

ESTIMATIVA DO IMPACTO FUTURO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

ESTIMATED FUTURE IMPACT OF BATTERY ELECTRIC VEHICLES ON THE BRAZILIAN ELECTRICITY MATRIX

Josimar Souza Rosa (autora correspondente), Tales Oliveira Figueiró, Paulo Roberto Wander,
Carlos Alberto Mendes Moraes

Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

js-rosa@hotmail.com, talesfigueiro@gmail.com, prwander@unisinis.br, cmoraes@unisinis.br

Submissão: 15 de janeiro de 2025

Aceitação: 14 de setembro de 2025

Resumo

O mercado global de veículos elétricos a bateria (BEVs, *Battery Electric Vehicles*) tem apresentado uma expansão acelerada nos últimos anos, impulsionado por países como China, União Europeia e Estados Unidos, conforme relatado pela International Energy Agency (2024). No Brasil, embora o número de veículos vendidos seja mais modesto, nota-se uma tendência de aumento exponencial, similar às fases iniciais observadas em mercados mais desenvolvidos. Esse comportamento permite o uso de dados globais como referência para previsões no cenário nacional. Com o crescimento da frota de BEVs no Brasil, surgirá uma demanda adicional por energia elétrica, o que coloca desafios significativos para o sistema energético nacional. Neste contexto, o presente estudo busca estimar os impactos futuros dos BEVs sobre a demanda elétrica brasileira. Para tanto, consideram-se premissas como a capacidade média das baterias, o comportamento linear da expansão da matriz de geração elétrica e projeções de vendas do setor automotivo. A análise inclui uma revisão do histórico de vendas no mercado automotivo brasileiro, bem como uma avaliação dos desafios econômicos e tecnológicos relacionados à adoção de BEVs. Além disso, são discutidas estratégias para acelerar a eletrificação da frota, contemplando incentivos econômicos e avanços tecnológicos. Dados sobre a capacidade atual de geração de energia elétrica e a demanda adicional projetada devido aos BEVs foram cruzados para identificar possíveis desequilíbrios no sistema energético. Os resultados mostram que, mantidas as tendências atuais, a demanda elétrica adicional gerada pelos BEVs ultrapassará o crescimento da capacidade de geração elétrica em 2031. Este cenário exige planejamento estratégico, incluindo investimentos em geração sustentável, expansão da infraestrutura de recarga e políticas públicas que integrem a mobilidade elétrica ao planejamento energético, garantindo a sustentabilidade do sistema nacional.

Palavras-chave: BEV; matriz elétrica; mercado automotivo, demanda e oferta de energia elétrica.

Abstract

The global market for battery electric vehicles (BEVs) has been experiencing rapid growth in recent years, driven by countries such as China, the European Union, and the United States, as reported by the International Energy Agency (2024). In Brazil, although sales growth has been more modest, there is a noticeable trend of exponential increase, like the early stages observed in more developed markets. This behavior allows the use of global data as a reference for projections in the national context. As the BEV fleet grows in Brazil, additional demand for electricity will emerge, posing significant challenges to the national energy system. In this context, this study aims to estimate the future impacts of BEVs on Brazil's electricity demand through 2031. For this purpose, it considers

assumptions such as the average battery capacity, the linear behavior of the expansion of the electricity generation matrix, and sales projections for the automotive sector. The analysis includes a detailed review of sales history in the Brazilian automotive market, as well as an evaluation of the economic and technological challenges associated with BEV adoption. Additionally, strategies to accelerate fleet electrification are discussed, encompassing economic incentives and technological advancements. Data on the current electricity generation capacity and the projected additional demand from BEVs were cross-referenced to identify potential imbalances in the energy system. The results indicate that, if current trends persist, the additional electricity demand generated by BEVs will surpass the growth in electricity generation capacity by 2031. This scenario requires strategic planning, including investments in sustainable generation, the expansion of charging infrastructure, and public policies that integrate electric mobility into energy planning, ensuring the sustainability of the national system.

Keywords: BEV; electricity matrix; automotive market, electricity supply and demand.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a transição para uma mobilidade sustentável tem sido objeto de intenso debate e análise em virtude da crescente demanda por veículos elétricos a bateria (BEVs, do inglês *Battery Electric Vehicles*). Este fenômeno é impulsionado pelas preocupações ambientais e pela necessidade de diversificação da matriz energética em escala global, especialmente na substituição de combustíveis de origem fóssil por outros de origem renovável.

A evolução dos automóveis para os modelos elétricos a bateria parece ser hoje a principal tendência na indústria automotiva e de transporte (Gauto *et al.*, 2023). Entretanto, ainda existem desafios e dúvidas em relação ao seu desempenho ambiental e a cadeia de suprimentos de componentes em todo o mundo (Sun; Bach; Fikbeiner., 2021). A eletrificação dos transportes representa uma oportunidade estratégica para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, diminuir as emissões de gases de efeito estufa e gases poluentes e contribuir para o desenvolvimento de um futuro mais sustentável (Al-Dal'Ain; Celebi, 2021; Hossain Lipu *et al.*, 2018). Países como China, Estados Unidos e membros da União Europeia têm liderado essa transição, com políticas de incentivo e investimentos significativos na infraestrutura de recarga e em tecnologias de armazenamento de energia.

No contexto do Brasil, embora o país seja reconhecido por sua matriz energética limpa, em comparação com outros países, e pelo seu pioneirismo no uso de biocombustíveis, ainda

existem desafios específicos relacionados à adoção massiva de veículos elétricos. Algumas delas estão relacionadas a limitações como a autonomia reduzida, os elevados preços em comparação com veículos a combustão, a falta de infraestrutura pública para recarga e os longos tempos necessários para recarga (Barter *et al.*, 2015). Diante desses obstáculos, torna-se essencial compreender as alternativas disponíveis para viabilizar o uso cotidiano dos veículos elétricos e tornar sua adoção mais atrativa para os consumidores.

De acordo com a NeoCharge, empresa especializada em carregadores e infraestrutura para mobilidade elétrica, com relação ao carregamento das baterias, diferentes estratégias e tipos de carregadores podem ser aplicados em veículos elétricos:

(a) quanto à origem da energia, os proprietários podem utilizar a energia proveniente da rede elétrica pública, conectando o veículo a uma tomada convencional ou a um carregador específico. Alternativamente, é possível realizar o carregamento utilizando fontes de energia distribuída, como sistemas fotovoltaicos instalados em residências ou estabelecimentos comerciais. Essa abordagem não apenas reduz a dependência da rede elétrica como também contribui para a sustentabilidade do sistema, ao utilizar fontes renováveis e, em alguns casos, operar de forma independente da rede pública (*off-grid*);

(b) quanto à potência do carregador, existe uma grande variedade de opções que influenciam diretamente o tempo necessário para completar a carga da bateria. Em ambientes residenciais, é comum o uso de carregadores do tipo *wallbox*, com potências variando entre 3,7 kW e 22 kW, que

permitem um carregamento mais lento, porém adequado à rotina diária dos usuários. Por outro lado, as estações de carga rápida (*fast charger* DC), amplamente utilizadas em rodovias e centros urbanos estratégicos, podem atingir potências de até 400 kW. Essas estações permitem um carregamento significativamente mais rápido, em muitos casos possibilitando atingir 80% da carga da bateria em menos de 30 minutos, além de atender simultaneamente múltiplos veículos, o que é essencial para a escalabilidade da mobilidade elétrica;

(c) quanto ao local de carregamento, os veículos elétricos oferecem flexibilidade aos usuários. A recarga pode ser feita nas próprias residências, durante a noite, aproveitando tarifas energéticas mais baixas e períodos de menor demanda da rede. Além disso, estão em expansão os postos de carregamento públicos, localizados em estacionamentos, shoppings, postos de combustíveis, vias urbanas e rodovias. Essa infraestrutura visa oferecer conveniência e confiança aos motoristas, reduzindo a chamada “ansiedade de autonomia” e incentivando o uso do veículo elétrico em trajetos mais longos ou em situações em que a carga domiciliar não seja suficiente.

Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE, 2024), em agosto de 2024 o Brasil contava com 10.662 eletropostos distribuídos em território nacional. Esse crescimento da infraestrutura de recarga reflete os esforços do setor público e privado em acompanhar o aumento gradual da frota de veículos elétricos no país. Esses eletropostos são especialmente relevantes em situações nas quais os motoristas realizam viagens mais longas, já que a autonomia dos veículos elétricos a bateria (BEVs) ainda é limitada, quando comparada aos veículos com motores a combustão interna. Além disso, a disponibilidade de pontos de recarga ao longo de rodovias e em áreas estratégicas das cidades contribui diretamente para a confiança do consumidor, reduzindo a chamada “ansiedade de autonomia”, um dos principais fatores que inibem a adoção em massa dos BEVs. Os eletropostos também desempenham um papel essencial na construção de uma rede de mobilidade elétrica funcional e abrangente, permitindo que os veículos elétricos sejam utilizados não apenas para deslocamentos urbanos diários, mas também para trajetos intermunicipais e interestaduais. A expansão dessa infraestrutura, portanto, é um

passo fundamental para viabilizar o crescimento sustentável da eletromobilidade no Brasil.

1.1 Vendas de BEVs no Brasil e no mundo

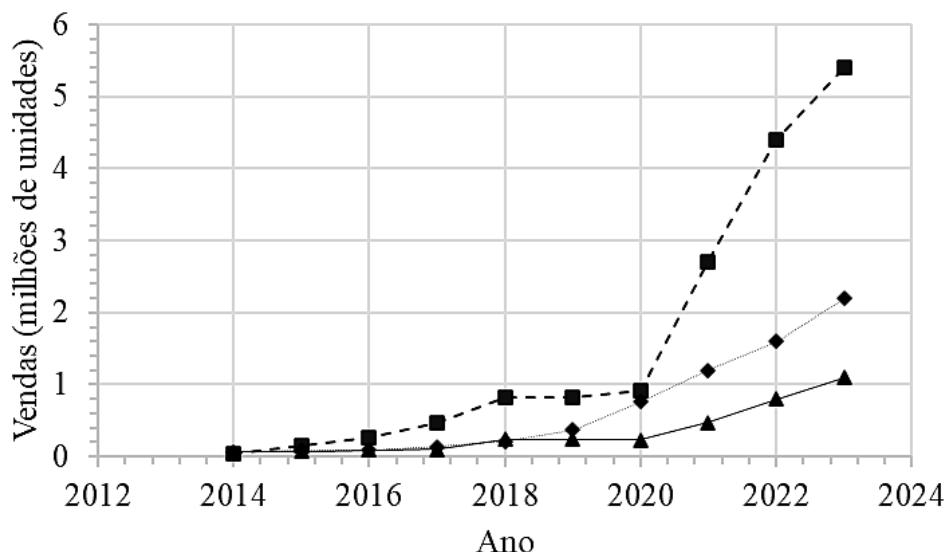
As vendas de veículos elétricos a bateria (*Battery Electric Vehicles* – BEVs) têm registrado um crescimento expressivo ano após ano em diversos países, impulsionadas por avanços tecnológicos, incentivos governamentais e uma ideia de maior conscientização ambiental da população. Esse aumento reflete uma mudança nos padrões de consumo e uma resposta direta às pressões globais por redução das emissões de carbono e mitigação das mudanças climáticas. De acordo com o relatório *Trends in Electric Light-Duty Vehicles* (Tendências em Veículos Leves Elétricos), publicado pela International Energy Agency em 2024 (IEA, 2024 *apud* Brasil, s.d.), esse mercado tem mostrado uma dinâmica particularmente intensa nas economias asiáticas, europeias e norte-americanas. Nesses países, políticas públicas consistentes, como subsídios à compra de veículos elétricos, isenções fiscais, restrições à circulação de veículos a combustão e investimentos robustos em infraestrutura de recarga, têm acelerado a transição para uma mobilidade de baixo carbono. Além dos incentivos, a rápida evolução tecnológica tem ampliado a autonomia dos veículos, reduzido os custos de produção e aumentado a competitividade dos modelos elétricos frente aos tradicionais movidos a combustíveis fósseis. Com isso, os BEVs vêm deixando de ser uma alternativa de nicho para se tornarem uma opção cada vez mais viável e atrativa para o consumidor médio. Essa tendência global sinaliza um reposicionamento estratégico da indústria automotiva e uma transformação nos hábitos de mobilidade urbana e interurbana.

Em especial a China consolidou sua posição como líder global no mercado de veículos elétricos a bateria, destacando-se tanto pelo volume expressivo de vendas quanto pela abrangência de sua infraestrutura de suporte, que inclui extensas redes de recarga e uma robusta cadeia de produção de baterias. Conforme ilustra a Figura 1, este protagonismo reflete uma estratégia integrada e de longo prazo adotada pelo país, que combina políticas públicas eficazes, incentivos econômicos e um ambiente favorável à inovação tecnológica. Entre as iniciativas governamentais que sustentam

essa liderança, destacam-se subsídios diretos aos consumidores, que tornam os veículos elétricos mais acessíveis, e incentivos fiscais para fabricantes, estimulando o crescimento da produção local. Além disso, o governo chinês tem investido pesadamente em pesquisa e desenvolvimento (P&D), fortalecendo a competitividade das empresas nacionais no cenário global. Outro fator determinante é a presença de grandes fabricantes chineses, que não apenas dominam o mercado

interno, mas também expandem suas operações para mercados internacionais. A ampla aceitação dos veículos elétricos pelos consumidores chineses, em parte impulsionada pela crescente preocupação com a qualidade do ar nas grandes cidades, também contribui significativamente para o sucesso do setor no país. Esses elementos, em conjunto, posicionam a China como um modelo a ser observado e estudado por outras nações em busca de liderar a transição para a mobilidade sustentável.

Figura 1 – Vendas de BEVs nos principais mercados entre 2014 e 2023



Fonte: IEA, 2024 *apud* Brasil, s.d.

O salto das vendas entre o período de 2020 e 2024, notável na Figura 1, fez com que a China ultrapassasse a marca de 16 milhões de veículos elétricos a bateria (BEVs) em sua frota total, consolidando-se como a maior referência mundial na adoção dessa tecnologia. A União Europeia e os Estados Unidos também apresentaram avanços significativos, encerrando o ano de 2024 com frotas de aproximadamente 6,7 milhões e 3,4 milhões de BEVs, respectivamente. Esses números refletem não apenas políticas públicas agressivas em favor da eletromobilidade, mas também a maturidade dos mercados e da infraestrutura nesses países.

No Brasil, embora a demanda por veículos elétricos ainda seja expressivamente menor em comparação com as principais potências globais, observa-se uma trajetória de crescimento consistente ao longo dos últimos anos. Conforme evidencia a Figura 2, o país tem experimentado aumentos sucessivos nas vendas de BEVs,

impulsionados por fatores como a ampliação da oferta de modelos no mercado nacional, o interesse crescente por soluções de mobilidade mais sustentáveis e o início de iniciativas governamentais e privadas voltadas à promoção da eletromobilidade. Ainda que o ritmo seja mais lento, o cenário aponta para um potencial promissor de expansão no médio e longo prazo, especialmente se houver maior alinhamento entre políticas públicas, incentivos fiscais e investimentos em infraestrutura de recarga.

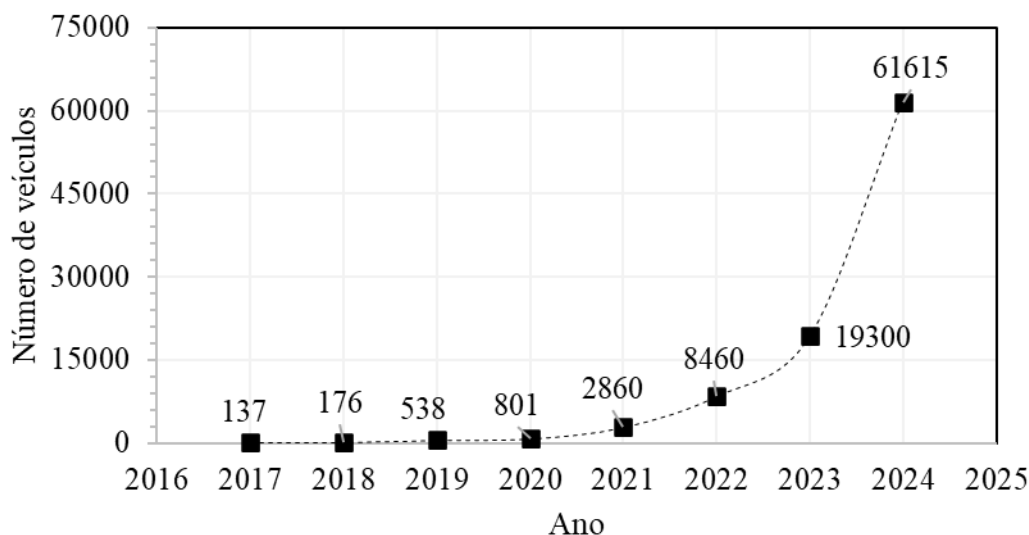
Em relação às montadoras, o destaque é a China que concentra mais da metade da produção de todos os carros elétricos vendidos no mercado global no ano de 2023. Muito disso se deve ao fato da China também ser a maior consumidora do produto, cerca de 60% dos carros elétricos de todo o mundo foram vendidos na China, reforçando seu papel de destaque na eletrificação dos carros leves. Ainda é possível perceber que há uma barreira regional mais intensa na venda de BEVs do que nos

veículos a combustão interna convencionais de forma que os países mais pobres não têm acesso a tal tecnologia e tendem a demorar décadas até atingir níveis altos de eletrificação de suas frotas.

O mercado brasileiro de veículos elétricos a bateria é limitado principalmente por causa do valor

de um veículo. Em outras regiões como China, União Europeia e EUA, a população detém maior capacidade de compra e consegue adquirir com maior facilidade esse tipo de veículo. No Brasil, o valor praticado ainda é alto impedindo que a população em geral tenha acesso a essa tecnologia.

Figura 2 – Vendas de BEVs no Brasil entre 2017 e 2023



Fonte: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2024).

Observa-se que no mercado internacional está ocorrendo uma estabilização no crescimento das vendas de BEVs, isso torna possível calcular uma taxa média de aumento nas vendas a cada ano e com isso obter dados mais precisos que permitem um melhor planejamento referente às quantidades de veículos elétricos vendidos nos próximos anos. A estabilização do crescimento é fundamental para que as projeções desse estudo sejam confirmadas no decorrer dos próximos anos.

Observa-se que enquanto as vendas nos principais mercados mostrados na Figura 1 já estão na casa de milhões há alguns anos, no Brasil, as vendas de BEVs ainda não ultrapassaram a casa de 100 mil veículos anuais. Dados da Global EV Outlook 2024 (GEV24 *apud* Brasil, s.d) afirmam que a rápida aceitação dos BEVs evitará a produção de 6 milhões de barris por dia (mb/d) de demanda de petróleo, no Cenário de Políticas Declaradas em 2030, e mais de 10 mb/d em 2035. Isso equivale à quantidade de petróleo usada para transporte rodoviário nos Estados Unidos hoje. No entanto, essa meta é bastante ambiciosa, ao ponto que dificilmente poderá ser alcançada; ainda assim, se

todas as metas nacionais de energia e clima feitas pelos governos forem cumpridas conforme combinado no Cenário de Promessas Anunciadas, cerca de 60% de todos os automóveis comercializados em 2035 serão BEVs. Caso isso ocorra será evitado o consumo de pelo menos 12 milhões de barris de petróleo por dia no mundo todo.

1.2 Matriz energética elétrica

A capacidade brasileira de geração de energia elétrica, chamada de capacidade instalada, cresceu a uma taxa média de aproximadamente 4,6% ao ano ao longo dos últimos anos, como mostra a Figura 3, tendo um comportamento quase linear.

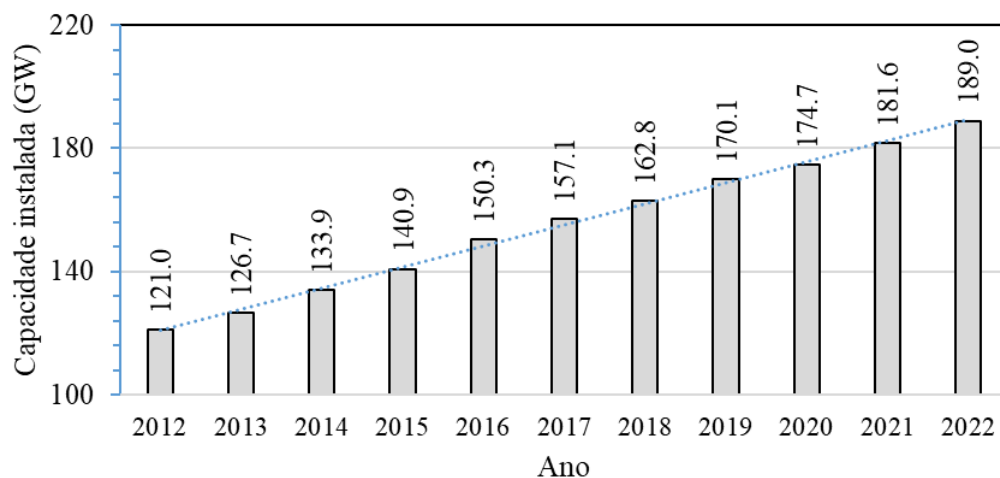
A geração de energia elétrica no mundo é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis como carvão e gás natural, em termelétricas. No Brasil, entretanto, há uma matriz predominantemente renovável para geração deste tipo de energia, baseada principalmente em sistemas hidrelétricos, solares e eólicos (Brasil, 2024). A Figura 4 apresenta o percentual de geração renovável na matriz elétrica brasileira ao

longo dos últimos anos.

Em 2023, a geração de eletricidade por meio de fontes renováveis atingiu um marco histórico no Brasil, representando quase 90% do total produzido no país. Esse feito reforça a posição do Brasil como uma das nações líderes em energia limpa no mundo. As hidrelétricas continuaram sendo a principal fonte de geração elétrica, correspondendo a aproximadamente 58% do total, um aumento de 1,2% em relação a 2022. Além disso, o avanço da participação de fontes renováveis na matriz elétrica

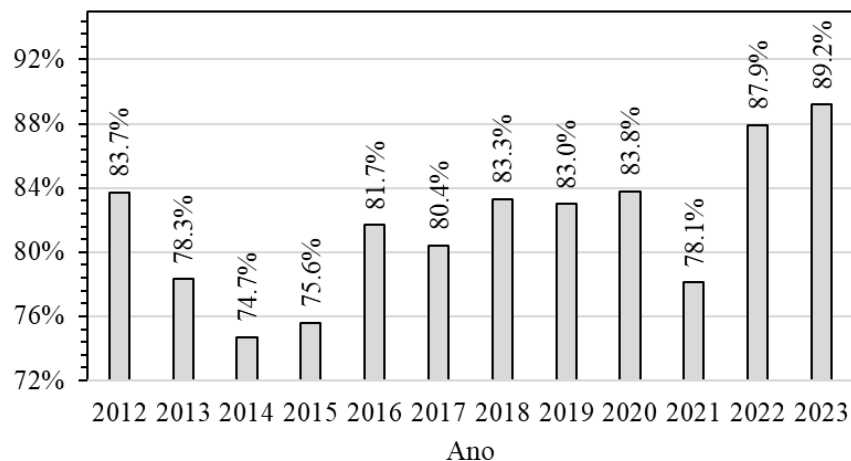
brasileira nos últimos anos se deve, em grande parte, ao crescimento expressivo das fontes solar e eólica. A energia solar, em particular, teve uma expansão acelerada, impulsionada tanto pela instalação de grandes usinas solares quanto pela adoção crescente de sistemas de geração distribuída, como painéis fotovoltaicos em residências e empresas. A energia eólica também se destacou, com a ampliação de parques eólicos em regiões como o Nordeste, onde as condições climáticas são altamente favoráveis.

Figura 3 – Capacidade instalada de geração de energia elétrica brasileira



Fonte: Brasil, 2024.

Figura 4 – Percentual de geração de eletricidade por fonte renováveis nos últimos anos no Brasil

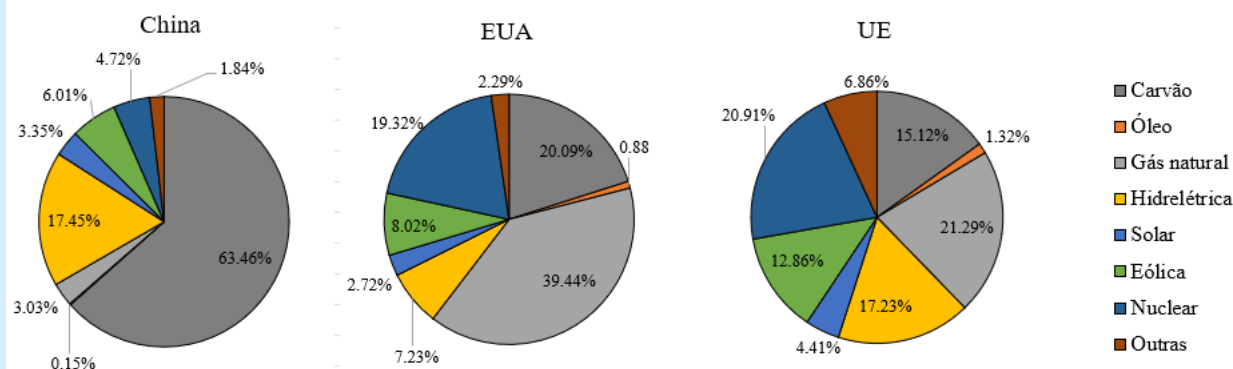


Fonte: Brasil, 2024.

Esse cenário é resultado de políticas públicas voltadas para a promoção das energias renováveis, avanços tecnológicos, e a busca por uma matriz energética mais sustentável. Além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, essa transição fortalece a segurança energética do país e cria oportunidades econômicas e sociais. Em

comparação com outros países ou regiões do mundo, o Brasil destaca-se por sua matriz elétrica altamente renovável. A Figura 5 mostra a distribuição da geração de energia elétrica por tipo de fonte na China, nos Estados Unidos (EUA) e na União Europeia (UE).

Figura 5 – Distribuição das diferentes fontes para geração de eletricidade em localidades selecionadas



Fonte: International Energy Agency (IEA), 2025.

Nos casos mostrados na Figura 5 nota-se que as regiões especificadas possuem uma expressiva parcela de geração por carvão e gás natural. Investir massivamente em carros elétricos em um país cuja matriz elétrica é majoritariamente baseada em carvão, como é o caso da China, torna-se uma incoerência significativa do ponto de vista ambiental. Embora os veículos elétricos sejam promovidos como uma solução para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a qualidade do ar, essa transição perde boa parte de seus benefícios quando a eletricidade usada para os carregar provém de fontes altamente poluentes, como o carvão. Nesse cenário, o impacto ambiental dos carros elétricos pode ser comparável ou até pior do que o dos veículos a combustão, já que a queima de carvão libera grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) e outros poluentes. Para que o investimento em veículos elétricos seja verdadeiramente eficaz e sustentável, é fundamental que ele seja acompanhado de esforços para descarbonizar a matriz energética, priorizando fontes renováveis como solar, eólica e hidrelétrica.

Neste sentido, o Brasil tem um grande potencial para se tornar protagonista no mercado de veículos elétricos devido à sua matriz elétrica majoritariamente renovável, que é uma das mais limpas do mundo, conforme já citado anteriormente.

O país possui uma vantagem competitiva significativa ao garantir que os veículos elétricos operem com baixa pegada de carbono ao longo de seu ciclo de vida. Esse diferencial torna os veículos elétricos no Brasil uma solução verdadeiramente sustentável, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e alinhando-se às metas globais de descarbonização.

Este artigo tem como objetivo principal analisar o impacto futuro da inserção de veículos elétricos a bateria (BEVs) na matriz elétrica brasileira, considerando as implicações energéticas e estratégicas dessa transformação. Com base em dados atualizados sobre as vendas de BEVs no mercado nacional e tendências globais de eletrificação, o estudo busca projetar cenários futuros para a demanda adicional de energia elétrica gerada pela adoção crescente desses veículos. Além disso, o trabalho examina o momento em que essa demanda adicional poderá exceder a expansão prevista da capacidade instalada de geração elétrica no país, identificando possíveis gargalos e desafios para o setor energético. Ao integrar dados econômicos, tecnológicos e ambientais, o artigo visa fornecer subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas eficazes e estratégias de investimento que assegurem a sustentabilidade e a resiliência do sistema elétrico

nacional. Dessa forma, a pesquisa pretende contribuir para um planejamento energético de longo prazo que equilibre a transição para uma mobilidade mais limpa com a segurança e o equilíbrio do setor elétrico brasileiro.

Para quantificar os valores relacionados às vendas de veículos e ao consumo de energia elétrica, foi necessário estabelecer premissas específicas. Essas premissas estão descritas em detalhe na seção de metodologia, que também apresenta as abordagens utilizadas para estimar o impacto dos veículos elétricos a bateria (BEVs) na matriz elétrica brasileira. Os resultados incluem projeções detalhadas e cenários futuros, que ilustram o crescimento das vendas de veículos elétricos no Brasil e seus respectivos impactos na demanda energética. Por fim, a conclusão explora as implicações dos resultados obtidos, destacando a importância de um planejamento estratégico eficaz e a necessidade de constante adaptação às novas realidades tecnológicas e econômicas para garantir a sustentabilidade e eficiência do setor.

2 METODOLOGIA

As premissas empregadas para realização dos cálculos do impacto na matriz energética elétrica foram as seguintes:

- bateria de todos os veículos com capacidade de 30 kWh. Considerou-se a capacidade média das baterias dos BEVs mais comercializado no Brasil nos últimos anos;
- empregou-se a capacidade instalada de geração elétrica como base para calcular o impacto na rede, e não a geração efetiva;
- as perdas na transmissão, distribuição e conversão não foram consideradas;
- O crescimento da capacidade instalada da matriz de geração elétrica continuará tendo comportamento linear nos próximos anos. Para quantificar este valor empregou-se a média de crescimento dos últimos 10 anos, que foi de 6,8 GW;
- todos os veículos são carregados simultaneamente, ou ao menos estarão conectados à rede simultaneamente durante algum período;
- o tempo de recarga é de 5 h, conforme ficha técnica do fabricante do BEV mais comercializado no Brasil, para carga em tomada

residencial de 220 V;

- as vendas anuais de veículos leves automíveis nos próximos anos, no Brasil, serão iguais à média das vendas dos últimos 10 anos nos principais mercados, isto é, 1.801.230 unidades.

A sequência metodológica executada para obter os resultados do trabalho foi:

- 1) estimativa do número de vendas de BEVs nos próximos anos:* partindo-se dos dados históricos de vendas de BEVs no Brasil, mostrados na Figura 2, realizou-se uma projeção das vendas para os próximos anos;
- 2) cálculo da demanda adicional anual por energia elétrica em função dos novos BEVs comercializados:* foram utilizados os dados históricos de números de vendas anuais e as projeções para calcular estes parâmetros, utilizando a equação 01 para a energia (E) e a equação 02 para a demanda (D);

$$E = \frac{C \cdot N_v}{10^6} \text{ [GWh]} \quad (01)$$

- C : capacidade média de baterias, em kWh.
- N_v : número de veículos vendidos (histórico ou projeção).

$$D = \frac{E}{t} \text{ [GW]} \quad (02)$$

- t : tempo de recarga (h).

- 3) cálculo da demanda acumulada anual dos BEVs ao longo dos anos:* a demanda adicional nos próximos anos, estimada nas etapas anteriores para cada ano, foi organizada de forma acumulada, apenas somando-se os valores ao longo dos anos;
- 4) estimativa do aumento da capacidade instalada da matriz de geração elétrica brasileira:* por meio dos dados históricos de ampliação da matriz de geração elétrica brasileira, pode-se criar uma linha de tendência e projetar o crescimento para os próximos anos;
- por último, os dados de aumento da demanda de energia elétrica e os dados de aumento previsto da capacidade de geração foram cruzados, visando determinar se há um ponto de interseção, no qual a demanda ultrapassaria a capacidade.

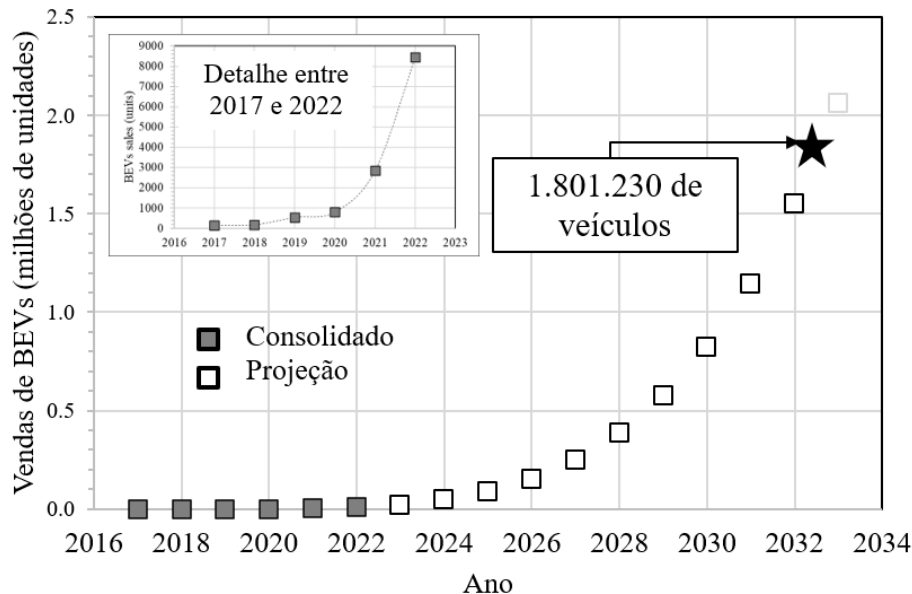
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro passo da metodologia resultou no

gráfico mostrado na Figura 6. Considerando o crescimento de vendas (projeção) com a mesma tendência verificada entre 2017 e 2022, observa-se que no ano de 2033 o total de vendas de BEVs se equipararia ao total de vendas anuais de 1.801.230

veículos leves automóveis (determinada pela premissa “g”). Isto significa que todos os veículos leves automóveis vendidos seriam BEVs, a partir de 2033.

Figura 6 – Série histórica e projeção do número de vendas de BEVs no Brasil



Fonte: elaborado pelos autores a partir de dados da ANFAVEA (2023).

É evidente que a capacidade nacional de produção deste tipo de veículo deveria aumentar também de forma exponencial para atender tal demanda simulada. Questões que envolvem ainda os preços voláteis e a escassez de metais de alta qualidade e semicondutores afetam significativamente o crescimento desta cadeia produtiva. Além disso, possivelmente a maior dificuldade enfrentada pelo segmento no futuro será a gradual redução de incentivos governamentais, pois à medida que o setor ganha força, os governos tendem a retomar a tributação normal, tornando os BEVs mais caros. Outro fator que precisa ser desenvolvido para valorizar as baterias é a indústria de reciclagem desse material. A reciclagem ou reutilização são ferramentas importantes e agregam valor tanto no ponto de vista de sustentabilidade quanto no ponto de vista econômico, oportunizando mais segurança ao segmento de suprimentos, semelhante ao que ocorre com a indústria de veículos convencionais em nosso país.

Após um período de dificuldade no atendimento à demanda por baterias para BEVs, no ano de 2022, a indústria demonstra ser capaz de

fabricar a quantidade necessária e até exceder essa quantidade seguindo o ritmo de eletrificação previsto nos próximos anos. Embora o preço médio das baterias de íons de lítio tenha sido aumentado pela primeira vez em cerca de 7%, no ano de 2022, a queda de valor de metal bruto promoveu uma baixa de quase 14% no preço do produto no ano de 2023. Para que o problema não venha a ocorrer novamente, uma série de medidas estão sendo tomadas, especialmente focando em novos materiais substitutos como o uso de baterias de lítio-ferrofosfato. Essas baterias são significativamente mais baratas e por isso equiparam mais de 40% dos veículos vendidos no ano de 2023. A tecnologia é ainda mais interessante se comparar seu uso atual com o uso em 2020, que foi menos de 20%. Ainda vale ressaltar que algumas tecnologias mais baratas estão sendo desenvolvidas, como o caso das baterias de íons de sódio, que possuem custo médio estimado 20% menor que as baterias produzidas a base de lítio.

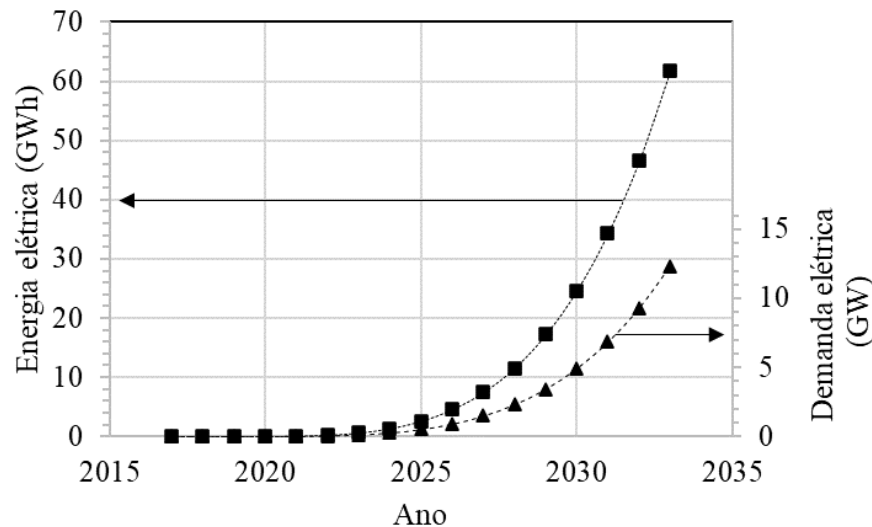
Embora as projeções apresentadas se baseiem em tendências históricas de adoção, é importante reconhecer que a demanda por veículos

elétricos a bateria (BEVs) é fortemente influenciada por fatores econômicos e de mercado. O comportamento do consumidor tende a responder a variações no preço relativo dos BEVs em relação a veículos híbridos e a combustão, à evolução da renda média e à disponibilidade de substitutos tecnológicos. Assim, a incorporação de medidas como a elasticidade-preço da demanda e a

elasticidade-renda pode aprimorar significativamente as estimativas futuras, permitindo captar de forma mais realista a sensibilidade da demanda às condições econômicas e ao dinamismo do mercado automotivo.

Os resultados para a demanda adicional de energia elétrica são mostrados na Figura 7.

Figura 7 – Energia e demanda elétrica adicional requerida em função dos novos BEVs no Brasil



Fonte: autoria própria (2024).

Com o crescimento exponencial das vendas de veículos elétricos, a bateria (BEVs), conforme apresentado anteriormente na Figura 6, observa-se também um comportamento similar na evolução da demanda adicional por energia elétrica. Esse padrão de crescimento é justificado pelo fato de que, neste estudo, foi considerada uma capacidade de bateria constante para os veículos analisados, o que implica que o aumento no número de unidades vendidas reflete diretamente no acréscimo proporcional da energia necessária para abastecê-los. Em outras palavras, à medida que mais veículos são incorporados à frota nacional, cresce também a quantidade de energia elétrica exigida para garantir sua operação adequada. Esse impacto torna-se ainda mais significativo em cenários de rápida eletrificação da frota, nos quais a infraestrutura energética deve acompanhar o ritmo de adoção dos BEVs.

A Figura 8 ilustra essa relação ao apresentar a projeção da demanda anual de energia elétrica dos BEVs ao longo do período analisado. Nessa mesma

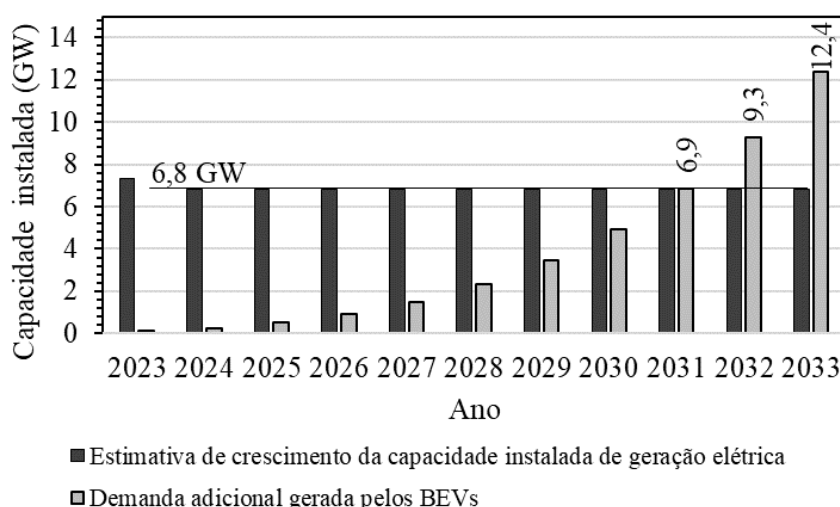
figura, está representado o crescimento estimado da capacidade instalada de geração elétrica, permitindo uma análise comparativa entre a expansão da demanda e a evolução da oferta energética. Tal comparação é essencial para avaliar a sustentabilidade do sistema elétrico frente ao avanço da mobilidade elétrica, bem como para orientar políticas públicas e investimentos necessários na ampliação da infraestrutura de geração e distribuição de energia.

Nota-se que, no ano de 2031, a demanda adicional gerada pelos veículos elétricos a bateria (BEVs) atinge a marca de 6,9 GW, ultrapassando o crescimento da matriz de geração elétrica prevista para o mesmo período, que é de 6,8 GW. Esse descompasso entre a demanda de energia elétrica e a expansão da capacidade instalada de geração revela um cenário crítico e a necessidade urgente de um planejamento integrado e estratégico para garantir que o fornecimento de energia seja suficiente para atender a esse crescimento exponencial. A situação reforça a importância de se

antecipar a futuros desafios no fornecimento energético, buscando alternativas e soluções que evitem a sobrecarga do sistema elétrico e que permitam a integração eficiente de novas fontes de geração, incluindo fontes renováveis, como solar e eólica, que estão ganhando destaque no setor. Além disso, a eletrificação da frota de veículos não afeta apenas a geração de energia, mas também impõe exigências significativas sobre a infraestrutura de carregamento. À medida que a base de veículos elétricos cresce, é imperativo que a rede de carregadores seja expandida para

suportar esse aumento. Em particular, há uma necessidade crescente de se investir em carregadores rápidos, que são essenciais para permitir o uso eficiente dos BEVs em trajetos de longa distância. Esses carregadores de alta potência não apenas reduzem o tempo de carregamento, mas também tornam os veículos elétricos mais viáveis para motoristas que dependem de viagens intermunicipais e interestaduais, tornando o uso de BEVs mais prático e acessível.

Figura 8 – Aumento da capacidade instalada *versus* demanda pelos BEVs a cada ano, no Brasil



Fonte: autoria própria, 2024.

Embora o ponto de interseção entre a demanda adicional gerada pelos BEVs e o crescimento da capacidade instalada tenha sido interpretado neste estudo como um limite físico do sistema, ele também pode ser compreendido sob uma ótica econômica como um ponto de equilíbrio de mercado. Nesse contexto, o desequilíbrio entre oferta e demanda de energia tenderia a provocar elevação dos preços da eletricidade, refletindo o aumento da escassez relativa do recurso. A alta de preços, por sua vez, poderia reduzir a demanda, tanto pela retração do consumo em outros setores quanto pela limitação no uso ou aquisição de veículos elétricos, ou estimular novos investimentos em geração, transmissão e armazenamento. Assim, o sistema energético não atinge necessariamente um colapso técnico, mas passa por um ajuste

econômico que redefine os incentivos e pressões sobre o mercado. Considerar esse comportamento de *feedback* entre preço, oferta e demanda permitiria uma modelagem mais realista da dinâmica energética associada à eletrificação da frota.

Do ponto de vista da eficiência econômica, o aumento da demanda de energia elétrica provocado pela eletrificação veicular não implica apenas a necessidade de expansão física da capacidade instalada, mas também uma análise cuidadosa do custo marginal de geração. À medida que novas usinas são incorporadas ao sistema, é comum que as fontes adicionais apresentem custos mais elevados de investimento, operação ou combustível, especialmente quando envolvem tecnologias emergentes, fontes intermitentes ou projetos

localizados em regiões menos favoráveis. Esse aumento do custo marginal pode impactar diretamente o preço final da eletricidade e, consequentemente, a viabilidade econômica da mobilidade elétrica em larga escala. Neste estudo, esse aspecto não foi considerado de forma explícita, uma vez que as projeções foram baseadas em uma análise física e linear da expansão da capacidade de geração. No entanto, reconhecer essa limitação é fundamental, pois a expansão real da oferta energética está sujeita a restrições econômicas e financeiras que podem alterar significativamente o ritmo e o custo da transição para a eletromobilidade. Trabalhos futuros podem incorporar modelos de custo marginal e simulações de curvas de oferta para avaliar como diferentes tecnologias e políticas de incentivo afetariam o equilíbrio econômico do sistema elétrico frente à crescente demanda dos BEVs.

O crescimento tanto da demanda de energia quanto da infraestrutura de carregamento exige um esforço coordenado entre autoridades governamentais, empresas de energia, fabricantes de veículos e outros *stakeholders*. Para evitar possíveis gargalos no sistema, será necessário adotar políticas públicas que incentivem a construção de novas plantas de geração elétrica, a instalação de pontos de recarga em locais estratégicos e o desenvolvimento de tecnologias de carregamento mais rápidas e eficientes. O alinhamento entre a expansão da frota elétrica e a infraestrutura necessária para suportá-la será fundamental para garantir que os objetivos de sustentabilidade e redução das emissões de gases de efeito estufa sejam alcançados sem comprometer a segurança e a confiabilidade do fornecimento energético.

Ressalta-se que o crescimento da capacidade instalada de geração de energia elétrica é uma medida estratégica para atender ao aumento da demanda energética proveniente de todos os setores da sociedade. Esse planejamento abrange as necessidades das indústrias, do comércio, das residências e de outras atividades econômicas e sociais. É importante destacar que esse aumento na capacidade instalada não se destina exclusivamente a suprir a demanda adicional gerada pelos veículos elétricos a bateria (BEVs), mas sim a proporcionar um suprimento adequado e confiável de energia para acompanhar o

crescimento econômico, tecnológico e populacional como um todo. Além disso, tal expansão busca assegurar a resiliência do sistema elétrico frente a novos desafios e promover a transição para uma matriz energética mais sustentável e eficiente, alinhada às demandas futuras.

4 CONCLUSÃO

A rápida eletrificação veicular global, especialmente na China, resulta de políticas de incentivo, subsídios e redução de tributos, que ainda são incipientes no Brasil. A estabilização no crescimento global das vendas de BEVs permitirá projeções mais precisas para os próximos anos, mas as barreiras regionais ainda representam desafios significativos. O desenvolvimento da indústria de baterias, incluindo alternativas como íons de sódio e lítio-ferrofosfato, poderá reduzir custos e aumentar a acessibilidade.

Uma explicação para o aumento atual da demanda por carros elétricos é a adaptação dos modelos ao mercado, que se tornou mais atraente para diferentes perfis de consumidores. Em 2023, mais de 60% dos BEVs eram veículos de grande porte ou de luxo, como picapes e carros esportivos, com preços elevados. No entanto, atualmente, os modelos mais vendidos são veículos compactos e com preços mais acessíveis, tornando os BEVs uma opção viável não apenas para o público com alto poder aquisitivo, mas também para a população em geral.

Embora a concorrência tenha gerado uma disputa por preços, os veículos elétricos ainda são significativamente mais caros do que os modelos equipados com motores a combustão interna. Assim, é essencial que as montadoras desenvolvam veículos com preços mais acessíveis para atender a um público com menor poder aquisitivo. Nesse contexto, a China se destaca, oferecendo mais da metade de seus veículos elétricos a preços mais baixos do que seus equivalentes a combustão interna. Essa realidade, no entanto, não é comum em países emergentes, nem mesmo na Europa e nos Estados Unidos, onde os carros elétricos costumam custar de 10% a 50% a mais do que os modelos com motor a combustão. Com os avanços tecnológicos, os preços dos BEVs estão sendo rapidamente reduzidos, e em breve, esses veículos se tornarão competitivos na maioria dos mercados

globais, com preços semelhantes aos dos modelos a combustão interna.

As alternativas para atrair investimentos em BEVs nos países emergentes fica limitada à redução de tributos, como subsídios ou incentivos fiscais e questões políticas. Tais medidas são menos significativas e tornam, por consequências, as vendas menos expressivas. É o caso do Brasil, com apenas 3% da frota composta por BEVs, semelhante aos outros países como Índia, Indonésia, Malásia e Tailândia, com 2% cada. Ainda assim, com o apoio político impulsionando os investimentos e construindo confiança de que a eletrificação é o futuro dos automóveis, as frações devem aumentar. Algumas estratégias como novos regulamentos, que restringem ainda mais a tolerância as emissões atmosféricas, podem ajudar a promover as vendas de BEVs.

O carregamento em locais públicos também pode promover o aumento das vendas de BEVs. No ano de 2023 ocorreu um aumento em 40% na instalação de carregadores públicos em relação ao ano anterior, sendo que a quantidade de carregadores rápidos instalados em 2023 foi maior que a quantidade de carregadores lentos instalados no mesmo ano. O carregamento rápido torna mais atraente a compra de veículos elétricos e torna o carregamento mais semelhante ao convencional com combustíveis fósseis, tornando o processo mais simples para o consumidor, além de permitir que os BEVs comecem a ser utilizados em viagens mais longas onde uma única recarga não é suficiente para todo o trajeto.

O presente estudo destaca a importância de preparar o setor energético para a crescente demanda impulsionada pelos BEVs. O Brasil, com sua rica experiência em inovação automotiva, enfrenta desafios e oportunidades significativas no caminho da eletrificação. Investimentos em infraestrutura, políticas de incentivo e estratégias para reduzir custos de produção e reciclagem de baterias, serão cruciais para garantir a viabilidade econômica e ambiental da transição energética. A superação das barreiras atuais pode posicionar o Brasil como líder em mobilidade sustentável, contribuindo para um futuro com menores emissões de carbono e maior eficiência energética.

Para concluir, apesar das limitações e simplificações realizadas para a execução deste estudo, há uma evidente necessidade de estudar

se o impacto da possível entrada massiva de BEVs na matriz de geração elétrica brasileira, o que pode contribuir para o obrigatório planejamento da ampliação da capacidade instalada brasileira. A previsão temporal destes impactos depende principalmente da penetração mercadológica dos BEVs no Brasil, que potencialmente ocorrerá mais tardiamente do que previsto neste trabalho. Estudos adicionais que poderiam ser realizados incluem: a) diferentes capacidades de baterias; b) diferentes tempos de recarga; c) variações no crescimento anual da capacidade instalada; ou ainda (d) diferentes percentuais de penetração de mercado. Com isto, novos cenários poderiam ser criados e analisados.

REFERÊNCIAS

AL-DAL'AIN, R.; CELEBI, D. Planning a mixed fleet of electric and conventional vehicles for urban freight with routing and replacement considerations. **Sustainable Cities and Society**, v. 73, n. 1, p. 103105, jun. 2021. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103105. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/352514117_Planning_a_Mixed_Fleet_of_Electric_and_Conventional_Vehicles_for_Urban_Freight_with_Routing_and_Replacement_Considerations. Acesso em: 14 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). Infraestrutura de recarga acelera no país e apresenta crescimento de 179%. 7 out. 2024. Disponível em: <https://abve.org.br/infraestrutura-de-recarga-acelera-no-pais-e-apresenta-crescimento-de-179/>. Acesso em: 10 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Autoveículos – Produção, licenciamento, exportações em unidades de montados e CKD (desmontados), exportações em valor e emprego**. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>. Acesso em: 4 mai. 2023.

BARTER, G. E. *et al.* Implications of Modeling Range and Infrastructure Barriers to Adoption of Battery Electric Vehicles. **Transportation**

Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. 2502, p. 80–88, out. 2015. DOI: 10.3141/2502-10. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283474576_Implications_of_Modeling_Range_and_Infrastructure_Barriers_to_Adoption_of_Battery_Electric_Vehicles. Acesso em:

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. Rio de Janeiro: EPE, [s. d.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 13 jan. 2025

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2024**: síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em: 13 jan. 2025.

GAUTO, M. A. *et al.* Hybrid vigor: Why hybrids with sustainable biofuels are better than pure electric vehicles. **Energy for Sustainable Development**, v. 76, p. 101261, out. 2023. DOI: 10.1016/j.esd.2023.101261. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/374353091_Hybrid_vigor_Why_hybrids_with_sustainable_biofuels_are_better_than_pure_electric_vehicles. Acesso em: 14 jan. 2025.

HOSSAIN LIPU, M. S. *et al.* A review of state of

health and remaining useful life estimation methods for lithium-ion battery in electric vehicles: Challenges and recommendations. **Journal of Cleaner Production**, v. 205, p. 115-133, set. 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.065. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327556039_A_review_of_state_of_health_and_remaining_useful_life_estimation_methods_for_lithium-ion_battery_in_electric_vehicles_Challenges_and_recommendations. Acesso em: 14 jan. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global EV Outlook 2023**. 26 apr. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/trends-in-electric-light-duty-vehicles#abstract>. Acesso em 4 mai. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Countries and regions**. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/>. Acesso em: 14 jan. 2025.

NEOCHARGE. Tipos de carregadores para veículos elétricos. São Paulo: NeoCharge. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carregador-carro-eletrico/tipo-carregador-ve>. Acesso em: 10 jan. 2025.

SUN, X.; BACH, V.; FINKBEINER, M. Criticality Assessment of the Life Cycle of Passenger Vehicles Produced in China. **Circular Economy and Sustainability**, v. 1, p. 435–455, fev. 2021. DOI: 10.1007/s43615-021-00012-5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43615-021-00012-5>. Acesso em: 14 jan. 2025.