendo as temperaturas sem precedentes observadas em 2023 e 2024. Embora ligeiramente mais frio que 2023, o ano de 2024 permanece como o mais quente da série histórica e o primeiro a apresentar temperatura média claramente superior a 1,5 °C acima do nível pré-industrial:

2025 ranks as the third-warmest year on record, following the unprecedented temperatures observed in 2023 and 2024. It was marginally cooler than 2023, while 2024 remains the warmest year on record and the first year with an average temperature clearly exceeding 1.5°C above the pre-industrial level. 2025 saw exceptional near-surface air and sea surface temperatures, extreme events, including floods, heatwaves and wildfires. Preliminary data² indicate that greenhouse gas concentrations continued to increase in 2025¹⁴.

Além disso, o referido relatório, em seu capítulo *Paris Agreement targets – where are we now and where are we going?* aponta que, até o final de 2025, o planeta terá aquecido aproximadamente 1,4 °C acima do nível pré-industrial. Mantida a taxa média de aquecimento observada nas últimas três décadas, estima-se que o planeta possa atingir cerca de 1,5 °C até o final desta década (*Copernicus Climate Change Service, 2026*).

Nesse contexto, conforme analisado no item anterior, o setor de transportes ocupa posição central no debate sobre emissões de gases de efeito estufa, em razão de sua forte dependência de combustíveis fósseis. Ao longo do processo de expansão da mobilidade motorizada, especialmente a partir da segunda metade do século XX, consolidou-se um modelo energético baseado predominantemente na utilização de derivados do petróleo, como gasolina e diesel.

A queima desses combustíveis nos motores de combustão interna constitui uma das principais fontes de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, além de outros poluentes associados à degradação da qualidade do ar nas áreas urbanas. Em razão disso, o transporte rodoviário, particularmente o transporte individual por automóveis, passou a figurar entre os setores que mais contribuem para o aumento das emissões globais de gases de efeito estufa.

¹⁴ Tradução livre pelo autor: 2025 foi o terceiro ano mais quente já registrado, após as temperaturas sem precedentes observadas em 2023 e 2024. Foi ligeiramente mais frio que 2023, enquanto 2024 permanece o ano mais quente já registrado e o primeiro ano com uma temperatura média claramente superior a 1,5°C acima do nível pré-industrial. 2025 apresentou temperaturas excepcionais próximas à superfície do ar e da água do mar, além de eventos extremos, incluindo inundações, ondas de calor e incêndios florestais. Dados preliminares² indicam que as concentrações de gases de efeito estufa continuaram a aumentar em 2025.

Estima-se que essa atividade seja responsável por aproximadamente 30% do consumo total de energia no mundo e por cerca de 37% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), apresentando maior dependência de combustíveis fósseis quando comparada a outros setores da economia (Silva, 2025).

Diante desse cenário, a necessidade de reduzir as emissões provenientes da mobilidade urbana e interurbana impulsionou a busca por alternativas tecnológicas capazes de substituir ou ao menos reduzir a dependência dos combustíveis fósseis no setor de transportes, promovendo formas mais sustentáveis de deslocamento.

Com isso, entre essas alternativas, os veículos elétricos ganharam destaque no debate contemporâneo por apresentarem potencial de redução das emissões associadas ao transporte rodoviário, especialmente quando integrados a matrizes energéticas com menor intensidade de carbono.

Nesse contexto, é importante distinguir as principais categorias de veículos eletrificados. De modo geral, os veículos elétricos (*Electric Vehicles – EV*) são aqueles cuja propulsão se dá por meio de motor elétrico alimentado por energia armazenada em baterias recarregáveis, na qual a energia química é convertida em energia elétrica e, posteriormente, em energia mecânica (Silva, 2025).

Dentre esses, destacam-se os veículos elétricos a bateria (*Battery Electric Vehicles – BEV*), que operam exclusivamente com eletricidade, sem a utilização de motor a combustão interna, sendo considerados, portanto, 100% elétricos, com recarga realizada por meio da rede elétrica (Silva, 2025).

Por sua vez, os veículos híbridos (*Hybrid Electric Vehicles – HEV*) combinam um motor elétrico com um motor de combustão interna, sendo a alternância entre as fontes de energia realizada automaticamente pelo sistema do veículo, sem possibilidade de recarga externa, já que a bateria é abastecida por meio de frenagem regenerativa e pelo próprio motor a combustão (Silva, 2025).

Por fim, os veículos híbridos plug-in (*Plug-in Hybrid Electric Vehicles – PHEV*) também combinam motor elétrico e motor a combustão, porém diferenciam-se por permitir a recarga da bateria diretamente na rede elétrica, possibilitando a operação em modo

exclusivamente elétrico por determinadas distâncias, o que contribui para a redução do consumo de combustíveis fósseis e das emissões de gases de efeito estufa (Goldenergy, 2024).

Para os fins da presente dissertação, o enfoque recairá sobre os veículos elétricos leves individuais, especialmente aqueles classificados como veículos elétricos a bateria (*Battery Electric Vehicles – BEV*). Nesses modelos, a propulsão é realizada exclusivamente por motor elétrico, não havendo a presença de motor a combustão interna. A energia necessária ao funcionamento do veículo é proveniente de baterias recarregáveis, sendo a recarga realizada por meio de conexão à rede elétrica.

Assim, o veículo elétrico a bateria, também denominado carro elétrico puro, caracteriza-se por utilizar unicamente a energia armazenada em uma célula eletroquímica, composta essencialmente por bateria, motor elétrico e sistema de controle, responsáveis pela conversão da energia elétrica em movimento.

Nesse sentido, a bateria constitui um dos principais elementos que determinam a autonomia dos veículos elétricos, isto é, a distância que podem percorrer com uma única carga. Em modelos mais avançados, essa autonomia pode alcançar aproximadamente 500 quilômetros. Entre as principais vantagens dessa tecnologia destacam-se a ausência de emissões diretas de gases de efeito estufa durante a fase de operação e a redução significativa de ruídos, uma vez que os veículos elétricos não possuem sistema de escapamento (Silva, 2025).

Diferentemente dos chamados veículos convencionais, movidos por motores de combustão interna, que dependem da queima de combustíveis fósseis para gerar energia e, consequentemente, liberam gases poluentes na atmosfera, os veículos elétricos operam por meio de energia armazenada em baterias.

Assim, considerando tais características, os veículos elétricos movidos a bateria apresentam-se como uma alternativa potencialmente relevante no debate sobre a redução das emissões associadas ao transporte (FGV, 2017).

Dessa forma, a adoção de um veículo elétrico envolve não apenas a substituição de um automóvel convencional por outro movido a bateria, mas também uma mudança na forma de abastecimento energético do transporte individual. Diferentemente dos veículos movidos a combustíveis fósseis, cujo abastecimento ocorre em postos de combustível por meio de

gasolina ou diesel, os veículos elétricos são recarregados por meio da conexão à rede elétrica, podendo essa recarga ser realizada em estações públicas de carregamento, instaladas em espaços urbanos como estacionamentos, centros comerciais e rodovias, ou ainda em sistemas de carregamento doméstico.

Dessarte, a utilização de veículos elétricos pressupõe a existência de infraestrutura de recarga e de integração com o sistema elétrico, elementos que passam a desempenhar papel relevante na difusão dessa tecnologia e na transição para modelos de mobilidade com menor emissão de gases de efeito estufa (FGV, 2017).

Apesar de frequentemente associados às inovações tecnológicas mais recentes, os veículos elétricos não constituem uma invenção contemporânea. No plano histórico, é importante destacar que, conforme aponta Arengues (2022, p. 2): “os carros elétricos têm seus primórdios por volta de 1830, antecedendo, inclusive, o surgimento dos veículos equipados com motores de combustão interna”.

A trajetória dos veículos elétricos encontra-se intimamente relacionada ao desenvolvimento das tecnologias de armazenamento de energia, ao desenvolvimento das baterias. Nesse sentido, um marco fundamental ocorreu em 1800, quando o físico italiano Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta desenvolveu a chamada pilha elétrica, conhecida como célula voltaica, capaz de armazenar energia elétrica por meio de reações químicas (Westbrook, 2001).

Esse dispositivo é reconhecido como o primeiro sistema capaz de produzir corrente elétrica contínua a partir de processos químicos. Em reconhecimento à sua contribuição científica, a unidade de medida da tensão elétrica, o volt (V), foi posteriormente denominada em sua homenagem.

Outro avanço decisivo ocorreu em 1831, quando o cientista Michael Faraday demonstrou experimentalmente a relação entre eletricidade e magnetismo por meio do fenômeno conhecido como indução eletromagnética. Essa descoberta representou um marco fundamental na história da física e da tecnologia, pois estabeleceu as bases científicas para o desenvolvimento de motores elétricos, geradores e transformadores. Sem esse princípio físico, seria inviável o desenvolvimento da infraestrutura elétrica moderna e das tecnologias de propulsão elétrica utilizadas atualmente em veículos (Iberdrola, 2026).

Posteriormente, em 1859, o físico francês Gaston Planté desenvolveu a primeira bateria recarregável baseada em chumbo-ácido. Embora não tenha sido responsável pela criação do primeiro automóvel elétrico, sua invenção representou um avanço crucial para o armazenamento de energia elétrica em escala prática. A bateria de chumbo-ácido possibilitou a utilização de energia armazenada para a movimentação de veículos e constituiu um dos principais elementos tecnológicos que viabilizaram os primeiros experimentos de mobilidade elétrica. Além disso, essa tecnologia permanece amplamente utilizada até hoje como bateria auxiliar de partida em veículos equipados com motores de combustão interna (Arengues, 2022).

No final do século XIX surgiram os primeiros veículos elétricos efetivamente destinados ao transporte individual. Em 1888, na Alemanha, foi desenvolvido aquele que é amplamente considerado o primeiro automóvel elétrico da história, o *Flocken Elektrowagen*, criado pelo inventor e empresário Andreas Flocken. O veículo apresentava estrutura semelhante a uma charrete de quatro rodas e era equipado com um motor elétrico de aproximadamente 0,7 kW, alimentado por uma bateria com cerca de 100 kg. Apesar de suas limitações técnicas, o modelo era capaz de atingir velocidade aproximada de 15 km/h, representando um importante passo inicial na aplicação da eletricidade à mobilidade terrestre (Iberdrola, 2026).

O final do século XIX também foi marcado por outro acontecimento relevante para a história da mobilidade elétrica. Em 1899, o engenheiro belga Camille Jenatzy estabeleceu um recorde histórico ao ultrapassar, pela primeira vez, a marca de 100 km/h com um veículo elétrico, atingindo a velocidade de 105,88 km/h. Esse feito demonstrou o potencial da tecnologia elétrica no desenvolvimento dos automóveis e simbolizou um marco importante na evolução da engenharia automobilística (Iberdrola, 2026).

No início do século XX, especialmente entre os anos de 1900 e 1910, os veículos elétricos alcançaram significativa popularidade em diversos centros urbanos, configurando um período frequentemente descrito na literatura como uma das primeiras fases de expansão da mobilidade elétrica.

Naquele momento, os automóveis elétricos apresentavam algumas vantagens em relação às outras tecnologias disponíveis, como os veículos a vapor e os movidos por motores de combustão interna, conforme lecionam Sousa, Vecchio e Costa (2024, p.117): “Na virada

do século XIX para o século XX, os carros elétricos eram populares, especialmente nas áreas urbanas, devido à facilidade de operação e menor emissão de poluentes em comparação com os veículos a combustão”.

Entre essas vantagens destacavam-se o funcionamento mais silencioso, a ausência de vibrações intensas e a maior facilidade de operação, uma vez que não exigiam o esforço físico necessário para dar partida nos motores a combustão por meio de manivelas. Em grandes cidades dos Estados Unidos e da Europa, como Nova York, Londres e Paris, os veículos elétricos passaram a ser utilizados em serviços urbanos, transporte particular e até mesmo em frotas de táxis, consolidando-se temporariamente como uma alternativa viável no nascente mercado automobilístico (Iberdrola, 2026).

No contexto da mobilidade elétrica, um marco importante foi o desenvolvimento do EV1, lançado pela General Motors em 1996. Considerado por muitos estudiosos como um dos primeiros veículos elétricos modernos produzidos em série por uma grande montadora, o modelo representou um avanço relevante no campo da eletrificação automotiva. Equipado inicialmente com baterias de chumbo-ácido, o EV1 possuía autonomia aproximada de até 160 quilômetros por carga. Em versões posteriores, com baterias de níquel-hidreto metálico, essa autonomia poderia alcançar cerca de 225 quilômetros, demonstrando o potencial de evolução das tecnologias de armazenamento de energia aplicadas ao transporte (Iberdrola, 2026).

Apesar desses avanços, a produção do EV1 foi encerrada precocemente em 1999. A General Motors justificou a decisão alegando elevados custos de produção e baixa viabilidade econômica do modelo no mercado automobilístico da época. Como consequência, a maior parte das 1.117 unidades fabricadas foi recolhida pela própria empresa e posteriormente destruída. Esse episódio ganhou grande repercussão no debate público e acadêmico sobre a mobilidade elétrica, sendo retratado no documentário *Who Killed the Electric Car?* (Quem matou o carro elétrico?), lançado em 2006 e dirigido por Chris Paine. O filme analisa os fatores políticos, econômicos e tecnológicos que contribuíram para a descontinuidade do EV1, tornando-se uma referência importante nas discussões sobre os obstáculos históricos enfrentados pela eletrificação do setor automobilístico (Iberdrola, 2026).

No Brasil, iniciativas voltadas ao desenvolvimento de veículos elétricos também surgiram ainda no final do século XX. Entre as experiências pioneiras destaca-se o projeto conduzido pela Gurgel Motores, empresa fundada pelo engenheiro brasileiro João Augusto

Conrado do Amaral Gurgel. Durante as décadas de 1970 e 1980, a empresa desenvolveu o Gurgel Itaipu, considerado um dos primeiros protótipos de automóvel elétrico projetados no país. O modelo utilizava baterias para alimentar o motor elétrico e foi concebido em um contexto marcado por preocupações com a dependência do petróleo, especialmente após as crises energéticas da década de 1970. Apesar do caráter inovador da proposta, o projeto enfrentou limitações tecnológicas, particularmente relacionadas à autonomia das baterias, além de restrições econômicas e estruturais que dificultaram sua produção em escala comercial (EcoFortte, 2025).

Posto isso, embora os veículos elétricos tenham alcançado significativa popularidade no início do século XX, atingindo seu auge por volta de 1912, diversos fatores contribuíram para a progressiva predominância dos automóveis equipados com motores de combustão interna. Entre esses fatores destaca-se o desenvolvimento do sistema de partida elétrica, que solucionou uma das principais dificuldades dos motores a combustão da época, anteriormente acionados por meio de manivelas, tornando sua utilização mais prática e acessível aos motoristas, nesse sentido, Arengues (2022, p.3) comenta que:

A baixa distância percorrida com uma carga de sua bateria e a baixa velocidade alcançada pelos veículos elétricos não conseguiram concorrer em um mundo onde as distâncias se alongavam e carros a combustão entregavam o que a sociedade priorizava no momento. Neste período de virada para o século XX, ter um carro elétrico não era prático, pois não havia uma tecnologia de plugar o carro na tomada residencial e depois sair a passeio. Para carregar o carro seria necessário ir até um posto em um processo nada simples, além do mais as principais desvantagens são o longo tempo de carregamento da bateria, distância limitada em uma única carga e o alto custo da bateria e do carro. Assim, o crescimento do mercado automotivo priorizou quase que unicamente os carros com motores a combustão e os veículos elétricos praticamente desapareceram.

Paralelamente, a introdução do modelo de produção em massa, impulsionado por Henry Ford com o lançamento do Ford T em 1908, revolucionou a indústria automobilística ao reduzir significativamente os custos de fabricação dos veículos movidos a gasolina. Enquanto, em 1912, um automóvel elétrico podia custar cerca de 1.750 dólares, um veículo a gasolina era comercializado por aproximadamente 650 dólares, ampliando sua acessibilidade ao público (Sousa, Vecchio e Costa, 2024).

Soma-se a isso a descoberta e exploração de grandes reservas de petróleo, que tornaram a gasolina amplamente disponível e relativamente barata, além das limitações técnicas enfrentadas pelos veículos elétricos, como a baixa autonomia das baterias e a infraestrutura ainda incipiente de geração e distribuição de eletricidade. A respeito disso,

Sousa, Vecchio e Costa (2024, p. 117) lecionam que:

Por fim, as descobertas de petróleo no Texas durante as primeiras décadas do século XX contribuíram para uma queda acentuada nos preços da gasolina, tornando-a um combustível ainda mais atraente para o setor de transportes. O custo reduzido do combustível, combinado com a acessibilidade dos automóveis a gasolina devido ao sistema de produção em massa, consolidou a supremacia dos veículos movidos a combustão interna sobre os veículos elétricos. As vantagens econômicas e a crescente disponibilidade de gasolina criaram um cenário em que os carros elétricos foram gradualmente deixados de lado, especialmente nos Estados Unidos, onde o transporte rodoviário se tornou cada vez mais dependente do petróleo.

Do exposto, com o aumento das necessidades de mobilidade no período posterior à Primeira Guerra Mundial, a atenção do mercado e das indústrias automobilísticas concentrou-se definitivamente nos veículos equipados com motores de combustão interna, consolidando essa tecnologia como dominante ao longo de grande parte do século XX.

Diante desse conjunto de fatores, os veículos equipados com motores de combustão interna consolidaram-se como a tecnologia dominante no setor automobilístico ao longo do século XX. A combinação entre maior autonomia, menor custo de produção, facilidade de abastecimento e ampla disponibilidade de combustíveis fósseis favoreceu a rápida expansão desse modelo de mobilidade em escala global. Como consequência, os veículos elétricos, que haviam experimentado um período inicial de desenvolvimento e relativa popularidade, foram gradualmente relegados a um papel marginal no mercado automotivo, permanecendo por décadas restritos a aplicações experimentais ou a nichos específicos.

Esse cenário apenas começaria a se alterar no final do século XX e início do século XXI, quando preocupações relacionadas às mudanças climáticas, à segurança energética e aos avanços tecnológicos no armazenamento de energia voltaram a impulsionar o interesse pela eletrificação da mobilidade.

Conforme analisado no capítulo 1 desta pesquisa, o agravamento das mudanças climáticas, aliado às preocupações ambientais e aos compromissos internacionais de redução das emissões de gases de efeito estufa, recolocou em evidência a necessidade de repensar os modelos de transporte baseados em combustíveis fósseis.

Nesse contexto de retomada da mobilidade elétrica, um marco importante ocorreu em 2008 com o lançamento do Tesla Roadster, desenvolvido pela empresa norte-americana Tesla Motors, essa empresa, conforme Costa (2021, p.49): “É a principal empresa no setor de

veículos elétricos, do empresário Elon Musk. Os principais objetivos da companhia é oferecer veículos de alta performance com uma produção de energia limpa”.

Desse modo, o modelo destacou-se por demonstrar que os veículos elétricos poderiam apresentar elevado desempenho e maior autonomia quando comparados às gerações anteriores. Equipado com baterias de íons de lítio, o Tesla Roadster foi capaz de percorrer aproximadamente 350 quilômetros com uma única carga, desempenho considerado significativo para a época. O lançamento do veículo contribuiu para alterar a percepção do mercado automobilístico em relação aos carros elétricos, evidenciando seu potencial tecnológico e impulsionando novos investimentos na eletrificação do setor automotivo em escala global (Iberdrola, 2026).

Com isso Arengues (2022, p.30) comenta que:

Hoje o cenário é diferente. Como desenvolvimento de baterias mais eficientes e duradouras usando eletrodos de lítio ion e com a emergência da descarbonização para alcançar as metas de mudanças climáticas propostas pelo comitê de mudanças climáticas. A pergunta para muitos, já não é mais “se” os carros elétricos substituirão os atuais carros a combustão elétrica. A pergunta atual é “quando” isso acontecerá. Países como a Noruega, Holanda e china traçam metas agressivas para extinguir carros a gasolina e diesel. Tais países têm objetivos de ampliar a eletrificação de suas frotas a partir de 2025. Em um futuro próximo, pretendem que 100% de seus veículos sejam elétricos.

Essa reflexão mostra-se particularmente pertinente, uma vez que o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e a intensificação das políticas ambientais têm contribuído para a crescente inserção dos veículos elétricos no cotidiano, inclusive no contexto brasileiro, evidenciando que a transição energética no setor de transportes já se encontra em curso.

Em estacionamentos de centros comerciais, supermercados, residências e condomínios, tornam-se cada vez mais comuns espaços destinados à recarga desses veículos. Da mesma forma, nas avenidas e rodovias, marcas que até recentemente possuíam pouca expressão no mercado nacional, como BYD, GWM, dentre outras, passam a conviver ao lado de veículos tradicionais movidos a combustíveis fósseis.

Próprias marcas conhecidas como a Ford, de acordo com Costa (2021, p.35):

A própria Ford divulgou que a partir de 2030 comercializará apenas carros elétricos na Europa. Minas Gerais por exemplo anunciou um plano de investimentos de 25 bilhões e reais para fábrica de carros elétricos. Esse intenso investimento na produção de veículos elétricos demonstra a mudança do setor, e novas projeções para o futuro.

A eletromobilidade, que durante muitos anos esteve associada a experiências restritas ou a iniciativas concentradas em países desenvolvidos, passa a ocupar espaço concreto no ambiente urbano brasileiro, integrando progressivamente as discussões sobre mobilidade, inovação tecnológica e sustentabilidade.

Nesse cenário de consolidação da eletromobilidade no Brasil, torna-se relevante destacar a atuação de instituições que contribuem para a organização e o desenvolvimento desse mercado. Entre elas, sobressai a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), entidade civil sem fins lucrativos cuja finalidade consiste na promoção do mercado de veículos eletrificados no país.

Sua atuação abrange o incentivo ao transporte limpo, sustentável e eficiente de pessoas e cargas, bem como o estímulo à geração e à distribuição de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Ademais, a ABVE desempenha papel relevante no fomento à indústria de equipamentos, componentes e serviços associados à mobilidade elétrica, contribuindo para a utilização racional de recursos energéticos não poluentes e para a proteção do meio ambiente (ABVE, 2026).

A partir da atuação institucional da ABVE, os dados divulgados pela entidade permitem uma análise mais concreta da evolução da eletromobilidade no Brasil. Ao longo dos últimos anos, houve um crescimento significativo da frota de veículos leves eletrificados, atingindo aproximadamente 670.292 unidades no período compreendido entre 2012 e fevereiro de 2026. Esse avanço revela a progressiva inserção dessas tecnologias no mercado automotivo nacional, indicando que a eletrificação da mobilidade deixa de ser uma tendência incipiente para se consolidar como uma realidade em expansão (ABVE, 2026).

Além disso, os dados mensais demonstram a continuidade desse crescimento, com destaque para o volume de 24.885 veículos eletrificados comercializados em fevereiro de 2026, evidenciando aumento em relação ao mês anterior. No que se refere à participação no mercado, observa-se que os veículos eletrificados já representam cerca de 14,1% das vendas de veículos leves no país, percentual que reforça a relevância crescente desse segmento no contexto da indústria automobilística nacional (ABVE, 2026).

Assim, a análise dos dados permite constatar que a expansão da eletromobilidade no Brasil ocorre de forma consistente, refletindo mudanças nos padrões de consumo, avanços

tecnológicos e crescentes preocupações ambientais associadas ao setor de transportes. Esse movimento evidencia que a eletrificação da mobilidade deixa de se configurar como tendência incipiente para assumir papel cada vez mais relevante no contexto nacional. Nesse sentido, a compreensão desse processo torna-se fundamental para a avaliação do potencial dos veículos elétricos na redução das emissões no setor de transportes, análise que será aprofundada no item seguinte.

2.3 ELETRIFICAÇÃO VEICULAR NO CONTEXTO BRASILEIRO: POTENCIAL DE REDUÇÃO DE EMISSÕES E ANÁLISE COMPARATIVA COM VEÍCULOS A COMBUSTÃO

A eletrificação veicular tem se consolidado como um dos principais eixos da transição energética no setor de transportes, inserindo-se no contexto mais amplo de enfrentamento das mudanças climáticas e de busca por modelos de mobilidade mais sustentáveis. Nesse cenário, a substituição progressiva de veículos movidos a combustíveis fósseis por alternativas eletrificadas tem sido apontada como estratégia relevante para a redução das emissões de gases de efeito estufa, especialmente em um setor historicamente dependente de fontes energéticas intensivas em carbono.

Nesse contexto, para uma adequada compreensão do papel desempenhado pelos veículos elétricos na redução das emissões no setor de transportes, torna-se necessário, inicialmente, examinar os aspectos básicos de seu funcionamento e das tecnologias que lhes dão suporte. Tal análise permite compreender, de forma mais precisa, as diferenças estruturais entre os veículos eletrificados e aqueles movidos a combustíveis fósseis, especialmente no que se refere à forma de geração e utilização da energia para propulsão.

O funcionamento dos veículos elétricos baseia-se na utilização de um motor elétrico alimentado por energia armazenada em baterias recarregáveis, o que os diferencia dos veículos movidos a combustíveis fósseis, que dependem da queima interna para geração de energia. Nesse contexto, destaca-se que as baterias atualmente utilizadas são predominantemente do tipo íon-lítio, especialmente nas configurações LFP (lítio-ferro-fosfato) e NMC (níquel-manganês-cobalto), sendo responsáveis pelo armazenamento da energia que alimenta o sistema de propulsão do veículo. A evolução dessas tecnologias tem permitido avanços relevantes em termos de autonomia, segurança e durabilidade, contribuindo para a expansão da eletromobilidade (Silva, 2025).

A recarga dessas baterias ocorre por meio de energia elétrica proveniente da rede, constituindo etapa essencial para o funcionamento dos veículos elétricos. Esse processo pode se dar em diferentes modalidades, incluindo o carregamento residencial, geralmente realizado durante a noite, o carregamento em locais de trabalho e o carregamento público, disponível em vias urbanas e estacionamentos.

No contexto nacional, destaca-se o Estado de São Paulo, que, além de liderar o mercado nacional de veículos eletrificados, tem adotado medidas normativas voltadas ao incentivo à eletromobilidade, como a Lei nº 18.403, de 18 de fevereiro de 2026, que assegura ao condômino o direito de instalar, às suas expensas, estação de recarga individual para veículos elétricos em vagas de garagem privativas, desde que observadas normas técnicas e de segurança.

Para a efetivação desse direito, a norma estabelece requisitos técnicos que devem ser observados pelo interessado, dentre os quais se destacam a compatibilidade da instalação com a carga elétrica da unidade autônoma, a conformidade com as normas da distribuidora local de energia elétrica e com os padrões fixados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), bem como a necessidade de realização da instalação por profissional habilitado, com a devida emissão de Anotação ou Registro de Responsabilidade Técnica (ART ou RRT). Além disso, exige-se a comunicação formal prévia à administração do condomínio, garantindo transparência e organização no processo de instalação (São Paulo, 2026).

A legislação também prevê que a convenção condominial poderá disciplinar aspectos relacionados à forma de comunicação, aos padrões técnicos e à responsabilização por eventuais danos ou consumo de energia, não podendo, entretanto, proibir a instalação da estação de recarga sem justificativa técnica ou de segurança devidamente fundamentada e documentada (São Paulo, 2026).

Nesse sentido, busca-se equilibrar o direito individual do condômino com a necessidade de preservação da segurança e da estrutura do condomínio. Ademais, nos casos de recusa imotivada ou de natureza discriminatória por parte da administração condominial, assegura-se ao interessado a possibilidade de apresentar representação junto aos órgãos públicos competentes (São Paulo, 2026).

No que se refere aos empreendimentos imobiliários futuros, a norma estabelece que aqueles cujos projetos sejam aprovados após a sua entrada em vigor deverão prever, em seus sistemas elétricos, capacidade mínima de suporte à instalação de estações de recarga para veículos elétricos. Tal previsão revela uma orientação normativa voltada à adaptação progressiva da infraestrutura urbana às novas demandas da mobilidade sustentável.

Nesse contexto, ao assegurar o direito de instalação de infraestrutura de recarga em condomínios e impor diretrizes para novos empreendimentos, a norma contribui para a adaptação progressiva das cidades às demandas da eletromobilidade. Trata-se, portanto, de medida que, embora de caráter estrutural, dialoga diretamente com a promoção de políticas públicas voltadas à sustentabilidade, ao ampliar as condições materiais necessárias à difusão de tecnologias menos poluentes.

Conforme destacado pela Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE, 2026), tal medida representa avanço relevante ao enfrentar um dos principais entraves à expansão da mobilidade elétrica nos centros urbanos, qual seja, a dificuldade de acesso à recarga em edificações residenciais.

Insta salientar o Projeto de Lei Ordinária apresentado no estado do Amazonas, em 04 de fevereiro de 2026, de autoria da Deputada Alessandra Campêlo, que dispõe sobre o direito à instalação de pontos de recarga de veículos elétricos e híbridos em condomínios edifícios residenciais e comerciais.

O projeto assegura o direito de condôminos, proprietários ou possuidores legítimos de unidades autônomas, à instalação de pontos de recarga para veículos elétricos e híbridos em vagas de garagem vinculadas às respectivas unidades, em condomínios edifícios residenciais e comerciais.

Para a efetivação desse direito, o projeto determina que a instalação deverá observar as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as exigências da concessionária de energia elétrica competente e as normas de segurança contra incêndio expedidas pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Amazonas. Ademais, estabelece que os custos decorrentes da instalação e de eventuais adequações no sistema elétrico serão suportados exclusivamente pelo interessado, não podendo ser repassados aos demais condôminos, salvo deliberação expressa em sentido diverso (Amazonas, 2026).

O projeto também prevê a obrigatoriedade de individualização do consumo de energia elétrica decorrente do uso do ponto de recarga, por meio de medição própria ou outro mecanismo tecnicamente adequado, bem como exige que a execução da instalação seja realizada por profissional legalmente habilitado, com a devida emissão de Anotação de Responsabilidade Técnica ou Registro de Responsabilidade Técnica (Amazonas, 2026).

No que se refere à atuação da administração condominial, a proposta veda a criação de embargos administrativos injustificados à instalação dos pontos de recarga, inclusive por meio da imposição de exigências não previstas em normas técnicas ou legais. Nesse sentido, estabelece que a negativa injustificada poderá caracterizar prática discriminatória, sem prejuízo das responsabilidades civis e administrativas cabíveis (Amazonas, 2026).

Adicionalmente, o projeto autoriza os condomínios a editarem normas internas para disciplinar aspectos operacionais relacionados à instalação e ao uso dos pontos de recarga, desde que tais regras não inviabilizem ou esvaziem o direito assegurado (Amazonas, 2026).

Por fim, a proposta determina que os projetos de edificações condominiais aprovados após a entrada em vigor da futura lei deverão prever, no dimensionamento do sistema elétrico, capacidade técnica que possibilite a instalação futura de pontos de recarga para veículos elétricos, conforme regulamentação a ser definida pelo Poder Executivo. Trata-se, assim, de iniciativa que busca promover a adaptação progressiva da infraestrutura urbana às demandas da mobilidade elétrica no Estado do Amazonas (Amazonas, 2026).

Cumprе destacar, ainda, que a justificativa do referido Projeto de Lei explicita a fundamentação jurídico-política da proposta, evidenciando a preocupação com a promoção da mobilidade elétrica e a superação de entraves práticos à sua difusão no Estado do Amazonas (Amazonas, 2026).

Nesse sentido, o próprio texto justificativo reconhece que a matéria já vem sendo enfrentada por outros entes federativos, mencionando expressamente o já mencionado estado de São Paulo como referência normativa, o qual aprovou legislação assegurando o direito à instalação de pontos de recarga em condomínios, sem qualquer declaração de inconstitucionalidade.

Ademais, a justificativa ressalta que a ausência de regulamentação específica tem gerado conflitos recorrentes no âmbito condominial, com negativas baseadas em critérios

subjetivos, o que desestimula a adoção de tecnologias sustentáveis. Assim, o projeto busca conciliar o direito individual do condômino com a segurança técnica e a autonomia condominial, contribuindo para a modernização da infraestrutura urbana e para o incentivo à mobilidade elétrica no Estado.

No plano internacional, o caso da Noruega constitui exemplo emblemático nesse debate. Conforme reportado pela BBC, o país consolidou-se como líder mundial na adoção de veículos elétricos, que representaram aproximadamente 90% das vendas de carros novos em 2024, resultado de políticas públicas consistentes, incentivos fiscais e ampla infraestrutura de recarga (BBC, 2025).

O caso do Uruguai também se destaca no contexto latino-americano como exemplo relevante de articulação entre eletromobilidade. Conforme destacado em reportagem da BBC, o país apresenta crescimento significativo na adoção de veículos elétricos, impulsionado por políticas públicas consistentes (BBC, 2026).

No que tange à análise da frota elétrica no Brasil (*Battery Electric Vehicles – BEV*), observa-se uma concentração significativa das vendas e da frota nas regiões Sudeste e Sul, com destaque para o Sudeste, responsável por aproximadamente 48,1% do mercado nacional. Em contrapartida, regiões como Norte e parte do Centro-Oeste apresentam participação reduzida, evidenciando um padrão de difusão desigual dessa tecnologia. Dentre os principais fabricantes estão a BYD em primeiro, a Toyota e GWM etc. Dentre seus modelos mais vendidos estão o Dolphin mini, o Song Plus, da BYD, o H6 e Ora da GWM e o Corolla Cross da Toyota (ABVE, 2026).

Posto isso, verifica-se que a eletromobilidade não pode ser analisada de forma isolada, tratando-se de fenômeno condicionado por múltiplos fatores de natureza econômica, institucional e territorial.

Diante dessas considerações, torna-se pertinente estabelecer uma análise comparativa entre os veículos movidos a combustíveis fósseis e os veículos elétricos, a fim de avaliar, de forma integrada, suas respectivas contribuições para a mitigação das mudanças climáticas.

Os veículos movidos a combustíveis fósseis caracterizam-se pela emissão direta de dióxido de carbono (CO₂) e outros poluentes durante sua operação, em razão da queima de gasolina ou diesel em motores de combustão interna. Tais emissões ocorrem de forma

continua ao longo de todo o ciclo de uso do veículo, contribuindo significativamente para a degradação da qualidade do ar nas áreas urbanas e para o agravamento do aquecimento global.

Em contrapartida, os veículos elétricos não apresentam emissões diretas durante sua operação, o que representa uma vantagem ambiental relevante, sobretudo em centros urbanos. Nesse sentido, estudos recentes indicam que veículos elétricos podem apresentar emissões entre 65% e 67% inferiores às dos veículos flex, evidenciando seu potencial de mitigação de gases de efeito estufa (Silva, 2025).

Não obstante, a sustentabilidade dos veículos elétricos não pode ser analisada de forma isolada, uma vez que as emissões associadas ao seu ciclo de vida encontram-se deslocadas para etapas como a geração de eletricidade e a produção de baterias. Conforme demonstrado por Silva (2025) veículos elétricos apresentam emissões médias de aproximadamente 13,3 gCO₂/km, enquanto veículos flex registram cerca de 91,0 gCO₂/km, veículos a gasolina 143,4 gCO₂/km e veículos a diesel 202,8 gCO₂/km. Ainda que as emissões dos veículos elétricos sejam parcialmente elevadas pela produção das baterias, esses veículos mantêm desempenho ambiental mais favorável em relação aos modelos convencionais.

No que se refere ao consumo energético e ao custo operacional, os veículos elétricos apresentam vantagens significativas em razão de sua maior eficiência energética. De acordo com Silva (2025), motores elétricos são capazes de converter cerca de 90% da energia em movimento, enquanto motores a combustão apresentam eficiência média de aproximadamente 25%, evidenciando significativa perda energética nesse último modelo.

Essa diferença estrutural repercute diretamente no consumo e no custo de uso. Dados apresentados por Silva (2025), com base em medições do INMETRO, demonstram que veículos elétricos podem apresentar consumo equivalente a 51,9 km/kWh em uso urbano, enquanto veículos a combustão apresentam médias significativamente inferiores em km por litro.

No tocante à manutenção, os veículos elétricos apresentam menor complexidade mecânica, uma vez que não dependem de sistemas como motor térmico, escapamento, transmissão convencional e lubrificação contínua, o que reduz a necessidade de manutenção preventiva ao longo do tempo. Por outro lado, veículos a combustão demandam manutenção

mais frequente em razão do desgaste de seus componentes e da própria natureza do processo de combustão interna.

Todavia, no caso dos veículos elétricos, as baterias representam componente central sob a perspectiva técnica e econômica, tais baterias sofrem degradação ao longo do tempo, ainda que mantenham capacidade significativa de armazenamento mesmo após o fim de sua vida útil automotiva, possibilitando sua reutilização em aplicações secundárias, como sistemas de armazenamento de energia residencial e redes elétricas, em consonância com os princípios da economia circular (Silva, 2025).

Além do mais, para além dos aspectos técnicos, a manutenção dos veículos elétricos apresenta características distintas no contexto brasileiro, especialmente no que se refere à disponibilidade de peças e à estrutura de assistência técnica. Diferentemente dos veículos a combustão, cuja cadeia produtiva e de reposição encontra-se amplamente consolidada no país, os veículos elétricos ainda dependem, em muitos casos, de componentes importados e de redes de manutenção mais restritas. Em situações de falha ou necessidade de reparo, isso pode resultar em maior tempo de espera para a obtenção de peças e para a realização de serviços técnicos, impactando diretamente a experiência do usuário.

Desse modo, a substituição dos veículos a combustão por veículos elétricos não deve ser compreendida como solução isolada, mas como parte de um processo mais amplo de transição energética, que envolve a transformação simultânea dos sistemas de geração de energia, da infraestrutura de mobilidade e das cadeias produtivas associadas ao setor de transportes. Com o objetivo de sistematizar as principais diferenças entre os veículos a combustão interna e os veículos elétricos, apresenta-se, a seguir, uma tabela comparativa que sintetiza os principais aspectos analisados ao longo deste capítulo:

Tabela 1- Comparação entre veículos a combustão interna com veículos elétricos

Critério	Veículos a Combustão Interna	Veículos Elétricos (BEV)
Fonte de energia	Combustíveis fósseis (gasolina, diesel, etanol)	Energia elétrica armazenada em baterias
Emissões diretas	Elevadas emissões de CO ₂ e poluentes durante a operação	Não emitem poluentes durante o uso
Emissões no ciclo de vida	Elevadas, concentradas no uso do veículo	Reduzidas, deslocadas para produção de energia e baterias
Eficiência energética	Aproximadamente 25% de eficiência	Aproximadamente 90% de eficiência
Consumo energético	Menor rendimento por litro de combustível	Maior rendimento energético (km/KWh)
Custo operacional	Elevado, <i>dependente do preço dos combustíveis fósseis</i>	Reduzido, especialmente com recarga residencial
Manutenção	Frequente, devido à complexidade mecânica (motor, óleo, escapamento)	Menor manutenção preventiva (<i>menos peças móveis</i>)
Peças e assistência	Ampla disponibilidade e rede consolidada	Rede ainda em expansão, com dependência de peças importadas
Tempo de reparo	Geralmente mais rápido	Pode ser maior devido à logística de peças e assistência especializada
Infraestrutura de abastecimento	Ampla e consolidada (postos de combustíveis)	Em expansão, com limitações regionais (eletropostos)
Autonomia e reabastecimento	Alta autonomia e abastecimento rápido	Autonomia variável e recarga mais demorada
Dependência de recursos naturais	Petróleo e derivados	Minerais críticos (lítio, cobalto, níquel)
Impacto ambiental da produção	<i>Menor impacto relativo na fabricação</i>	Elevado impacto na produção de baterias
Ciclo de vida dos componentes	Descarte convencional	Possibilidade de segunda vida das baterias
Adequação ao uso urbano	Boa	Muito eficiente
Sustentabilidade geral	Baixa (<i>emissões contínuas</i>)	Potencialmente alta, <i>dependente da matriz energética</i>

Fonte: Elaborada pelo autor com base nas referências acima mencionadas.

Desse modo, a análise desenvolvida evidencia que a eletrificação veicular representa avanço relevante no processo de descarbonização do setor de transportes, sobretudo em razão de sua maior eficiência energética e da redução das emissões diretas durante a fase de uso. Contudo, verifica-se que sua adoção não se limita à dimensão tecnológica, estando condicionada a fatores econômicos, institucionais e territoriais que influenciam diretamente sua difusão no contexto brasileiro.

Portanto, a transição para um modelo de mobilidade mais sustentável deve ser compreendida como um processo complexo e multifacetado, que envolve não apenas a substituição de tecnologias, mas também a articulação entre políticas públicas, estrutura de mercado e desenvolvimento de infraestrutura. Nesse cenário, tanto as limitações práticas que influenciam a efetividade da eletromobilidade quanto os instrumentos jurídicos e econômicos voltados ao seu fomento, especialmente os incentivos tributários relacionados ao IPVA, serão analisados de forma mais aprofundada no capítulo seguinte.

CAPÍTULO 3 – EXTRAFISCALIDADE DO IPVA E ELETROMOBILIDADE: ENTRE O INCENTIVO TRIBUTÁRIO E OS LIMITES DA (IN)VIABILIDADE PRÁTICA NO CONTEXTO BRASILEIRO

A consolidação da eletromobilidade como estratégia voltada à mitigação das mudanças climáticas não se restringe à evolução tecnológica dos veículos elétricos, tampouco à adoção de instrumentos econômicos de incentivo, exigindo uma análise integrada que considere, simultaneamente, os mecanismos de indução estatal e as limitações práticas que condicionam sua efetividade.

Nesse contexto, a atuação do Estado, por meio de instrumentos jurídicos e econômicos, assume papel relevante na promoção de padrões mais sustentáveis de mobilidade. Dentre tais instrumentos, destaca-se a tributação, especialmente quando utilizada em sua dimensão extrafiscal, permitindo a indução de comportamentos e o estímulo à adoção de tecnologias menos poluentes, como os veículos elétricos e híbridos. No ordenamento jurídico brasileiro, o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) apresenta potencial significativo nesse sentido, uma vez que sua incidência sobre bens diretamente relacionados à emissão de poluentes possibilita sua utilização como instrumento de política pública ambiental.

Todavia, a efetividade desses incentivos não pode ser analisada de forma isolada, sendo necessário considerar as condicionantes econômicas, tecnológicas e estruturais que influenciam a difusão da eletromobilidade no território nacional. Dessa forma, o capítulo busca articular a análise jurídica dos incentivos tributários com a realidade prática da eletromobilidade, evidenciando que a promoção de uma mobilidade sustentável depende não apenas da atuação normativa do Estado, mas também da superação de desafios estruturais que condicionam sua implementação.

3.1 COMPETÊNCIA TRIBUTÁRIA E EXTRAFISCALIDADE DO IPVA NO INCENTIVO À ADOÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM CONTEXTO CLIMÁTICO.

O poder de tributar constitui uma das expressões mais relevantes da soberania estatal, na medida em que viabiliza a obtenção dos recursos necessários à realização das atividades típicas do Estado. Nesse sentido, conforme leciona Machado (2019, p. 27), “no exercício de sua soberania, o Estado exige que os indivíduos lhe forneçam os recursos de que necessita, instituindo o tributo”, de modo que o poder de tributar representa parcela essencial da própria soberania.

Conforme leciona Sabbag (2018, p.39): “O Estado necessita, em sua atividade financeira, captar recursos materiais para manter sua estrutura, disponibilizando ao cidadão-contribuinte os serviços que lhe compete, como autêntico provedor das necessidades coletivas”.

Desse modo, evidencia-se que a tributação se apresenta como instrumento indispensável à manutenção e ao funcionamento do Estado, permitindo a concretização de suas finalidades institucionais e a efetivação dos direitos fundamentais. A arrecadação tributária, nesse contexto, não se configura como um fim em si mesma, mas como meio necessário à viabilização das atividades estatais, assegurando a prestação de serviços públicos e a promoção do bem-estar social.

Conforme reforça Sabbag, (2018, p.39): “A cobrança de tributos se mostra como a principal fonte das receitas públicas, voltadas ao atingimento dos objetivos fundamentais insertos no art. 3º da Constituição Federal”. Assim, o poder de tributar revela-se elemento estruturante da organização estatal, indispensável à realização do interesse público.

Nos termos do art. 3º do Código Tributário Nacional (CTN), tributo é definido como “toda prestação pecuniária compulsória, em moeda ou cujo valor nela se possa exprimir, que não constitua sanção de ato ilícito, instituída em lei e cobrada mediante atividade administrativa plenamente vinculada” (Brasil, 2026).

Tal definição evidencia os elementos essenciais do tributo, destacando seu caráter obrigatório, sua natureza pecuniária, a necessidade de previsão legal para sua instituição e a vinculação da atividade administrativa à cobrança, afastando qualquer discricionariedade estatal nesse processo.

No ordenamento jurídico brasileiro, os tributos se subdividem em diferentes espécies, conforme previsto na Constituição Federal e no Código Tributário Nacional. Tradicionalmente, reconhecem-se como espécies tributárias os impostos, as taxas e as contribuições de melhoria, nos termos do art. 145 da Constituição Federal e do art. 5º do CTN. Ademais, a Constituição também prevê a instituição de empréstimos compulsórios, conforme o art. 148, e das contribuições especiais, previstas no art. 149 e 149-A (Machado, 2019).

Cada uma dessas espécies possui características próprias quanto à sua finalidade, hipótese de incidência e destinação, sendo os impostos caracterizados pela não vinculação a uma atividade estatal específica, ao passo que as demais espécies apresentam, em maior ou menor grau, relação com uma atuação estatal determinada.

Tradicionalmente, os tributos são compreendidos sob sua função fiscal, isto é, como instrumentos voltados à arrecadação de receitas destinadas ao financiamento das despesas públicas. Nos dizeres de Minardi (2021, p.35) “Um tributo será fiscal quando ele visar tão somente ao abastecimento dos cofres públicos, sem quaisquer outros interesses. Sua pretensão constitui puramente de obtenção de receitas para a realização de despesas voltadas ao interesse público”.

Desse modo, a compreensão tradicional dos tributos como instrumentos voltados primordialmente à arrecadação revela apenas uma das dimensões do fenômeno tributário, vinculada à necessidade de financiamento das atividades estatais. Embora essa função fiscal seja essencial à manutenção da estrutura do Estado e à realização do interesse público, ela não esgota as potencialidades do sistema tributário.

Nesse contexto, torna-se necessário avançar para uma análise que ultrapasse a perspectiva estritamente arrecadatória, permitindo compreender o tributo também como mecanismo apto a influenciar comportamentos e orientar políticas públicas.

Nesse sentido, emerge a função extrafiscal dos tributos, que se caracteriza pela utilização da tributação não apenas com finalidade arrecadatória, mas como instrumento de intervenção estatal na ordem econômica e social. Por meio da extrafiscalidade, o Estado passa a empregar os tributos como mecanismo de indução de comportamentos, podendo estimular ou desestimular determinadas condutas conforme os objetivos de política pública previamente estabelecidos.

Minardi (2021, p.36) leciona que: “Diferentemente dos tributos fiscais, cuja finalidade é tão somente o abastecimento dos cofres públicos, para financiar o bem comum, o tributo extrafiscal constitui um instrumento para estimular ou desestimular condutas, na busca de objetivos econômicos, sociais e políticos do Estado”.

Payão e Ribeiro (2016, p. 290) também corroboram que:

É possível identificar dois aspectos existentes na tributação: a fiscalidade e a extrafiscalidade, que se diferenciam quanto aos efeitos. Os tributos ditos fiscais pretendem a arrecadação de recursos aos cofres públicos, ou seja, detêm uma natureza iminentemente arrecadatória. Enquanto que o tributo extrafiscal não se limita ao repasse de recursos do contribuinte ao Estado, mas sim, pretende interferir na ordem econômica e social, mediante o fomento ou a limitação de comportamentos dos entes privados.

Nessa perspectiva, a extrafiscalidade assume papel central na concretização de valores constitucionalmente consagrados, permitindo ao Estado utilizar a tributação como mecanismo de indução de condutas alinhadas ao interesse público. Conforme destaca Costa (2005, p. 321) “a extrafiscalidade consiste no emprego de instrumentos tributários para o atingimento de finalidades não arrecadatórias, voltadas à promoção de comportamentos desejáveis ou à inibição de práticas contrárias ao interesse coletivo”.

No campo ambiental, essa função extrafiscal revela-se particularmente relevante, na medida em que possibilita a utilização do sistema tributário como instrumento de proteção ao meio ambiente, incentivando práticas sustentáveis e desestimulando atividades potencialmente poluidoras.

De acordo com Minardi (2021, p.39):

Pode-se mencionar como exemplo de tributação fiscal e extrafiscal ao mesmo tempo, o tributo ambiental, uma vez que a extrafiscalidade está presente na medida que em que o tributo é utilizado de forma diversa e mais onerosa para aquele que age em desconformidade com políticas de proteção ao meio ambiente.

Tal diretriz foi reforçada pela Emenda Constitucional nº 132/2023, que, ao promover a reforma do sistema tributário brasileiro, acrescentou o § 3º ao art. 145 da Constituição Federal, estabelecendo a defesa do meio ambiente como um dos princípios do Sistema Tributário Nacional (Brasil, 2026).

Dessa forma, a tributação passa a incorporar, de maneira mais explícita, a dimensão ambiental, exigindo que a instituição e a aplicação dos tributos observem critérios de sustentabilidade, em consonância com os objetivos de mitigação das mudanças climáticas e de promoção do desenvolvimento sustentável.

Payão e Ribeiro (2016, p.294) lecionam que: “O exercício da extrafiscalidade a favor do meio ambiente é fundamental, especialmente em países como o Brasil, com vastas áreas verdes e desigualdades regionais acentuadas pela extensão territorial avantajada”.

Nesse contexto, destaca-se o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), de competência dos Estados e do Distrito Federal, previsto no art. 155, inciso III, da Constituição Federal, cuja incidência recai sobre a propriedade de veículos automotores, caracterizando-se como imposto de natureza patrimonial, não vinculado a uma contraprestação estatal específica. De acordo com Paulsen (2013, p.308): “O IPVA tem como fato gerador a propriedade de veículo automotor de qualquer espécie, de competência dos Estados e do DF”.

Embora tradicionalmente concebido sob a perspectiva fiscal, o IPVA apresenta relevante potencial extrafiscal, especialmente quando analisado à luz das demandas contemporâneas relacionadas à proteção ambiental e à mitigação das mudanças climáticas. Isso porque, ao incidir sobre bens que impactam diretamente o meio ambiente, como os veículos automotores, o imposto pode ser estruturado de modo a influenciar o comportamento dos contribuintes, incentivando a adoção de tecnologias menos poluentes.

No âmbito da extrafiscalidade, a utilização de benefícios fiscais constitui uma das principais ferramentas à disposição do Estado para induzir comportamentos socialmente desejáveis. No caso do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), tais benefícios podem assumir diferentes formas, destacando-se, entre as mais comuns, a isenção e a redução de alíquota.

A isenção consiste na dispensa legal do pagamento do tributo, afastando integralmente a obrigação tributária para determinados bens ou situações específicas. A redução de alíquota, por sua vez, implica a diminuição do percentual aplicado sobre a base de cálculo do imposto, resultando em menor carga tributária, sem afastar completamente a incidência do tributo (Machado, 2019).

Cumprе destacar que a própria Constituição Federal autoriza expressamente a utilização do IPVA com finalidade extrafiscal, especialmente no que se refere à proteção ambiental. Nos termos do art. 155, § 6º, inciso I, o imposto poderá ter alíquotas diferenciadas em função do tipo, do valor, da utilização e do impacto ambiental do veículo. Tal previsão constitucional confere aos Estados e ao Distrito Federal a possibilidade de estruturar a tributação de forma seletiva, permitindo a adoção de critérios que levem em consideração o grau de poluição ou a eficiência energética dos veículos (Brasil, 2026).

Insta salientar que, conforme analisado no Capítulo 1, o enfrentamento das mudanças climáticas no ordenamento jurídico brasileiro se estrutura por meio de diversos instrumentos normativos e políticas públicas voltadas à mitigação das emissões de gases de efeito estufa, em consonância com compromissos internacionais assumidos pelo país, como o Acordo de Paris.

Nesse sentido, a tributação pode desempenhar papel relevante como instrumento de indução de comportamentos sustentáveis. Conforme destacam Caetano e Moreira (2025, p.68):

A isenção do IPVA e outros benefícios fiscais buscam tornar-se os veículos elétricos e híbridos mais acessíveis para a população, promovendo a modernização da frota e contribuindo para os objetivos nacionais de sustentabilidade e redução de emissões, alinhados com os compromissos assumidos no Acordo de Paris e nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs).

Desse modo, benefícios fiscais, como a isenção do IPVA, buscam ampliar a acessibilidade aos veículos elétricos e híbridos, incentivando a renovação da frota e colaborando para o cumprimento das metas brasileiras de sustentabilidade e redução de emissões, em conformidade com o Acordo de Paris e as NDCs.

Portanto, evidencia-se que o constituinte derivado reconheceu o potencial do IPVA como instrumento de política pública ambiental, possibilitando a isenção ou redução da carga tributária incidente sobre veículos menos poluentes, como os elétricos, ao mesmo tempo em que admite a majoração ou manutenção de alíquotas mais elevadas para veículos movidos a combustíveis fósseis. Trata-se, portanto, de mecanismo normativo que viabiliza a concretização da extrafiscalidade tributária, alinhando o sistema tributário aos objetivos de sustentabilidade e mitigação das mudanças climáticas.

3.2 MAPEAMENTO COMPARADO DOS REGIMES ESTADUAIS: ESTRUTURA DO IPVA APLICADO AOS VEÍCULOS ELÉTRICOS.

A análise da extrafiscalidade do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) no contexto da eletromobilidade exige a observação das distintas estratégias adotadas pelos entes subnacionais, uma vez que a competência para sua instituição e regulamentação é atribuída aos Estados e ao Distrito Federal. Nesse cenário, verifica-se a existência de

significativa heterogeneidade normativa, refletindo diferentes graus de incentivo à adoção de veículos elétricos no território nacional.

Insta salientar que a própria Constituição Federal passou a fornecer fundamento normativo expresso para a utilização do IPVA com finalidade extrafiscal sob a perspectiva ambiental. Nos termos do art. 155, § 6º, inciso I, o imposto poderá ter alíquotas diferenciadas em função do tipo, do valor, da utilização e do impacto ambiental do veículo. Importa ressaltar que a referência expressa ao impacto ambiental constitui inovação introduzida pela Emenda Constitucional nº 132/2023, inexistente na redação constitucional anterior, o que evidencia o fortalecimento da dimensão ambiental no âmbito da tributação.

Ademais, a referida reforma também elevou a proteção ao meio ambiente à condição de princípio do Sistema Tributário Nacional, reforçando o papel da extrafiscalidade como instrumento de promoção de comportamentos sustentáveis. Nesse contexto, confere-se aos Estados e ao Distrito Federal base constitucional mais robusta para a adoção de tratamentos tributários diferenciados voltados ao incentivo de tecnologias menos poluentes, como os veículos elétricos. De modo geral, os Estados brasileiros têm adotado modelos de tratamento tributário em relação aos veículos eletrificados como a concessão de isenção do imposto e aplicação de alíquotas reduzidas.

No que se refere à concessão de isenção, observa-se que diversos entes federativos têm utilizado o IPVA como instrumento direto de incentivo à eletromobilidade, afastando integralmente a incidência do imposto sobre veículos de menor impacto ambiental. Nesse contexto, destacam-se estados como o Rio Grande do Sul (Lei nº 8.115/1985, art. 4º, II), que concede isenção aos veículos de força motriz elétrica; o Ceará (Lei nº 12.023/1992, art. 4º, IX), que prevê o benefício para veículos movidos a motor elétrico; e Pernambuco (Lei nº 10.849/1992, art. 13-C, XIII), que assegura isenção aos veículos movidos exclusivamente a motor elétrico, evidenciando a adoção de critérios que privilegiam a propulsão elétrica pura.

Além do mais, verifica-se a ampliação desse modelo em outros entes federativos, como Bahia (Lei nº 6.348/1991, art. 4º, XIII), que concede isenção para veículos 100% elétricos de até R\$ 300.000,00, Maranhão (Lei nº 5.594/1992, art. 9º, XI), que prevê isenção para veículos movidos a força motriz elétrica, e Paraíba (Lei nº 11.007/2017, art. 4º, XIX), que também assegura o benefício para veículos exclusivamente elétricos.

No âmbito da região Norte, destaca-se o Estado do Pará (Lei nº 6.017/1996), que, além de instituir isenção para veículos elétricos novos ou usados de até R\$ 150.000,00, apresenta relevante contribuição ao estabelecer definição normativa expressa do que se entende por veículo automotor elétrico, conceituando-o como “aquele impulsionado exclusivamente por propulsão elétrica, sem a utilização de motor a combustão interna, ainda que de forma auxiliar ou complementar.” Tal previsão confere maior precisão jurídica à aplicação do benefício fiscal, reduzindo ambiguidades interpretativas e fortalecendo a segurança jurídica no âmbito da tributação ambiental.

No que tange ao Distrito Federal (Lei nº 6.466/2019, art. 2º, XIII), observa-se tratamento mais abrangente, na medida em que a isenção alcança não apenas os veículos movidos a motor elétrico, mas também os denominados híbridos, ampliando o alcance da política extrafiscal e evidenciando abordagem mais flexível quanto às tecnologias de propulsão incentivadas.

De forma distinta, o Estado de Minas Gerais adota modelo de isenção condicionada, conforme previsto na Lei nº 14.937/2003, art. 3º, XIX. A norma concede isenção do IPVA para veículos novos fabricados no próprio Estado, cujo motor de propulsão seja movido a energia elétrica, bem como para veículos híbridos, além de veículos movidos a gás natural e etanol, desde que respeitado o limite de valor de até 36.000 UFEMGs. Observa-se, assim, que a política adotada pelo ente mineiro não se limita à dimensão ambiental, incorporando também critérios de natureza econômica, ao vincular o benefício à produção local, o que evidencia a utilização do IPVA como instrumento extrafiscal de caráter multifinalitário.

Por fim, destaca-se o caso do Estado de São Paulo, que instituiu regime específico de incentivo por meio da Lei nº 13.296/2008, com redação dada pela Lei nº 18.065/2024, prevendo a isenção do IPVA, no período de 1º de janeiro de 2025 a 31 de dezembro de 2026, para veículos movidos exclusivamente a hidrogênio ou híbridos com motor elétrico e motor a combustão que utilize etanol, desde que respeitado o limite de valor de até R\$ 250.000,00.

Dessarte, para melhor visualização dos regimes de isenção total do IPVA aplicáveis aos veículos elétricos no Brasil, apresenta-se, a seguir, uma tabela contendo os entes federativos que adotam essa política, com a respectiva fundamentação normativa e a abrangência do benefício concedido. Tal sistematização permite identificar, de forma mais

clara, os critérios utilizados pelos Estados e pelo Distrito Federal na implementação da isenção como instrumento de incentivo à eletromobilidade.

Tabela 2 - Estados que concederam isenção total para veículos elétricos.

Estado / DF	Fundamentação Legal	Abrangência da Isenção	Observações
 Rio Grande do Sul	Lei nº 8.115/1985, art. 4º, II	Veículos de força motriz elétrica	Isenção ampla para veículos elétricos.
 Ceará	Lei nº 12.023/1992, art. 4º, IX	Veículos movidos a motor elétrico	Isenção para veículos com propulsão elétrica.
 Pernambuco	Lei nº 10.849/1992, art. 13-C, XIII	Veículos movidos exclusivamente a motor elétrico	Benefício direcionado à propulsão elétrica pura.
 Bahia	Lei nº 6.348/1991, art. 4º, XIII	Veículos 100% elétricos até R\$ 300.000,00	Isenção condicionada ao limite de valor.
 Maranhão	Lei nº 5.594/1992, art. 9º, XI	Veículos movidos a força motriz elétrica	Isenção para veículos com propulsão elétrica.
 Paraíba	Lei nº 11.007/2017, art. 4º, XIX	Veículos movidos exclusivamente a motor elétrico	Benefício voltado à propulsão elétrica pura.
 Pará	Lei nº 6.017/1996, art. 3º, XXVII e § 6º	Veículos elétricos (novos ou usados) até R\$ 150.000,00	Define veículo elétrico como aquele impulsionado exclusivamente por propulsão elétrica.
 Distrito Federal	Lei nº 6.466/2019, art. 2º, XIII	Veículos elétricos e híbridos	Isenção ampla, incluindo tecnologias híbridas.
 Minas Gerais	Lei nº 14.937/2003, art. 3º, XIX	Veículos novos elétricos, híbridos, a gás natural ou etanol, fabricados no Estado, até 36.000 UFEMGs	Isenção condicionada à produção local e ao limite de valor. Instrumento com foco ambiental e econômico.
 São Paulo	Lei nº 13.296/2008 (Lei nº 18.065/2024)	Veículos a hidrogênio ou híbridos (motor elétrico + combustão a etanol) até R\$ 250.000,00	Isenção temporária: 01/01/2025 a 31/12/2026. Política seletiva, voltada a tecnologias de transição.

Fonte: Elaborada pelo autor com base nas referências acima mencionadas.

Desse modo, observa-se que a isenção do IPVA não se apresenta de forma uniforme, assumindo diferentes configurações normativas, que variam desde modelos amplos até regimes condicionados e seletivos, evidenciando a utilização do tributo como instrumento de política pública adaptado às realidades econômicas de cada ente federativo.

No que diz respeito à aplicação de alíquotas reduzidas, verifica-se a adoção de estratégias intermediárias por parte de alguns entes federativos, que optam por manter a incidência do tributo, porém em patamares inferiores aos aplicados aos veículos convencionais. Nesse contexto o estado do Rio de Janeiro, estabelece alíquota de 0,5% para veículos exclusivamente elétricos (Lei nº 7.068/2015, art. 10, VII), em contraste com a alíquota ordinária de 4% (art. 10, I) aplicada aos veículos em geral, evidenciando uma significativa redução da carga tributária e a utilização do imposto como instrumento de incentivo à adoção de tecnologias menos poluentes.

No mesmo sentido, o Estado do Rio Grande do Norte adota política semelhante, ao estabelecer, nos termos da Lei nº 6.967/1996, alíquota ordinária de 3% para veículos em geral (art. 4º, III), ao passo que institui alíquota inicial de 0,5% para veículos movidos a motor elétrico (art. 4º-A). Destaca-se, ainda, que o referido dispositivo prevê a elevação gradual dessa alíquota ao longo do tempo, mediante acréscimos anuais, até o limite correspondente à fração de metade das alíquotas aplicáveis aos veículos convencionais, evidenciando a adoção de mecanismo progressivo de incentivo à eletromobilidade.

De igual modo, o Estado do Piauí adota regime de alíquotas diferenciadas, conforme previsto na Lei nº 4.548/1992. Nos termos do art. 14, as alíquotas aplicáveis aos veículos convencionais variam entre 2,5% e 3%, a depender do valor venal do bem, ao passo que os veículos movidos exclusivamente a motor elétrico estão sujeitos à alíquota reduzida de 1,0%. Tal diferenciação evidencia a utilização do IPVA como instrumento de incentivo à eletromobilidade, mediante a redução da carga tributária em relação aos veículos movidos a combustíveis fósseis.

No que diz respeito ao estado do Amazonas, observa-se a adoção de modelo de incentivo baseado na redução de alíquotas do IPVA, conforme disciplinado na Lei Complementar nº 19/1997 (Código Tributário Estadual), com alterações posteriores. Inicialmente, o regime geral estabelecia alíquotas modais de 3,5% (posteriormente 4%) para veículos com capacidade superior a 1000 c.c. e de 2,5% (posteriormente 3%) para aqueles com capacidade inferior, a partir das alterações promovidas pela Lei Complementar nº 242/2022.

No que se refere aos veículos elétricos e híbridos, a Lei Complementar nº 259/2023 instituiu alíquota específica de 3%, representando, à época, uma redução em relação às alíquotas ordinárias aplicáveis aos veículos convencionais.

Registre-se, ainda, que, em 04 de fevereiro de 2025, foi apresentado projeto de lei de iniciativa parlamentar, de autoria do Deputado Estadual Péricles com o objetivo de ampliar os incentivos à eletromobilidade no estado do Amazonas, prevendo a concessão de isenção de 50% da alíquota do IPVA para veículos elétricos, pelo prazo de cinco anos, desde que emplacados localmente.

A proposição, contudo, foi integralmente vetada pelo Chefe do Poder Executivo, sob o fundamento de incompatibilidade com o ordenamento jurídico tributário estadual, notadamente em razão da já existência de alíquota reduzida para veículos com motorização elétrica, o que implicaria sobreposição de benefícios fiscais e redução desproporcional da carga tributária. Ademais, o veto apontou violação a princípios como a capacidade contributiva, a isonomia e a justiça fiscal, bem como destacou a ausência de estimativa de impacto orçamentário-financeiro e de medidas compensatórias, em afronta às exigências da Lei de Responsabilidade Fiscal (Amazonas, 2025).

Posteriormente, sobreveio a Lei Complementar nº 280, de 22 de outubro de 2025, que promoveu significativa reestruturação do regime do IPVA no Estado do Amazonas, mediante a redução de 50% das alíquotas aplicáveis aos veículos automotores. Com efeitos a partir de 1º de janeiro de 2026, a norma fixou, entre outros pontos, alíquota de 2% para veículos de maior capacidade e de 1,5% para veículos de menor potência, bem como para aqueles que utilizam motor elétrico, isoladamente ou em combinação com motor a combustão, consolidando, assim, a redução da carga tributária incidente sobre esses veículos.

Não obstante os fundamentos apresentados pelo Poder Executivo para o veto da proposta legislativa anterior, verifica-se que a posterior edição da Lei Complementar nº 280/2025 promoveu redução equivalente das alíquotas do IPVA, ainda que de forma generalizada, indicando que a questão não se limitava à redução da carga tributária em si, mas à forma de sua implementação e à observância dos requisitos formais exigidos pelo ordenamento jurídico, especialmente aqueles previstos na Lei de Responsabilidade Fiscal.

Cumprê destacar, ainda, que o Estado do Amazonas não tem se limitado à utilização do IPVA como instrumento de incentivo à eletromobilidade, adotando também medidas de caráter mais amplo no âmbito das políticas públicas ambientais e industriais. Nesse sentido, a Lei nº 7.039, de 03 de setembro de 2024, instituiu o programa de fomento à fabricação e produção de automóveis movidos a energia elétrica no Estado, com o objetivo de promover o desenvolvimento da indústria automobilística sustentável, a redução das emissões de gases poluentes e a melhoria da qualidade do ar.

A referida norma prevê, entre outras medidas, a concessão de incentivos fiscais e financeiros às empresas do setor, o estímulo à pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico,

bem como a implementação de ações de conscientização ambiental voltadas ao incentivo do consumo e da produção de veículos elétricos.

Posto isso, considerando a vocação ambiental do Estado do Amazonas, observa-se que sua atuação no âmbito tributário revela-se mais cautelosa quando comparada a outros entes federativos que optaram pela concessão de isenção integral do IPVA para veículos elétricos. Desse modo, para fins de sistematização dos regimes de alíquotas reduzidas do IPVA aplicáveis aos veículos elétricos, apresenta-se, a seguir, uma tabela com os principais entes federativos que adotam essa estratégia intermediária de incentivo:

Tabela 3 - Estados que concederam alíquotas reduzidas para veículos elétricos.

Estado	Fundamentação Legal	Alíquota para Eletrificados	Observações
 Rio de Janeiro	Lei nº 7.068/2015	0,5%	Exclusivo para elétricos; alíquota convencional de 4%.
 Rio Grande do Norte	Lei nº 6.967/1996	0,5% (inicial)	Aumento progressivo até metade da alíquota convencional (3%).
 Piauí	Lei nº 4.548/1992	1,0%	Exclusivo para elétricos; alíquota convencional entre 2,5% e 3%.
 Amazonas	Lei Comp. nº 280/2025	1,5%	Abrange elétricos e híbridos; alíquota convencional de 3%.

Fonte: Elaborada pelo autor com base nas referências acima mencionadas.

A análise dos dados evidencia que a redução de alíquotas configura estratégia amplamente utilizada como mecanismo extrafiscal de incentivo à eletromobilidade, permitindo a manutenção da arrecadação tributária, ainda que em níveis inferiores, ao mesmo tempo em que estimula a adoção de veículos menos poluentes. Tal modelo revela-se alternativa intermediária entre a isenção total e a ausência de benefícios fiscais, refletindo equilíbrio entre a função arrecadatória e a função indutora do tributo.

Do exposto, verifica-se que os entes federativos adotam diferentes configurações de incentivo tributário, seja por meio da isenção integral, seja pela aplicação de alíquotas reduzidas, evidenciando a utilização do IPVA como instrumento relevante de política pública voltada à promoção da mobilidade sustentável.

Logo, a utilização do IPVA como instrumento de incentivo à eletromobilidade revela-se compatível com a ordem constitucional vigente, não apenas em razão do dever de proteção ao meio ambiente consagrado no art. 225 da Constituição Federal, mas também à luz do princípio da preservação do meio ambiente no âmbito do Sistema Tributário Nacional, que reforça a possibilidade de utilização dos tributos com finalidade extrafiscal.

Assim, evidencia-se que a tributação pode desempenhar papel relevante na indução de comportamentos sustentáveis, sem prejuízo de sua função arrecadatória. Não obstante, a efetividade desses mecanismos demanda análise para além da dimensão normativa, exigindo a consideração dos fatores práticos que condicionam sua implementação, os quais serão examinados no item seguinte.

3.3 LIMITES À EFETIVIDADE DA ELETROMOBILIDADE: ANÁLISE DA (IN)VIABILIDADE PRÁTICA NO CONTEXTO BRASILEIRO.

A eletromobilidade vem se consolidando como uma alternativa relevante no contexto da transição energética no setor de transportes, acompanhando tendências globais de descarbonização e refletindo mudanças nos padrões de consumo e inovação tecnológica. No Brasil, embora se observe crescimento progressivo da frota de veículos eletrificados, tal expansão ainda ocorre de forma gradual e condicionada a uma série de fatores estruturais, econômicos e tecnológicos que influenciam diretamente o ritmo de difusão dessa tecnologia no território nacional.

Nesse cenário, torna-se fundamental analisar não apenas os instrumentos de incentivo à sua adoção, mas, sobretudo, os limites à sua efetividade prática, relacionados, entre outros aspectos, ao elevado custo de aquisição, à dependência de tecnologias específicas para o armazenamento de energia, à necessidade de expansão da infraestrutura de recarga e às questões ambientais envolvendo a produção e o descarte de baterias.

Tais elementos evidenciam que a transição para um modelo de mobilidade mais sustentável não se apresenta como um processo linear, mas sim como uma transformação complexa, que envolve condicionantes econômicos, tecnológicos e ambientais que demandam análise cuidadosa e integrada (Sousa; Vecchio; Costa, 2024).

Entre os principais desafios associados à eletrificação veicular, destaca-se o papel das baterias, que constituem o elemento central para o funcionamento dos veículos elétricos. Embora os avanços tecnológicos recentes tenham ampliado significativamente a autonomia e a eficiência desses sistemas, as baterias ainda apresentam limitações relevantes sob a perspectiva econômica, tecnológica e ambiental.

A evolução das tecnologias de armazenamento de energia em veículos elétricos teve início com as baterias de chumbo-ácido, amplamente utilizadas desde o final do século XIX, caracterizadas pelo baixo custo e relativa confiabilidade, porém limitadas pela baixa densidade energética, elevado peso e reduzida vida útil (FGV, 2017).

Na sequência, surgiram as baterias de níquel-cádmio (NICD), que representaram avanço em termos de durabilidade e capacidade de recarga, mas apresentaram restrições significativas em razão da toxicidade do cádmio. Posteriormente, as baterias de níquel-hidreto metálico (NIMH) consolidaram-se como uma alternativa mais eficiente e ambientalmente menos problemática, sendo amplamente empregadas em veículos híbridos, em razão de sua maior densidade energética e melhor desempenho (FGV, 2017).

Nesse sentido, Silva (2025, p.33) observa que:

As baterias de hidreto metálico de níquel (Ni-MH) podem ser consideradas como as sucessoras das baterias de níquel-cádmio, com a vantagem de não conterem metais pesados tóxicos em sua composição, e de possuírem maior densidade de energia. Baterias Ni-MH provaram ser muito efetivas pela aplicação em alguns modelos de veículos elétricos. Desenvolvidas em particular pela Toyota, seus componentes incluem um cátodo de hidróxido de níquel, um ânodo de ligas que absorvem hidrogênio e um eletrólito de hidróxido de potássio. A densidade de energia de uma bateria de Ni-MH é mais que o dobro de uma de chumbo-ácido, porém menor que de baterias de íons de lítio.

Ainda assim, tais tecnologias não se mostraram suficientes para atender às crescentes demandas por autonomia, eficiência e redução de peso na eletromobilidade. Nesse contexto, emergem as baterias de íon-lítio, que se consolidaram como padrão tecnológico dominante, ao aliarem elevada densidade energética, menor massa e maior eficiência, representando, assim, uma verdadeira ruptura tecnológica no setor de mobilidade elétrica.

O lítio é um elemento químico relativamente abundante na natureza, porém não é encontrado em sua forma pura, sendo obtido a partir de diferentes tipos de depósitos, como minerais pegmatíticos, salmouras e rochas ígneas e sedimentares. Sua extração envolve processos físicos e químicos complexos, variando conforme a origem do material. Nos

depósitos minerais, o lítio é extraído de rochas ricas em minerais como espodumênio e lepidolita, enquanto nas salmouras é obtido por meio de processos de evaporação e precipitação química. Diante do aumento da demanda por baterias, observa-se o avanço de técnicas voltadas à extração mais eficiente e ambientalmente sustentável, com foco na redução dos impactos ambientais associados à atividade mineradora (Oliveira, 2023).

No que se refere ao funcionamento das baterias de íon-lítio, estas são constituídas essencialmente por três componentes fundamentais: cátodo, ânodo e eletrólito. O cátodo, geralmente composto por óxidos metálicos à base de lítio, desempenha papel central na troca de íons durante os ciclos de carga e descarga, sendo determinante para a capacidade de armazenamento, segurança e desempenho da bateria. O ânodo, por sua vez, normalmente formado por grafite, atua como estrutura de armazenamento dos íons de lítio, permitindo sua inserção e remoção de forma eficiente ao longo dos ciclos. Já o eletrólito funciona como meio condutor, possibilitando a movimentação dos íons entre os eletrodos, influenciando diretamente a eficiência, estabilidade e vida útil do sistema. Assim, a interação entre esses três elementos é essencial para o funcionamento adequado das baterias, sendo a escolha dos materiais, especialmente do cátodo, fator crucial para o desempenho e segurança das baterias de íon-lítio (Oliveira, 2023).

No âmbito das baterias de íon-lítio, destaca-se que a composição do cátodo exerce papel determinante não apenas no desempenho, mas também na segurança do sistema. Inicialmente, predominavam baterias com cátodos do tipo NMC (níquel-mangânese-cobalto), amplamente utilizadas em razão de sua elevada densidade energética, o que possibilita maior autonomia aos veículos elétricos. Contudo, tais materiais apresentam menor estabilidade térmica, estando mais suscetíveis à ocorrência de fuga térmica (*thermal runaway*), fenômeno que pode resultar em superaquecimento e, em casos extremos, incêndios (Silva, 2025).

Diante dessas limitações, a indústria passou a adotar, de forma crescente, cátodos do tipo LFP (lítio-ferro-fosfato), que, embora apresentem menor densidade energética, oferecem maior estabilidade estrutural, menor risco de incêndio e maior durabilidade. Essa transição evidencia uma mudança de paradigma na eletromobilidade, na qual a busca por maior autonomia vem sendo progressivamente equilibrada com requisitos de segurança e sustentabilidade, reforçando a centralidade da escolha do material catódico no desenvolvimento das baterias de íon-lítio (Silva, 2025).

Reforçando esse cenário, destaca-se que, conforme o *Global EV Outlook* da *International Energy Agency* (IEA, 2025, p. 138):

Battery chemistry also plays an important role, with lithium iron phosphate (LFP) batteries – the main battery chemistry used in China – being almost 30% cheaper per kilowatt-hour (kWh) than lithium nickel cobalt manganese oxide (NMC) batteries, which remain the most widely used batteries in the United States and Europe. NMC batteries still provide an energy density advantage, though the gap has narrowed in recent years. The energy density of LFP battery packs is about one-fifth lower by mass (Wh/kg) and about one-third lower by volume (Wh/L) than that of NMC packs. This is, however, partially offset by LFP's ability to reach 100% state of charge when required without significant degradation, whereas NMC batteries are typically limited to 80% to preserve long-term performance. The higher energy density of NMC batteries remains an advantage for applications requiring longer ranges or operation in cold climates, where LFP technology is typically less effective. However, LFP batteries have now reached a performance level sufficient for most EV applications, making their lower cost a key advantage for automakers aiming to mass markets.¹⁵

Verifica-se, portanto, que, embora as baterias do tipo NMC ainda apresentem vantagens em aplicações que demandam maior autonomia ou desempenho em baixas temperaturas, as baterias LFP já atingiram nível tecnológico adequado para ampla utilização, consolidando-se como alternativa economicamente mais viável e segura. Tal cenário evidencia uma mudança estratégica relevante na indústria automotiva global.

Sobre o tema Sousa, Vecchio e Costa (2024, p.120) dissertam que:

As empresas chinesas, lideradas por marcas como a CATL, impulsionaram a tecnologia de baterias de fosfato de ferro-lítio (LFP), tornando-a mais barata e segura e superando as limitações iniciais de densidade de energia. Atualmente, essas baterias representam um terço de todas as baterias de veículos elétricos no mundo, consolidando a posição da China como líder também nesse aspecto.

No cenário mais recente, especialmente a partir de 2026, observa-se que a evolução das baterias de íon-lítio não se limita à substituição de materiais catódicos mais seguros, mas

¹⁵ Tradução livre pelo autor: A composição química das baterias também desempenha um papel importante, sendo as baterias de fosfato de ferro-lítio (LFP) – a principal composição química de baterias usada na China – quase 30% mais baratas por quilowatt-hora (kWh) do que as baterias de óxido de níquel-cobalto-mangânese-lítio (NMC), que continuam sendo as baterias mais utilizadas nos Estados Unidos e na Europa. As baterias NMC ainda oferecem uma vantagem em termos de densidade de energia, embora a diferença tenha diminuído nos últimos anos. A densidade de energia dos conjuntos de baterias LFP é cerca de um quinto menor em massa (Wh/kg) e cerca de um terço menor em volume (Wh/L) do que a dos conjuntos NMC. Isso é, no entanto, parcialmente compensado pela capacidade do LFP de atingir 100% do estado de carga quando necessário, sem degradação significativa, enquanto as baterias NMC são normalmente limitadas a 80% para preservar o desempenho a longo prazo. A maior densidade de energia das baterias NMC continua sendo uma vantagem para aplicações que exigem maior autonomia ou operação em climas frios, onde a tecnologia LFP é normalmente menos eficaz. No entanto, as baterias LFP já atingiram um nível de desempenho suficiente para a maioria das aplicações em veículos elétricos, tornando seu menor custo uma vantagem fundamental para as montadoras que visam o mercado de massa.

também incorpora avanços significativos no campo da inteligência artificial. Nesse contexto, os sistemas de gerenciamento de baterias (*Battery Management Systems – BMS*) passaram a integrar algoritmos avançados de aprendizado de máquina, capazes de monitorar, em tempo real, parâmetros como temperatura, tensão, estado de carga e degradação das células (Gao, 2025)

Tais sistemas possibilitam a identificação precoce de anomalias e a prevenção de eventos críticos, como a fuga térmica, reduzindo significativamente os riscos de incêndio. Ademais, a aplicação da inteligência artificial contribui para a otimização do ciclo de vida das baterias, promovendo maior durabilidade, eficiência energética e redução do descarte precoce, reforçando sua relevância no contexto da sustentabilidade e da governança ambiental. Assim, a convergência entre inovação química e inteligência artificial consolida-se como elemento central na evolução das baterias de veículos elétricos na atualidade.

Para além dos avanços observados nas baterias de íon-lítio, especialmente com a consolidação das químicas LFP e a incorporação de inteligência artificial, observa-se o desenvolvimento de tecnologias emergentes que buscam superar limitações relacionadas ao custo, à disponibilidade de recursos e ao desempenho energético.

Dentre essas tecnologias, destacam-se as baterias de íon-sódio, que operam com princípio semelhante ao das baterias de íon-lítio, diferenciando-se principalmente pela substituição do lítio por sódio como elemento ativo. Tal característica confere vantagens relevantes, especialmente no que se refere à maior abundância e menor custo do sódio, além de reduzir a dependência de minerais críticos e os impactos ambientais associados à mineração do lítio (IEA, 2026).

Ademais, essas baterias apresentam desempenho mais estável em baixas temperaturas, ampliando seu potencial de aplicação em determinadas regiões. Nesse contexto, sua relevância ganhou destaque a partir de 2022, em razão da elevação dos preços do lítio, o que impulsionou o desenvolvimento e as primeiras aplicações dessa tecnologia em veículos elétricos.

Embora o interesse tenha apresentado oscilações nos anos subsequentes, em decorrência de desafios na cadeia de suprimentos e da redução dos preços do lítio entre 2023 e 2024, observa-se a continuidade dos investimentos por parte da indústria. Nesse sentido, a

CATL, maior fabricante global de baterias, anunciou, em 2025, o avanço para uma segunda geração de baterias de íon-sódio, acompanhada do lançamento de uma linha dedicada a essa tecnologia, enquanto a BYD também tem direcionado investimentos para a produção dessas baterias, tanto para veículos elétricos quanto para sistemas de armazenamento de energia (IEA, 2026).

Ainda assim, as baterias de íon-sódio despontam como alternativa promissora, sobretudo em cenários de instabilidade no mercado do lítio e em aplicações específicas que priorizem custo, sustentabilidade e desempenho em ambientes de baixa temperatura. Atualmente, as baterias de íons de lítio representam praticamente a totalidade do mercado de baterias para veículos elétricos, sendo que a maioria das químicas empregadas depende de minerais críticos como lítio, cobalto e níquel.

Não obstante a predominância dessas tecnologias e os avanços observados, a expansão da eletromobilidade suscita importantes questionamentos sob a perspectiva ambiental. Isso porque o crescimento da eletrificação veicular implica não apenas benefícios associados à redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também a intensificação de efeitos ao longo do ciclo de vida das baterias, especialmente nas etapas de extração de matérias-primas, produção, uso e descarte.

Nesse contexto, destacam-se as consequências ambientais associadas à mineração dos materiais utilizados na fabricação das baterias, como lítio, níquel e cobalto, cuja extração demanda elevado consumo de recursos naturais, especialmente água, além de gerar potenciais danos aos ecossistemas e às comunidades locais. No caso do lítio, a extração a partir de salmouras pode comprometer aquíferos e alterar dinâmicas hídricas em regiões sensíveis, enquanto a mineração de cobalto, frequentemente concentrada em determinados países, levanta preocupações socioambientais relevantes (FGV, 2017).

Conforme destaca Silva (2025, p. 10):

Embora esses veículos eliminem emissões diretas durante o uso, a produção de baterias de íon-lítio envolve processos energeticamente intensivos e dependentes de minerais como lítio, cobalto e níquel, cuja extração gera impactos socioambientais significativos.

Nesse sentido, a consolidação de um modelo de mobilidade efetivamente sustentável depende não apenas da expansão dos veículos elétricos, mas também do aprimoramento das

práticas minerárias, do desenvolvimento de tecnologias menos dependentes de minerais críticos e da implementação de políticas voltadas à economia circular, de modo a mitigar os efeitos ambientais associados à produção e ao descarte das baterias.

Para além das questões relacionadas à extração de matérias-primas, torna-se igualmente relevante analisar as etapas finais do ciclo de vida das baterias utilizadas na eletromobilidade, especialmente no que se refere à sua reciclagem e ao reaproveitamento. Isso porque o crescimento da frota de veículos elétricos tende a intensificar, nos próximos anos, o volume de baterias descartadas, impondo desafios significativos à gestão ambiental desses resíduos.

De modo geral, a decisão pela reciclagem de determinados materiais ainda é fortemente orientada por critérios econômicos, muitas vezes desconsiderando aspectos relevantes, como as emissões de gases de efeito estufa e o elevado consumo energético envolvidos em sua produção primária. No caso específico das baterias de íon-lítio, observa-se que as taxas de reciclagem ainda são reduzidas, o que pode ser explicado tanto pelo caráter relativamente recente dessa tecnologia quanto pela limitada disponibilidade de baterias em fim de vida útil e pelos desafios técnicos ainda existentes na realização desses processos (Arengues, 2022).

A reduzida taxa de reciclagem atualmente observada ocorre, em grande parte, por meio de processos baseados na pirometalurgia (fusão a alta temperatura), os quais envolvem a incineração dos componentes e permitem a recuperação de metais como cobalto, níquel e cobre e a hidrometalurgia (dissolução química em meios aquosos). Contudo, tais métodos apresentam limitações relevantes, especialmente no que se refere à baixa eficiência na recuperação de outros materiais e à dificuldade de reinserção direta desses elementos em novos ciclos produtivos.

Conforme leciona Arengues (2022, p.21):

Nesse contexto, a literatura aponta como alternativa mais promissora a combinação de técnicas pirometalúrgicas com processos hidrometalúrgicos, ainda em estágio incipiente de desenvolvimento, frequentemente em escala experimental. Essa abordagem integrada, aliada a tratamentos térmicos específicos, tende a ampliar significativamente as taxas de recuperação dos materiais, contribuindo para maior eficiência no reaproveitamento e para o fortalecimento de estratégias alinhadas à economia circular.

Nesse sentido, verifica-se que vêm sendo realizados avanços na reciclagem de baterias, especialmente por meio da combinação entre processos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos, aumentando a eficiência na recuperação de metais reativos, como o lítio, bem como no reaproveitamento de componentes como o grafite presente nos ânodos. Ademais, novas abordagens vêm sendo desenvolvidas, como a extração eletroquímica. Não obstante tais avanços, a disponibilidade de matéria-prima para reciclagem ainda permanece limitada, restringindo seu impacto no curto prazo (IEA, 2026).

No que se refere à manutenção e à vida útil das baterias, destaca-se que, mesmo após apresentarem redução de desempenho para uso em veículos elétricos, esses sistemas ainda mantêm capacidade significativa de armazenamento de energia, possibilitando sua reutilização em aplicações secundárias. Nesse contexto, verifica-se que baterias em fim de vida veicular podem ser destinadas a uma “segunda vida” em usos menos exigentes, como armazenamento de energia em sistemas residenciais, redes elétricas, fontes renováveis, iluminação pública e aplicações industriais de menor demanda energética (Silva, 2025).

Ademais, tal reaproveitamento contribui para a extensão do ciclo de vida desses componentes, reduzindo a necessidade imediata de reciclagem e retardando a geração de resíduos, ao mesmo tempo em que se alinha às diretrizes da economia circular. Assim, a reutilização das baterias configura-se como etapa intermediária relevante entre o uso original e o processo de reciclagem, ampliando a eficiência no aproveitamento dos recursos e mitigando a pressão sobre a extração de novos materiais.

Além disso, conforme destaca o *Global EV Outlook* da *International Energy Agency* (IEA, 2025, p. 138):” *Battery recycling is important, but its benefits will take time to materialize*” e corrobora que:

It will take time for the battery recycling industry to significantly affect primary mineral demand, as feedstock remains limited and EV batteries may last longer than previously expected. End-of-life EV and storage batteries are expected to account for only one-third of recyclable feedstock by 2030 and even less in the interim, with manufacturing scraps making up the rest. It will require about a decade for end-of-life batteries to become the main feedstock. In 2035, if countries fulfil their announced climate pledges, recycling would reduce global primary demand for cobalt by over 15% (40% in 2050), and for lithium and nickel by only about 5% (25% in 2050).¹⁶

¹⁶ Tradução livre pelo autor: Levará tempo para que a indústria de reciclagem de baterias afete significativamente a demanda por minerais primários, visto que a matéria-prima permanece limitada e as baterias de veículos elétricos podem durar mais do que o previsto. Espera-se que as baterias de veículos elétricos e de armazenamento de energia em fim de vida útil representem apenas um terço da matéria-prima reciclável até 2030

Em síntese, embora a reciclagem de baterias represente um caminho promissor para a redução da demanda por minerais primários, seus efeitos permanecem limitados no curto e médio prazo, sobretudo em razão da baixa disponibilidade de materiais em fim de vida útil. Nesse contexto, impactos mais significativos tendem a se consolidar apenas no longo prazo, evidenciando que a economia circular, embora essencial, ainda enfrenta desafios estruturais para sua plena efetivação no setor de eletromobilidade.

Superadas as discussões relativas ao ciclo de vida das baterias, especialmente no que se refere à sua reutilização e reciclagem, torna-se fundamental analisar a origem da energia utilizada no carregamento dos veículos elétricos, uma vez que a efetiva sustentabilidade da eletromobilidade está diretamente condicionada à matriz energética adotada.

A discussão acerca da matriz energética e da transição para fontes mais sustentáveis encontra respaldo em eventos históricos que evidenciaram a vulnerabilidade da dependência de combustíveis fósseis, como a crise do petróleo ocorrida na década de 1970. De acordo com Fonseca (2009, p. 347): “a crise internacional do petróleo desencadeada em 1973 produziu um forte impacto econômico nos países dependentes desse recurso, ao mesmo tempo em que estimulou o debate sobre questões estratégicas relacionadas à energia”.

Tal episódio revelou não apenas a instabilidade dos mercados energéticos globais, mas também a elevada dependência das economias em relação ao petróleo, sendo o setor de transportes um dos principais responsáveis por essa dependência. Esse cenário impulsionou a busca por diversificação das fontes energéticas e por maior segurança no abastecimento.

Conforme leciona Dos Santos (2025, p.18):

A transição energética é um dos temas centrais no enfrentamento da crise climática global. Esse processo consiste na substituição gradual das fontes fósseis de energia por alternativas renováveis e sustentáveis, reduzindo a dependência de combustíveis como carvão, petróleo e gás natural.

Nesse contexto, intensificou-se a procura por fontes energéticas mais limpas e sustentáveis, entendidas como aquelas cuja geração apresenta menor potencial de degradação ambiental, seja pela redução das emissões de gases de efeito estufa, seja pela menor produção

e ainda menos no período intermediário, com os resíduos de fabricação compondo o restante. Levará cerca de uma década para que as baterias em fim de vida útil se tornem a principal matéria-prima. Em 2035, se os países cumprirem suas promessas climáticas anunciadas, a reciclagem reduziria a demanda global primária por cobalto em mais de 15% (40% em 2050) e por lítio e níquel em apenas cerca de 5% (25% em 2050).

de resíduos. Dentre essas fontes, destacam-se a energia hidrelétrica, obtida a partir do aproveitamento da força da água em movimento; a energia eólica, gerada pela conversão da energia cinética dos ventos em eletricidade; a energia solar, produzida a partir da radiação solar por meio de tecnologias fotovoltaicas; e a biomassa, proveniente da utilização de matéria orgânica de origem vegetal ou animal para fins energéticos (Fonseca, 2009).

Nessa lógica, Dos Santos (2025, p. 19) destaca que: “As energias renováveis oferecem benefícios incontestáveis quando comparada às fontes fósseis. A geração eólica, solar e de biomassa, por exemplo, tem impactos ambientais significativamente menores e maior disponibilidade a longo prazo”.

Cumprе salientar que, de acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2025), a matriz elétrica mundial ainda é predominantemente baseada em combustíveis fósseis, especialmente carvão e gás natural. Em contrapartida, a matriz elétrica brasileira apresenta perfil significativamente mais renovável, em razão da expressiva participação das usinas hidrelétricas na geração de energia. Ademais, observa-se o crescimento consistente de fontes como a energia eólica, o que reforça a manutenção de uma matriz majoritariamente renovável no país.

Posto isso, nota-se que a matriz energética brasileira é considerada uma das mais limpas do mundo, em razão da elevada participação de fontes renováveis em sua composição. Assim, embora os veículos elétricos não emitam poluentes durante sua operação, as emissões associadas à geração de eletricidade podem variar significativamente conforme as fontes energéticas utilizadas.

O funcionamento da eletromobilidade está diretamente relacionado à origem da eletricidade utilizada para o carregamento das baterias. Diferentemente dos veículos movidos a combustíveis fósseis, que realizam a queima de combustível no próprio motor, os veículos elétricos dependem integralmente da energia gerada externamente e distribuída pelo sistema elétrico.

Desse modo, a simples substituição da frota por veículos elétricos não é suficiente para garantir benefícios ambientais efetivos, caso a energia utilizada para seu abastecimento seja predominantemente oriunda de fontes fósseis. Nesse sentido, Arengues (2022, p. 21) ressalta que:

Outras análises evidenciam a necessidade de não somente mudar a classe dos veículos usados, mas também alterar a fonte em que a energia é produzida. Países que tinham em sua matriz energética alta porcentagem de fontes não renováveis continuaram a ter um aumento na emissão de CO² mesmo mudando para carros elétricos.

Nessa perspectiva, em países cuja matriz energética é predominantemente baseada em combustíveis fósseis, como carvão, a eletrificação da frota não elimina as emissões, mas apenas desloca sua origem, que deixa de ocorrer nos veículos e passa a se concentrar na geração de eletricidade.

Por outro lado, em contextos nos quais há maior participação de fontes renováveis, como hidrelétrica, solar e eólica, a eletromobilidade tende a apresentar ganhos ambientais mais expressivos, evidenciando que a matriz energética constitui elemento central na avaliação da real contribuição dos veículos elétricos para a mitigação das mudanças climáticas.

Como exemplo, destaca-se o caso de usuários que utilizam sistemas de geração própria de energia solar para o carregamento de seus veículos elétricos, situação na qual se potencializam os benefícios ambientais, ao se reduzir significativamente a pegada de carbono associada ao uso do veículo.

Ademais, em países cuja matriz energética é fortemente dependente de combustíveis fósseis, como Estados Unidos, Índia, Rússia, a adoção de veículos elétricos deve ser analisada com cautela sob a perspectiva ambiental. Nesses contextos, quando a eletricidade utilizada para o carregamento provém majoritariamente de fontes como carvão e gás natural, a eletrificação da frota pode não representar uma redução efetiva das emissões, mas apenas sua realocação no sistema energético.

Tal cenário pode, em determinadas situações, ser interpretado como prática de *greenwashing*, conforme definem Souza e Júnior (2024, p.183) trata-se de “Desinformação disseminada por uma organização para apresentar uma imagem pública ambientalmente responsável; uma imagem pública de responsabilidade ambiental promulgada por ou para uma organização, etc., mas percebida como infundada ou intencionalmente enganosa”.

Essa interpretação se mostra pertinente na medida em que a promoção dos veículos elétricos como solução sustentável, quando desvinculada de uma análise mais ampla, pode

desconsiderar fatores essenciais, como a matriz energética utilizada, uma vez que, quando baseada predominantemente em fontes fósseis, a eletrificação veicular não necessariamente se traduz em efetiva sustentabilidade ambiental.

Assim, evidencia-se que a efetiva contribuição da eletromobilidade para a mitigação das mudanças climáticas depende, necessariamente, da concomitante transição para matrizes energéticas mais limpas e renováveis. O caso da Noruega constitui exemplo emblemático nesse debate. Conforme reportado pela BBC, o país consolidou-se como líder mundial na adoção de veículos elétricos, que representaram aproximadamente 90% das vendas de carros novos em 2024, resultado de políticas públicas consistentes, incentivos fiscais e ampla infraestrutura de recarga. Ademais, a matriz elétrica norueguesa é majoritariamente baseada em fontes renováveis, especialmente a hidrelétrica, o que potencializa os benefícios ambientais da eletrificação da frota (BBC, 2025).

Contudo, observa-se uma aparente contradição, na medida em que a Noruega permanece como relevante produtora e exportadora de petróleo e gás natural, evidenciando que a transição para a eletromobilidade, embora exitosa no plano interno, não afasta a dependência econômica de combustíveis fósseis no cenário global. Assim, o exemplo norueguês demonstra que a efetividade ambiental dos veículos elétricos está diretamente associada não apenas à matriz energética doméstica, mas também a fatores econômicos, estruturais e geopolíticos mais amplos, que devem ser considerados em uma análise sistêmica da sustentabilidade da eletromobilidade (BBC, 2025).

O caso do Uruguai também se destaca no contexto latino-americano como exemplo relevante de articulação entre eletromobilidade e matriz energética limpa. Conforme destacado em reportagem da BBC, o país apresenta crescimento significativo na adoção de veículos elétricos, impulsionado por políticas públicas consistentes e pela elevada participação de fontes renováveis em sua matriz elétrica (BBC, 2026).

Esse avanço está diretamente relacionado à transição energética iniciada pelo país a partir de 2010, orientada para o aproveitamento de fontes locais e renováveis de eletricidade. Tal processo, sustentado por acordo multipartidário, manteve-se estável ao longo de diferentes governos, permitindo que cerca de 99% da matriz elétrica uruguaia seja composta por fontes hidráulicas, eólicas, solares e biomassa. Nesse contexto, a experiência uruguaia evidencia que a efetividade ambiental da eletromobilidade está intrinsicamente vinculada à qualidade da

matriz energética, reforçando a importância de políticas estruturais, estáveis e de longo prazo (BBC, 2026).

Diante do exposto, verifica-se que a sustentabilidade da eletromobilidade não pode ser analisada de forma isolada, restringindo-se à substituição dos veículos movidos a combustíveis fósseis por elétricos. Trata-se, ao contrário, de um fenômeno diretamente dependente da estrutura e da qualidade da matriz energética de cada país, uma vez que as emissões associadas ao carregamento dos veículos variam conforme as fontes de geração de eletricidade.

Nesse contexto, o Brasil apresenta uma vantagem comparativa relevante, em razão de sua matriz elétrica majoritariamente renovável, o que potencializa os benefícios ambientais da eletrificação da frota. Assim, enquanto contextos baseados em fontes renováveis tendem a maximizar os ganhos ambientais da eletromobilidade, cenários ainda dependentes de combustíveis fósseis podem limitar tais benefícios, podendo, inclusive, deslocar as emissões para o setor energético.

Desse modo, evidencia-se que a transição para a eletromobilidade deve ocorrer de forma integrada à transição energética, sendo ambas complementares e indispensáveis à efetiva mitigação das mudanças climáticas, nos dizeres de Sachs (2000, p.87) “A crise climática não é apenas um problema ambiental, mas também um desafio político e econômico que exige uma transformação profunda na matriz energética global”.

Não obstante os avanços tecnológicos e os benefícios ambientais associados à eletromobilidade, a expansão da infraestrutura de recarga, especialmente por meio dos chamados eletropostos, ainda se apresenta como uma das principais limitações à difusão em larga escala dos veículos elétricos.

A insuficiência de pontos de carregamento, aliada à sua distribuição desigual no território, constitui fator relevante que restringe a adoção dessa tecnologia, sobretudo em regiões menos desenvolvidas. Ademais, aspectos como o tempo de recarga, os custos de instalação e a necessidade de adaptação da rede elétrica configuram-se como desafios adicionais, impactando diretamente a experiência do usuário e a percepção de viabilidade do uso cotidiano dos veículos elétricos. Nesse sentido, a consolidação da eletromobilidade

depende não apenas da evolução tecnológica dos veículos, mas também da ampliação e do fortalecimento da infraestrutura de recarga (FGV, 2017).

De acordo com Do Nascimento Martins (2016, p.38):

Uma das grandes restrições ao consumo do carro elétrico, além do seu alto preço e a relativa baixa autonomia, é a recarga da sua bateria. A precariedade de infraestrutura de recarga age como um empecilho à aquisição do veículo. A infraestrutura de abastecimento inclui equipamentos de recarga, medidores de consumo e formas de cobrança, localizados em locais de estacionamento demorado e em vias públicas.

Sob essa perspectiva, a infraestrutura de recarga pode se apresentar sob diferentes modalidades, a depender do local e da forma de utilização. De modo geral, as estações classificam-se em três principais tipos: o carregamento doméstico; o carregamento em locais de trabalho, realizado em garagens corporativas, permitindo o abastecimento ao longo da jornada, em média de 7 a 8 horas; e o carregamento público, disponível em vias urbanas e em espaços de permanência prolongada, como supermercados, shoppings e centros comerciais, podendo variar entre 3 a 4 horas em recargas rápidas ou entre 20 a 30 minutos em sistemas de carregamento ultrarrápido (*quick charge*).

No que se refere à utilização prática dos veículos elétricos, verifica-se que sua viabilidade varia conforme o tipo de deslocamento realizado. Em contextos urbanos, caracterizados por trajetos curtos e previsíveis, como deslocamentos entre residência, trabalho e atividades cotidianas, o uso desses veículos tende a ocorrer de forma satisfatória, especialmente quando há disponibilidade de pontos de recarga em ambientes residenciais, comerciais ou públicos.

Por outro lado, em situações que envolvem deslocamentos de longa distância, como viagens intermunicipais ou rodoviárias, a dependência de infraestrutura de recarga adequada torna-se um fator limitante relevante. A necessidade de planejamento prévio, o tempo de recarga das baterias e a ainda limitada disponibilidade de eletropostos em determinadas regiões podem dificultar a utilização contínua dos veículos elétricos em trajetos mais extensos, evidenciando que, embora a tecnologia apresente avanços significativos, sua plena adaptação a todos os perfis de uso ainda enfrenta desafios estruturais.

Nesse contexto, observa-se que, embora a infraestrutura de recarga ainda represente um desafio, o cenário brasileiro tem apresentado avanços relevantes nos últimos anos. Conforme levantamento da Associação Brasileira do Veículo Elétrico-ABVE, o país já conta

com mais de 21 mil pontos de recarga públicos e semipúblicos, evidenciando crescimento expressivo da rede. Destaca-se, especialmente, a expansão dos carregadores rápidos e ultrarrápidos, que registraram aumento de aproximadamente 167% no período de 12 meses, passando a representar cerca de 31% do total de eletropostos disponíveis (ABVE, 2026).

Esse avanço indica uma mudança no perfil da infraestrutura, orientada para maior eficiência e redução do tempo de recarga, fatores essenciais para ampliar a atratividade dos veículos elétricos. Ainda assim, a relação entre o número de veículos e a quantidade de pontos de recarga revela a necessidade de expansão contínua da rede, sobretudo para atender à crescente demanda e reduzir limitações relacionadas à autonomia e à acessibilidade do sistema.

Verifica-se a predominância da região Sudeste, responsável por cerca de 44,5% do total nacional, seguida pelas regiões Sul (23,5%) e Nordeste (17,9%). As regiões Centro-Oeste e Norte apresentam participações menores, correspondendo a aproximadamente 10,9% e 3,1%, respectivamente (ABVE, 2026).

No âmbito estadual, destaca-se o estado de São Paulo, que concentra a maior quantidade de eletropostos, seguido por unidades federativas como Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Santa Catarina e Rio de Janeiro. Em nível municipal, observa-se a concentração dos pontos de recarga em grandes centros urbanos, como São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília e Curitiba, evidenciando a relação entre infraestrutura, densidade urbana e capacidade econômica (ABVE, 2026).

No que se refere à região Norte, observa-se uma menor participação na infraestrutura de recarga em âmbito nacional, conforme dados da Associação Brasileira do Veículo Elétrico. Especificamente no estado do Amazonas, verifica-se a existência de aproximadamente 157 pontos de recarga, distribuídos de forma concentrada no município de Manaus, que reúne cerca de 82,8% do total estadual. Municípios como Itacoatiara, Presidente Figueiredo e Coari apresentam quantitativos significativamente inferiores, evidenciando a concentração espacial da infraestrutura (ABVE, 2026).

Em Manaus, observa-se a crescente presença de pontos de recarga em locais de grande circulação, como shopping centers, centros comerciais, condomínios e supermercados, indicando a incorporação gradual dessa infraestrutura ao cotidiano urbano. Ademais, verifica-

se a atuação de empresas especializadas, como a EV Point, entre outras, contribuindo para a expansão e consolidação da rede de recarga na capital amazonense

Desse modo, embora a região Norte ainda apresente participação reduzida no contexto nacional, verifica-se um processo gradual de expansão da infraestrutura, especialmente em centros urbanos estratégicos. Tal cenário evidencia um estágio inicial de consolidação da eletromobilidade na região, com tendência de crescimento à medida que se intensificam os investimentos e a demanda por veículos elétricos.

Em perspectiva internacional, observa-se que, paralelamente à expansão da infraestrutura tradicional de recarga, novas soluções tecnológicas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de superar limitações estruturais relacionadas aos eletropostos. Nesse contexto, destacam-se os robôs móveis de recarga, já em operação em cidades da China, capazes de se deslocar autonomamente até o veículo para realizar o carregamento sob demanda.

Essa tecnologia representa uma inovação relevante ao inverter a lógica convencional da eletromobilidade, na qual o usuário se desloca até um ponto fixo de recarga, permitindo que qualquer vaga de estacionamento seja convertida temporariamente em ponto de abastecimento elétrico. Ademais, tais sistemas apresentam potencial para otimizar a utilização da infraestrutura existente, reduzir custos de instalação e ampliar o acesso à recarga em áreas urbanas densas e regiões com menor cobertura de eletropostos (Rodriguez, 2026).

Por fim, cumpre destacar que a expansão da infraestrutura de recarga e a consequente adoção de veículos elétricos também estão diretamente relacionadas a fatores econômicos, especialmente à variação dos preços dos combustíveis fósseis. A elevação dos preços da gasolina e do diesel tem se configurado como elemento indutor da busca por alternativas mais econômicas e eficientes, tornando os veículos elétricos mais atrativos sob a perspectiva do custo de uso.

Nesse sentido, a combinação entre infraestrutura adequada de recarga e o aumento dos custos dos combustíveis tradicionais tende a acelerar o processo de transição para a eletromobilidade, reforçando a necessidade de investimentos contínuos na ampliação da rede de eletropostos como condição essencial para sua consolidação.

Portanto, a análise desenvolvida evidencia que a eletrificação veicular representa avanço relevante no processo de descarbonização do setor de transportes, embora sua efetividade não dependa apenas da tecnologia dos veículos, mas também de fatores estruturais como a matriz energética, a infraestrutura de recarga, a organização da cadeia produtiva e a atuação de políticas públicas. A articulação entre esses elementos revela-se central para a concretização de seus benefícios ambientais de forma consistente e duradoura.

CONCLUSÃO

A presente dissertação teve como objetivo analisar em que medida a eletrificação veicular contribuiu para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, em comparação com os veículos a combustão, bem como examinar o papel da tributação, especialmente do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), como instrumento de indução dessa estratégia, à luz do dever constitucional de proteção ambiental previsto no art. 225 da Constituição Federal, dos compromissos assumidos pelo país no âmbito da Agenda 2030 e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

No desenvolvimento da pesquisa, o primeiro capítulo foi dedicado à construção das bases normativas e conceituais do Direito Ambiental e da governança climática, evidenciando a consolidação do desenvolvimento sustentável a partir de marcos internacionais e sua internalização no ordenamento jurídico brasileiro, especialmente por meio da Constituição Federal de 1988 e de instrumentos infraconstitucionais de política climática.

O segundo capítulo analisou a trajetória do setor de transportes, com ênfase na consolidação do transporte individual motorizado, na dependência de combustíveis fósseis e na evolução dos veículos elétricos, promovendo, ao final, uma comparação entre essas tecnologias quanto ao potencial de redução de emissões. Por sua vez, o terceiro capítulo examinou a extrafiscalidade do IPVA como instrumento de indução à eletromobilidade, procedendo ao mapeamento dos regimes estaduais e à análise dos limites práticos à efetividade dessa transição no contexto brasileiro.

A partir da problemática proposta, verificou-se que a eletrificação veicular, no contexto brasileiro, revelou potencial relevante de contribuição para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, sobretudo em razão da matriz elétrica nacional, predominantemente baseada em fontes renováveis. A análise comparativa desenvolvida ao longo do trabalho demonstrou que, no ciclo de uso, os veículos elétricos tendem a apresentar menores níveis de emissão em relação aos veículos movidos a combustíveis fósseis, o que reforça sua pertinência como alternativa no processo de transição energética no setor de transportes.

No que se refere às hipóteses de pesquisa, conclui-se que a hipótese central relacionada à eletrificação veicular foi parcialmente confirmada em termos jurídicos e analíticos, e confirmada de forma qualificada em termos empíricos, uma vez que a pesquisa demonstrou que a eletrificação veicular tende a contribuir para a redução das emissões de

gases de efeito estufa no contexto brasileiro. Contudo, evidenciou-se que essa vantagem não se manifesta de forma absoluta, nem se mostra suficiente por si só, devendo ser analisada à luz de fatores como o ciclo de vida das baterias, a matriz energética, infraestrutura de recarga disponível e as condições econômicas e tecnológicas de difusão dessa tecnologia.

No tocante à hipótese relativa à tributação, verificou-se sua confirmação no sentido de que os Estados brasileiros vêm, de fato, utilizando o IPVA como instrumento de extrafiscalidade ambiental, ainda que de maneira heterogênea e sem uniformidade em âmbito nacional, o que revela tanto o potencial quanto os limites dessa estratégia no contexto das políticas públicas de incentivo à eletromobilidade.

No campo jurídico, observou-se que a Constituição Federal de 1988 estabeleceu bases normativas sólidas para a proteção ambiental, ao consagrar o meio ambiente ecologicamente equilibrado como direito fundamental e ao permitir a utilização de instrumentos econômicos e tributários como mecanismos de indução de comportamentos sustentáveis. Nesse contexto, a extrafiscalidade tributária revelou-se instrumento relevante na promoção de políticas públicas ambientais.

No que se refere especificamente à dimensão tributária, confirmou-se a hipótese de que os Estados brasileiros vêm utilizando o IPVA como instrumento de extrafiscalidade ambiental. A análise dos regimes estaduais demonstrou a adoção de diferentes estratégias, como isenções, reduções de alíquotas, evidenciando a utilização do tributo não apenas com finalidade arrecadatória, mas também como mecanismo de indução de comportamentos alinhados à sustentabilidade e à redução de emissões.

Tal prática revela a compatibilidade do IPVA com a promoção de políticas ambientais, em consonância com o dever constitucional de proteção ao meio ambiente, bem como com o princípio da preservação do meio ambiente no âmbito do Sistema Tributário Nacional, reforçando a função extrafiscal dos tributos como instrumento de indução de comportamentos sustentáveis. Além disso, constatou-se que os incentivos tributários, embora relevantes, não são suficientes, isoladamente, para promover a massificação da eletromobilidade, sendo dependentes de outros fatores estruturais, econômicos e tecnológicos.

Dessa forma, as hipóteses inicialmente formuladas foram, em grande medida, confirmadas. Verificou-se que a eletrificação veicular foi confirmada com limites no que se

refere à sua capacidade de redução de emissões, ao passo que os Estados vêm utilizando o IPVA como instrumento de extrafiscalidade ambiental. Entretanto, também se evidenciou que a efetividade dessa estratégia está condicionada a múltiplos fatores, que extrapolam a dimensão tributária e tecnológica.

Conclui-se, portanto, que a eletromobilidade representa uma alternativa relevante no contexto das políticas de mitigação das mudanças climáticas, mas não constitui solução isolada ou suficiente. Sua adoção deve ser compreendida como parte de um conjunto mais amplo de medidas, que envolvem planejamento urbano, diversificação da matriz energética, investimentos em infraestrutura e aperfeiçoamento de políticas públicas.

Diante do exposto, a contribuição desta dissertação consistiu em oferecer uma análise jurídica crítica e integrada acerca da inserção dos veículos elétricos no contexto brasileiro, evidenciando suas potencialidades e limitações. Ao articular as dimensões ambiental, normativa e tributária, o estudo demonstrou que a transição para modelos de mobilidade mais sustentáveis exige não apenas inovação tecnológica, mas também coerência institucional, planejamento estratégico e observância aos princípios constitucionais de proteção ambiental.

REFERÊNCIAS

AMAZONAS. Lei Complementar nº 19, de 29 de dezembro de 1997. **Institui o Código Tributário do Estado do Amazonas**. Diário Oficial do Estado, Manaus, 29 dez. 1997. Disponível em: <https://sistemas.sefaz.am.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

AMAZONAS. Lei Complementar nº 242, de 29 de dezembro de 2022. **Altera dispositivos da legislação tributária estadual relativos ao IPVA**. Diário Oficial do Estado, Manaus, 29 dez. 2022. Disponível em: <https://sistemas.sefaz.am.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

AMAZONAS. Lei Complementar nº 259, de 13 de dezembro de 2023. **Dispõe sobre alíquotas aplicáveis aos veículos elétricos e híbridos**. Diário Oficial do Estado, Manaus, 13 dez. 2023. Disponível em: <https://sistemas.sefaz.am.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

AMAZONAS. Lei Complementar nº 280, de 22 de outubro de 2025. **Promove alterações no regime do IPVA no Estado do Amazonas**. Diário Oficial do Estado, Manaus, 22 out. 2025. Disponível em: <https://sistemas.sefaz.am.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

AMAZONAS. Lei nº 7.039, de 03 de setembro de 2024. **Dispõe sobre a criação de fomento à fabricação e produção de automóveis movidos a energia elétrica no Estado do Amazonas**. Diário Oficial do Estado, Manaus, 03 set. 2024. Disponível em: <https://sistemas.sefaz.am.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

AMAZONAS. Assembleia Legislativa. Projeto de Lei nº ____/2025. Autor: Deputado Estadual Delegado Péricles. **Dispõe sobre a isenção parcial do IPVA para veículos elétricos**. Manaus, 04 fev. 2025. Disponível em: <https://www.aleam.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

AMAZONAS. Assembleia Legislativa. Projeto de Lei Ordinária nº ____/2026. Autoria: Deputada Alessandra Campêlo. **Dispõe sobre o direito à instalação de pontos de recarga de veículos elétricos e híbridos em condomínios edifícios residenciais e comerciais no Estado do Amazonas**. Manaus, 04 fev. 2026. Disponível em: <https://www.aleam.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). *ABVE Data: dados do mercado de eletromobilidade no Brasil*. Disponível em: <https://abve.org.br/abve-data/>. Acesso em: 24 mar. 2026.

ARANGUES, Igor Rodrigues et al. **Veículos elétricos: um estudo descritivo de seus impactos ambientais**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 11, p. e10111132235, 2022.

BARBOSA, Cláudia Maria Ferrari. **O surgimento do direito ambiental no Brasil, sua evolução e o cumprimento da Agenda 2030**. *Diversitas Journal*, v. 7, n. 4, 2022.

BODANSKY, Daniel. *The art and craft of international environmental law*. Cambridge: Harvard University Press, 2010.

BRASIL. Constituição (1824). *Constituição Política do Império do Brasil*. Rio de Janeiro, 1824. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao24.htm. Acesso em: 19 dez. 2025.

BRASIL. Constituição (1891). *Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil*. Rio de Janeiro, 1891. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao91.htm. Acesso em: 19 dez. 2025.

BRASIL. Constituição (1934). *Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil*. Rio de Janeiro, 1934. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao34.htm. Acesso em: 10 abr. 2026.

BRASIL. Constituição (1937). *Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil*. Rio de Janeiro, 1937. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao37.htm. Acesso em: 19 dez. 2025.

BRASIL. Constituição (1946). *Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil*. Rio de Janeiro, 1946. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao46.htm. Acesso em: 19 dez. 2025.

BRASIL. Constituição (1967). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, 1967. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao67.htm. Acesso em: 19 dez. 2025.

BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 19 dez. 2025.

BRASIL. Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966. **Dispõe sobre o Sistema Tributário Nacional e institui normas gerais de direito tributário aplicáveis à União, Estados e Municípios**. Diário Oficial da União, Brasília, 27 out. 1966. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**. Diário Oficial da União, Brasília, 2 set. 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 28 dez. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009. **Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima**. Diário Oficial da União, Brasília, 10 dez. 2009.

BRASIL. Lei nº 14.904, de 27 de junho de 2024. **Estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação à mudança do clima**. Diário Oficial da União, Brasília, 28 jun. 2024.

BRASIL. Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. **Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE)**. Diário Oficial da União, Brasília, 12 dez. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)**. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez. 2009.

BAHIA. Lei nº 6.348, de 17 de dezembro de 1991. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, Salvador, 17 dez. 1991. Disponível em: <https://www.sefaz.ba.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

BRUNNÉE, Jutta. *The Stockholm Declaration and the structure and processes of international environmental law*. In: CHIRCOP, Aldo; McDORMAN, Ted (orgs.). *The future of ocean regime building*. Dordrecht: Kluwer Law, 2008. p. 41-62. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=1437707>. Acesso em: 27 dez. 2025.

BARROS, Daniel Chiari; CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de; VAZ, Luiz Felipe Hupsel. Automotivo. In: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). *Panoramas setoriais: mudanças climáticas*. Rio de Janeiro: BNDES, 2016. p. 19-30.

BRANCO, Samuel Murgel. *Poluição do ar*. 2. ed. Curitiba: Moderna, 2005.

BBC NEWS BRASIL. *Carro elétrico é realmente mais sustentável?* Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cj3emvg7eg6o>. Acesso em: 24 mar. 2026.

BBC NEWS BRASIL. *Por que o Uruguai lidera o boom de carros elétricos na América Latina*. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cp324ygvd92o>. Acesso em: 24 mar. 2026.

CAETANO, Emerson Reginaldo; MOREIRA, Felipe Kern. **O papel das isenções de tributos sobre a propriedade de veículos elétricos ou híbridos no cumprimento de acordos sobre mudanças climáticas firmados pelo Brasil**. Revista de Direito Tributário e Financeiro, v. 10, n. 2, 2024.

CHIARELLI, Débora. **Breve relato sobre história do Direito Ambiental Brasileiro**. 2022.

CLEAN ENERGY MINISTERIAL. *Who we are*. Disponível em: <https://www.cleanenergyministerial.org/who-we-are/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

CEARÁ. Lei nº 12.023, de 20 de novembro de 1992. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, Fortaleza, 20 nov. 1992. Disponível em: <https://www.sefaz.ce.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

COSTA, Alexandra Mendonça. *Desafios ambientais na indústria automobilística: uma análise do sistema de gestão ambiental da produção automobilística e projeções para o futuro do setor*. 2021.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S). *Global Climate Highlights 2025*. Bonn: ECMWF, 2026. DOI: <https://doi.org/10.24381/b3nm-p35>.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1991.

CUNHA, G. F. **Princípio da precaução no Brasil após a Rio-92**. *Sociedade & Natureza*, v. 27, n. 2, p. 331-345, 2015.

DA CRUZ JÚNIOR, Adalberto Gonzaga et al. **Relatório Brundtland**. 2023.

DE CARVALHO, Adson Bruno José. **O direito ao meio ambiente equilibrado**. *Revista Ambientale*, v. 17, n. 1, p. 49-70, 2025.

DO NASCIMENTO MARTINS, Claudia. **Infraestrutura de recarga de bateria e subsídios e incentivos fiscais: condições chave para a difusão do carro elétrico**. *Desenvolvimento em Debate*, v. 4, n. 1, p. 35-55, 2016.

DELLAGNEZZE, René. **50 anos da Conferência de Estocolmo**. 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br>. Acesso em: 26 ago. 2025.

DISTRITO FEDERAL. Lei nº 6.466, de 27 de dezembro de 2019. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, 27 dez. 2019. Disponível em: <https://www.fazenda.df.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

DOS SANTOS, Antonio Nacílio Sousa et al. **Transição energética e preservação: integração de fontes renováveis, biodiversidade e economia verde em tempos de crise climática**. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 23, n. 3, p. e9234, 2025.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Curso para atualização de professores em educação**. Rio de Janeiro: MT/DNER, 1983.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz energética e elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 24 mar. 2026.

ECOFORTTE. **Gurgel Itaipu E400: o primeiro carro elétrico nacional fabricado em série**. Disponível em: <https://ecofortte.com/gurgel-itaipu-e400/>. Acesso em: 24 mar. 2026.

ESTIGARRIBIA, J. **Ford decide fechar três fábricas no Brasil e encerrar toda a produção local**. *Revista Exame*, 12 jan. 2021. Disponível em: <https://exame.com/negocios/ford-decide-fechar-tres-fabricas-no-brasil-e-encerrar-toda-producao-local/>.

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. **Curso de direito ambiental brasileiro**. São Paulo: Saraiva, 2025.

FONSECA, Ana Beatriz Machado de Oliveira; GOUVINHAS, Reidson Pereira. **Sustentabilidade e ODS**. 2024.

FGV ENERGIA. **Carros elétricos**. Rio de Janeiro: FGV Energia; Accenture Strategy, 2017.

FONSECA, Ozorio J. M. *Pensando a Amazônia*. Manaus: Valer, 2011.

GAO, Z.-W. et al. **Desenvolvimento e aplicação comercial de baterias de íon-lítio em veículos elétricos: uma revisão**. *Processes*, v. 13, n. 3, p. 756, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr13030756>.

GIMENES, D. **Covid-19 derruba atividades da indústria automotiva em 90%**. *Revista Veja*, 6 abr. 2020.

GOLDENERGY. *O que é um veículo elétrico*. Disponível em: <https://goldenergy.pt/glossario/veiculo-eletrico-ev/>. Acesso em: 08 jan. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *About IEA*. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/about>. Acesso em: 27 dez. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Global EV Outlook 2025*. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>. Acesso em: 24 mar. 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *About the IPCC*. Genebra: IPCC, 2025. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/about/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

IBERDROLA. *História do carro elétrico*. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/historia-carro-eletrico>. Acesso em: 24 mar. 2026.

KUTNEY, P. **Demissões crescem nas fábricas de veículos**. *Automotive Business*, 4 set. 2020. Disponível em: <http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/31734/demissoes-crescem-nas-fabricas-de-veiculos>.

LE BLANC, David. *Sustainable development goals*. *Sustainable Development*, v. 23, n. 3, p. 176–187, 2015.

LIMONCIC, Flávio. *A civilização do automóvel*. Dissertação (Mestrado) – UFRJ, 1997.

MACHADO, Hugo de Brito. *Curso de direito tributário*. 40. ed. rev. e atual. São Paulo: Malheiros, 2019.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. *Direito ambiental brasileiro*. São Paulo: Malheiros, 2025.

MAZZUOLI, Valerio de Oliveira; TEIXEIRA, Gustavo de Faria Moreira. *Direito internacional ambiental*. *Revista Direito FGV*, 2013.

MILARÉ, Edis. *Direito do ambiente*. 10. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2015.

MILANEZ, Artur Yabe et al. *Acordo de Paris e transporte*. 2017.

MINAS GERAIS. Lei nº 14.937, de 23 de dezembro de 2003. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, Belo Horizonte, 23 dez. 2003. Disponível em: <https://www.fazenda.mg.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

MARANHÃO. Lei nº 5.594, de 24 de dezembro de 1992. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, São Luís, 24 dez. 1992. Disponível em: <https://www.sefaz.ma.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

MINARDI, Josiane. **Manual de direito tributário**. 7. ed. rev., ampl. e atual. Salvador: JusPodivm, 2021.

NASCIMENTO, Marcio Silveira. **Implantação e evolução da indústria automobilística no Brasil**. *Revista Tocantinense de Geografia*, v. 5, n. 7, p. 67–79, 2016. DOI: <https://doi.org/10.20873/rtg.v5n7p67-79>.

NOGUEIRA, A. E. **Reestruturação produtiva na indústria automobilística brasileira**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, 1999.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 21**. Rio de Janeiro, 1992.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Acordo de Paris**. Paris, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int>. Acesso em: 28 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <https://unfccc.int>. Acesso em: 27 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <https://www.un.org>. Acesso em: 28 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: PNUD, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org>. Acesso em: 28 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Protocolo de Quioto**. Quioto, 1997. Disponível em: <https://unfccc.int>. Acesso em: 28 dez. 2025.

OLIVEIRA, Bruno Eduardo Nery de et al. **Futuro das baterias de carros elétricos**. *Caderno Pedagógico*, v. 20, n. 4, p. 977-1002, 2023.

PAULSEN, Leandro; MELO, José Eduardo Soares de. **Impostos federais, estaduais e municipais**. 8. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Livraria do Advogado Editora, 2013.

PAYÃO, Jordana Viana; DE FÁTIMA RIBEIRO, Maria. **A extrafiscalidade tributária como instrumento de proteção ambiental**. *Revista do Direito Público*, v. 11, n. 3, p. 276-310, 2016.

PARÁ. Lei nº 6.017, de 30 de dezembro de 1996. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, Belém, 30 dez. 1996. Disponível em: <https://www.sefa.pa.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

PARAÍBA. Lei nº 11.007, de 06 de novembro de 2017. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, João Pessoa, 06 nov. 2017. Disponível em: <https://www.sefaz.pb.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

PERNAMBUCO. Lei nº 10.849, de 28 de dezembro de 1992. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, Recife, 28 dez. 1992. Disponível em: <https://www.sefaz.pe.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

PIAUÍ. Lei nº 4.548, de 29 de dezembro de 1992. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, Teresina, 29 dez. 1992. Disponível em: <https://www.sefaz.pi.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

PIMENTA, Luiz José. *A crise na rede concessionárias de automóvel no Brasil*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Salvador, 2002.

PEDRETI, Pedro dos Santos et al. **Contexto e análise dos impactos econômicos e ambientais da indústria automobilística no Brasil**. 2024.

RODRIGUEZ, Henrique. **Robôs de recarga para carros elétricos são nova solução onde não há carregadores**. *Quatro Rodas*, 20 mar. 2026. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/carros-eletricos/robos-de-recarga-para-carros-eletricos-china/>. Acesso em: 24 mar. 2026.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 7.068, de 15 de outubro de 2015. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, Rio de Janeiro, 15 out. 2015. Disponível em: <https://www.fazenda.rj.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

RIO GRANDE DO NORTE. Lei nº 6.967, de 30 de dezembro de 1996. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, Natal, 30 dez. 1996. Disponível em: <https://www.set.rn.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 8.115, de 30 de dezembro de 1985. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, Porto Alegre, 30 dez. 1985. Disponível em: <https://www.sefaz.rs.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

SARAGOUSSI, Muriel; DURIGAN, Carlos. **Eco-92**. 2022. Disponível em: <https://revistacenarium.com.br>. Acesso em: 27 dez. 2025.

SCOVAZZI, Tullio; LIMA, Lucas Carlos. **Do Protocolo de Kyoto ao Acordo de Paris**. 2021.

SILVA, Geraldo Eulálio do Nascimento. *Direito ambiental*. Brasília: FUNAG, 2017.

SILVA, José Afonso da. *Direito ambiental constitucional*. São Paulo: Malheiros, 2009.

SILVA, António Amílcar de Moura Alves. **Clima e alterações climáticas**. *Revista Geonorte*, 2012.

SNEDDON, C. **Sustainable development**. *Ecological Economics*, 2006.

SOUZA, Alcian Pereira de; SOUZA JUNIOR, Albefredo Melo de. **Greenwashing dos créditos de carbono**. 2024.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 13.296, de 23 de dezembro de 2008. **Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)**. Diário Oficial do Estado, São Paulo, 23 dez. 2008. Disponível em: <https://www.fazenda.sp.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 18.403, de 18 de fevereiro de 2026. **Dispõe sobre incentivos relacionados à eletromobilidade no Estado de São Paulo**. Diário Oficial do Estado, São Paulo, 18 fev. 2026. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

SOUSA, Euzébio Jorge Silveira de; DEL VECCHIO, Angelo; COSTA, Rafael Rodrigues da. **Inovação tecnológica, carros elétricos e sustentabilidade**. *Revista Princípios*, n. 170, p. 115–133, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14295/principios.2675-6609.2024.170.006>.

SILVA, Andre Vitor Santos da. **Veículos elétricos e sustentabilidade**. Trabalho de Conclusão de Curso – UTFPR, 2025.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2000.

SCHNEIDER, Elmir. **História do sistema rodoviário brasileiro**. *Revista Escola DetranRS*, v. 1, n. 1, p. 45-58, 2021.

WESTBROOK, Michael. **The electric car: development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars**. London: Institution of Electrical Engineers, 2001.

WIRTH, David A. **The Rio Declaration**. *Georgia Journal of International Law*, 1995.