REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

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

EXTRAFISCALITY OF THE MOTOR VEHICLE PROPERTY TAX (IPVA) AND ELECTROMOBILITY: BETWEEN TAX INCENTIVES AND THE LIMITS OF PRACTICAL (IN)FEASIBILITY IN THE BRAZILIAN CONTEXT

Ciências Humanas, Ciências Sociais Aplicadas • 01/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/793415123

Vitor Luiz Maia da Silva Xavier[1]

Alcian Pereira de Souza[2]

Danielle Costa de Souza Simas[3]

Wladia Rachel Maia da Silva[4]

Jeibson dos Santos Justiniano[5]

Albefredo Melo de Souza Junior[6]

Luis Fabian Pereira Barbosa[7]

RESUMO

A transição para uma economia de baixo carbono demanda a adoção de instrumentos jurídicos capazes de incentivar comportamentos ambientalmente sustentáveis, destacando-se, nesse contexto, a utilização da tributação com finalidade extrafiscal. O presente estudo analisa o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) como mecanismo de incentivo à eletromobilidade no Brasil, examinando sua compatibilidade com os objetivos constitucionais de proteção ambiental e mitigação das mudanças climáticas. A pesquisa possui abordagem qualitativa, natureza exploratória e descritivo-analítica, desenvolvida mediante pesquisa bibliográfica, documental e análise comparativa da legislação dos Estados e do Distrito Federal acerca dos regimes de isenção e redução de alíquotas aplicáveis aos veículos elétricos. Além da análise normativa, investigam-se os principais fatores que condicionam a efetividade desses incentivos, como os custos de aquisição dos veículos, a evolução tecnológica das baterias, os desafios relacionados à mineração e à reciclagem de minerais críticos, a infraestrutura de recarga e a influência da matriz energética sobre os benefícios ambientais da eletromobilidade. Os resultados demonstram que a extrafiscalidade do IPVA constitui importante instrumento de indução de políticas públicas voltadas à mobilidade sustentável, especialmente após a Emenda Constitucional nº 132/2023, que fortaleceu a dimensão ambiental do Sistema Tributário Nacional. Contudo, verifica-se que a concessão de benefícios fiscais, embora juridicamente legítima e ambientalmente relevante, não é suficiente para assegurar, de forma isolada, a expansão da eletromobilidade, exigindo integração com políticas energéticas, industriais, tecnológicas e de infraestrutura capazes de viabilizar uma transição sustentável e socialmente eficiente.

Palavras-chave: Eletromobilidade; Extrafiscalidade; IPVA; Mudanças climáticas; Tributação ambiental.

ABSTRACT

The transition to a low-carbon economy requires the adoption of legal instruments capable of encouraging environmentally sustainable behavior, particularly through the use of taxation for extrafiscal purposes. This study analyzes the Motor Vehicle Property Tax (IPVA) as a mechanism for promoting electromobility in Brazil, examining its compatibility with constitutional objectives concerning environmental protection and climate change mitigation. The research adopts a qualitative approach, with an exploratory and descriptive-analytical design, based on bibliographic and documentary research and a comparative analysis of the legislation of Brazilian states and the Federal District regarding tax exemption schemes and reduced tax rates applicable to electric vehicles. In addition to the regulatory analysis, the study investigates the main factors affecting the effectiveness of these incentives, including vehicle acquisition costs, technological advances in batteries, challenges associated with the mining and recycling of critical minerals, charging infrastructure, and the influence of the energy mix on the environmental benefits of electromobility. The results demonstrate that the extrafiscal function of the IPVA constitutes an important instrument for promoting public policies aimed at sustainable mobility, particularly following Constitutional Amendment No. 132/2023, which strengthened the environmental dimension of the Brazilian National Tax System. However, the findings indicate that granting tax benefits, although legally legitimate and environmentally relevant, is insufficient on its own to ensure the expansion of electromobility. Such expansion requires integration with energy, industrial, technological, and infrastructure

policies capable of enabling a sustainable and socially efficient transition.
Keywords: Electromobility; Extrafiscal Taxation; Motor Vehicle Property Tax (IPVA); Climate Change; Environmental Taxation.

1. INTRODUÇÃO

O agravamento das mudanças climáticas tem impulsionado transformações profundas nas políticas públicas voltadas à redução das emissões de gases de efeito estufa, especialmente no setor de transportes, reconhecido como um dos principais responsáveis pelo consumo de combustíveis fósseis e pela emissão de dióxido de carbono em escala global. Nesse contexto, a eletrificação da frota automotiva passou a ocupar posição estratégica nas agendas de transição energética, sendo acompanhada pela adoção de mecanismos econômicos e jurídicos destinados a incentivar tecnologias de menor impacto ambiental.

Entre esses instrumentos destaca-se a tributação ambiental, especialmente por meio da utilização da extrafiscalidade, que permite ao Estado empregar os tributos não apenas como fonte de arrecadação, mas também como mecanismo de indução de comportamentos compatíveis com os objetivos constitucionais de proteção ao meio ambiente. No âmbito brasileiro, o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) apresenta significativo potencial para essa finalidade, sobretudo após a Emenda Constitucional nº 132/2023, que incorporou a defesa do meio ambiente como princípio do Sistema Tributário Nacional e autorizou expressamente a diferenciação de alíquotas em razão do impacto ambiental dos veículos.

Nesse cenário, diversos Estados brasileiros passaram a adotar políticas tributárias voltadas ao incentivo da eletromobilidade, mediante concessão de isenções ou redução das alíquotas do IPVA para veículos elétricos e híbridos. Todavia, a existência desses benefícios fiscais suscita importante debate acerca de sua efetividade prática, considerando que a expansão da mobilidade elétrica depende de fatores que extrapolam a dimensão tributária, envolvendo aspectos econômicos, tecnológicos, ambientais e estruturais.

Diante dessa problemática, o presente estudo tem por objetivo analisar a utilização da extrafiscalidade do IPVA como instrumento de incentivo à eletromobilidade no Brasil, examinando os diferentes modelos normativos adotados pelos Estados e avaliando os limites que condicionam sua efetividade prática. Para tanto, adota-se abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritivo-analítica, fundamentada em pesquisa bibliográfica, documental e análise comparativa da legislação estadual, complementada pelo exame de estudos técnicos, dados institucionais e literatura especializada sobre eletromobilidade, baterias, infraestrutura de recarga e transição energética.

Parte-se da hipótese de que a concessão de benefícios fiscais representa importante mecanismo de indução de comportamentos sustentáveis, porém sua eficácia depende da articulação com políticas públicas voltadas à expansão da infraestrutura, ao fortalecimento da matriz energética renovável, ao desenvolvimento tecnológico e ao aperfeiçoamento da cadeia produtiva da mobilidade elétrica. Assim, busca-se contribuir para a compreensão dos limites e das potencialidades da tributação ambiental como

instrumento de promoção da sustentabilidade e da transição climática.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. 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.

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, detém 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 (2021, 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).

Cumpre 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).

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.

2.2. 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.

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 1. 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: Elaborado pelos autores.

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.

Cumpre 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 2. 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: Elaborado pelos autores.

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 na seção seguinte.

2.3. 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-manganês-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.*[8]

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 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, 2025).

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, 2025).

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 (Arangues, 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 Arangues (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, 2025).

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).*[9]

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 (2011, 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 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 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, 2011).

Nessa lógica, 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”.

Cumpre 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, Arangues (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 CO^2 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 Souza 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, 2026).

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 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*).

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).

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.

3. METODOLOGIA

A pesquisa adota abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritivo-analítica, orientada pelo método dedutivo, com o objetivo de examinar a extrafiscalidade do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) como instrumento de incentivo à eletromobilidade no Brasil. A investigação parte dos fundamentos constitucionais da tributação ambiental para analisar os regimes

estaduais de benefícios fiscais e os fatores que condicionam sua efetividade na promoção da mobilidade sustentável.

Os procedimentos metodológicos compreendem pesquisa bibliográfica e documental, associada à análise normativa comparativa. O levantamento bibliográfico contempla produções científicas sobre extrafiscalidade, tributação ambiental, transição energética e eletromobilidade, incluindo estudos de Machado (2019), Minardi (2021), Payão e Ribeiro (2016), Caetano e Moreira (2024) e Sousa, Del Vecchio e Costa (2024). A investigação documental abrange a Constituição Federal, especialmente as alterações introduzidas pela Emenda Constitucional nº 132/2023, e a legislação dos Estados e do Distrito Federal referente à concessão de isenções e à aplicação de alíquotas reduzidas do IPVA para veículos elétricos e híbridos.

A análise comparativa considera a modalidade do incentivo tributário, sua abrangência, os requisitos legais para concessão e a existência de condicionantes econômicas, tecnológicas ou territoriais. Complementarmente, são examinados estudos técnicos e dados institucionais da International Energy Agency (IEA, 2025), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2025) e da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (Abve, 2026), relacionados à evolução das baterias, à infraestrutura de recarga, à matriz elétrica e aos impactos ambientais associados ao ciclo de vida dos veículos elétricos.

A interpretação dos dados organiza-se em três eixos: a compatibilidade constitucional dos incentivos fiscais, a diversidade dos modelos tributários estaduais e os limites econômicos, tecnológicos e ambientais à expansão da eletromobilidade. O

confronto entre os resultados da análise normativa e as informações técnicas permite avaliar as potencialidades e restrições do IPVA como instrumento de política ambiental, sem pressupor relação causal direta entre a concessão de benefícios fiscais e o crescimento da frota eletrificada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES OU ANÁLISE DOS DADOS

A análise normativa e documental permitiu identificar que a utilização do IPVA como instrumento de incentivo à eletromobilidade encontra fundamento na ordem constitucional brasileira, especialmente após a Emenda Constitucional nº 132/2023. A inclusão da defesa do meio ambiente entre os princípios do Sistema Tributário Nacional, associada à possibilidade de diferenciação das alíquotas conforme o impacto ambiental dos veículos, ampliou a fundamentação jurídica para a adoção de políticas tributárias orientadas à redução das emissões no setor de transportes. Essa alteração fortalece a função extrafiscal do imposto, sem afastar a necessidade de observância dos princípios tributários e das exigências legais aplicáveis à concessão de benefícios fiscais.

O levantamento comparativo das legislações estaduais identificou três configurações principais de tratamento tributário: isenção integral, redução de alíquotas e concessão de benefícios condicionados a requisitos específicos. Estados como Rio Grande do Sul, Ceará e Pernambuco adotam regimes de isenção direcionados à propulsão elétrica, enquanto Rio de Janeiro, Piauí e Rio Grande do Norte utilizam alíquotas reduzidas. Outros entes federativos estabelecem critérios adicionais relacionados ao valor do veículo, à tecnologia empregada ou à origem de sua fabricação. Essa diversidade demonstra que a autonomia tributária estadual permite

diferentes estratégias de incentivo, mas também produz assimetrias quanto à abrangência e à intensidade dos benefícios oferecidos aos contribuintes.

A comparação indica que a existência de incentivos fiscais não corresponde necessariamente à adoção de uma política tributária ambiental uniforme. Enquanto determinados regimes privilegiam veículos exclusivamente elétricos, outros contemplam tecnologias híbridas ou vinculam a concessão do benefício a objetivos econômicos e industriais. No caso de Minas Gerais, por exemplo, a exigência de fabricação local associa a finalidade ambiental ao estímulo à produção estadual. Na Bahia e no Pará, a utilização de limites de valor restringe o universo de veículos beneficiados. Tais diferenças demonstram que a estruturação do incentivo envolve escolhas distributivas e econômicas que ultrapassam a simples diferenciação entre veículos elétricos e convencionais.

No Amazonas, a análise das alterações legislativas identificou particularidade relevante. A Lei Complementar nº 280/2025 reduziu as alíquotas do IPVA de maneira abrangente, alcançando veículos elétricos, híbridos e convencionais. Embora a medida represente diminuição da carga tributária, sua abrangência limita a diferenciação fiscal especificamente destinada às tecnologias de menor emissão. Esse resultado permite distinguir a redução geral da tributação de um incentivo propriamente ambiental, cuja capacidade indutora depende da existência de vantagem econômica suficientemente perceptível em relação às alternativas convencionais.

A discussão desse resultado encontra respaldo na compreensão de Payão e Ribeiro (2016), para quem a extrafiscalidade pressupõe a

utilização da tributação como mecanismo de orientação de comportamentos. Sob essa perspectiva, a finalidade ambiental de determinado benefício não decorre exclusivamente de sua previsão legislativa, mas também da maneira como sua estrutura tributária favorece escolhas compatíveis com os objetivos pretendidos. A redução indistinta de alíquotas pode produzir efeitos econômicos favoráveis aos proprietários de veículos, sem necessariamente estabelecer estímulo diferencial à substituição de tecnologias mais poluentes.

Outro resultado relevante refere-se à distância entre a existência jurídica dos benefícios e sua capacidade de influenciar decisões de consumo. A isenção ou redução do IPVA diminui os custos associados à propriedade do veículo, mas não elimina obstáculos relacionados ao preço de aquisição, à disponibilidade de modelos e às condições de financiamento. Dessa forma, o benefício tributário representa apenas uma das variáveis consideradas pelo consumidor, sendo insuficiente para demonstrar, isoladamente, a viabilidade econômica da substituição de veículos convencionais por elétricos. Essa interpretação converge com Martins (2016), que identifica os custos e a infraestrutura de recarga entre os fatores determinantes para a difusão da mobilidade elétrica.

No campo tecnológico, os estudos examinados apontam avanços na eficiência, na segurança e na redução dos custos das baterias, especialmente com a ampliação da utilização da tecnologia de lítio-ferro-fosfato (LFP). Conforme a International Energy Agency (IEA, 2025), essas baterias apresentam custos inferiores aos das tecnologias de níquel-manganês-cobalto (NMC), embora ainda existam diferenças relacionadas à densidade energética e ao desempenho. O desenvolvimento de alternativas baseadas em íon-

sódio e a incorporação de sistemas inteligentes de gerenciamento também indicam possibilidades de aperfeiçoamento tecnológico. Entretanto, esses avanços não eliminam imediatamente as limitações econômicas e produtivas associadas à eletromobilidade.

A investigação identificou, ainda, que os benefícios ambientais dos veículos elétricos precisam ser examinados considerando seu ciclo de vida. A extração de minerais críticos, a fabricação das baterias e sua destinação final produzem impactos que não podem ser desconsiderados na avaliação da sustentabilidade dessa tecnologia. Arangues et al. (2022) e Silva (2025) discutem as limitações relacionadas ao aproveitamento dos materiais e à gestão dos resíduos, enquanto a IEA (2025) aponta que os efeitos da reciclagem sobre a demanda por minerais primários tendem a se ampliar gradualmente. Esses resultados indicam que a substituição da propulsão convencional pela elétrica deve ser acompanhada por medidas de responsabilidade socioambiental nas cadeias produtivas e de fortalecimento da economia circular.

A análise da matriz elétrica constitui outro elemento central para a interpretação dos resultados. Segundo os dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2025), o Brasil apresenta elevada participação de fontes renováveis na geração de eletricidade, condição que favorece o aproveitamento dos benefícios climáticos da eletrificação dos transportes. Entretanto, a ausência de emissões diretas durante a circulação dos veículos não significa inexistência de impactos ambientais em sua produção e utilização. A contribuição da eletromobilidade para a mitigação das mudanças climáticas depende também das emissões associadas à geração da eletricidade consumida e às demais etapas do ciclo produtivo.

Quanto à infraestrutura, os dados da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (Abve, 2026) demonstram concentração territorial dos pontos públicos e semipúblicos de recarga. O levantamento utilizado na pesquisa aponta participação aproximada de 44,5% da região Sudeste, enquanto a região Norte representa cerca de 3,1% da infraestrutura nacional identificada. No Amazonas, a concentração dos equipamentos em Manaus revela uma limitação adicional à expansão da eletromobilidade para municípios do interior. A desigualdade territorial na disponibilidade de carregadores restringe as possibilidades de utilização dos veículos elétricos e demonstra que os incentivos tributários operam em contextos regionais significativamente distintos.

A distribuição da infraestrutura também permite identificar uma questão de efetividade das políticas públicas. Nos locais em que a rede de recarga permanece insuficiente, a redução do IPVA pode não representar estímulo econômico capaz de superar as dificuldades operacionais enfrentadas pelos usuários. Por outro lado, regiões com maior disponibilidade de equipamentos e serviços associados à mobilidade elétrica apresentam condições estruturais mais favoráveis à utilização desses veículos. A análise sugere, portanto, que a efetividade potencial dos incentivos depende da articulação entre a política tributária e os investimentos em infraestrutura, não sendo possível atribuir à concessão do benefício, de maneira isolada, a expansão da frota eletrificada.

Sob a perspectiva jurídico-institucional, os resultados permitem sustentar que a legitimidade constitucional dos incentivos fiscais deve ser acompanhada da avaliação de sua finalidade, abrangência e adequação aos objetivos ambientais pretendidos. A concessão de benefícios tributários envolve renúncia de receita e deve observar as

exigências fiscais pertinentes, além de critérios que permitam examinar sua contribuição para a política pública. Nesse sentido, a definição de objetivos verificáveis, a transparência dos custos fiscais e o acompanhamento periódico dos resultados constituem parâmetros relevantes para o aperfeiçoamento dos regimes estaduais de incentivo à eletromobilidade.

Em conjunto, os resultados confirmam a existência de fundamento jurídico para a utilização extrafiscal do IPVA e demonstram que os Estados brasileiros adotam estratégias distintas para incentivar a mobilidade elétrica. Contudo, a pesquisa não permite estabelecer relação causal entre os benefícios concedidos e o crescimento da frota de veículos elétricos, uma vez que não foram realizadas análises econométricas ou avaliações de impacto específicas. Sua contribuição consiste em identificar, mediante interpretação normativa e confronto com dados técnicos, os fatores que condicionam a capacidade desses instrumentos de produzir os efeitos ambientais pretendidos.

Desse modo, a principal conclusão analítica é que a extrafiscalidade do IPVA possui potencial para integrar uma política de descarbonização dos transportes, mas sua efetividade depende da compatibilidade entre o desenho dos incentivos e as condições econômicas, tecnológicas e territoriais de sua aplicação. A promoção da eletromobilidade demanda, portanto, coordenação entre tributação ambiental, planejamento energético, desenvolvimento industrial, infraestrutura de recarga e gestão dos impactos associados ao ciclo de vida das baterias, de maneira a evitar que a política fiscal se limite à concessão de vantagens econômicas sem correspondência demonstrável com os objetivos de sustentabilidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida demonstra que a utilização da extrafiscalidade do IPVA constitui instrumento juridicamente legítimo e constitucionalmente adequado para incentivar a adoção de veículos elétricos, especialmente após as alterações promovidas pela Emenda Constitucional nº 132/2023, que fortaleceu a proteção ambiental como princípio estruturante do Sistema Tributário Nacional. Nesse contexto, os benefícios fiscais concedidos pelos Estados evidenciam a crescente utilização da tributação como mecanismo de indução de comportamentos ambientalmente desejáveis, alinhando a política tributária às estratégias de mitigação das mudanças climáticas.

O estudo comparativo dos regimes estaduais revela, entretanto, significativa heterogeneidade na forma de implementação desses incentivos, coexistindo modelos baseados em isenção integral, redução de alíquotas e benefícios condicionados a critérios econômicos ou regionais. Essa diversidade demonstra a autonomia dos entes federativos na formulação de políticas tributárias ambientais, mas também evidencia a inexistência de uma política nacional uniforme de incentivo à eletromobilidade.

Além disso, verificou-se que a efetividade desses incentivos não pode ser analisada exclusivamente sob a perspectiva tributária. A expansão da mobilidade elétrica permanece condicionada a fatores estruturais, como o elevado custo de aquisição dos veículos, a disponibilidade de minerais estratégicos para fabricação das baterias, os impactos ambientais associados à mineração, os desafios relacionados à reciclagem e ao reaproveitamento desses componentes, a expansão da infraestrutura de recarga e, sobretudo,

a qualidade da matriz energética responsável pelo abastecimento dos veículos.

No caso brasileiro, a predominância de fontes renováveis na matriz elétrica representa vantagem comparativa relevante, potencializando os benefícios ambientais da eletrificação da frota quando comparada a países fortemente dependentes de combustíveis fósseis. Ainda assim, a consolidação da eletromobilidade exige investimentos contínuos em inovação tecnológica, fortalecimento da economia circular, ampliação da infraestrutura de recarga e integração entre políticas tributárias, energéticas, industriais e ambientais.

Conclui-se, portanto, que a extrafiscalidade do IPVA constitui importante instrumento de política pública ambiental, mas sua capacidade de promover uma efetiva transição para a mobilidade sustentável depende de uma abordagem sistêmica e integrada. A tributação, isoladamente, não é suficiente para transformar o modelo de transporte nacional, devendo atuar em conjunto com estratégias estruturantes que assegurem condições econômicas, tecnológicas e institucionais para que a eletromobilidade se consolide como instrumento efetivo de enfrentamento das mudanças climáticas e de promoção do desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAZONAS. Assembleia Legislativa. Projeto de Lei de 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.

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.

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.

BBC NEWS BRASIL. **Carro elétrico é realmente mais sustentável?** Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/articles/cj3emvg7eg6o. 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.

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.

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.

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.

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.

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

MARTINS, Claudia do Nascimento. **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.

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

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.

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.

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

SANTOS, Antonio Nacílio Sousa dos 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.

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

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.

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

---

[1] Mestre em Direito Ambiental pela UEA. Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7770-4421

[2] Doutor em Ciências pela FEA/USP. Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: acesse o artigo

original para visualizar o e-mail. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1139-5234

[3] Doutoranda em Direito Ambiental pela UEA. Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6104-3563

[4] Especialista em Ciências Jurídicas-Direito do Estado pela Universidade Cândido Mendes/RJ. Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9095-0772

[5] Doutor em Direito, UFMG. Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4538-0020

[6] Doutorando em Direito, UFMG. Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5181-478X

[7] Doutorando em Direito, UFMG, Brasil. Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2883-1922

[8] 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-manganês-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.

[9] 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 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).