

Os *White Papers* do Instituto Acende Brasil consolidam análises e recomendações aprofundadas sobre temas do Setor Elétrico Brasileiro e visam à promoção de discussões qualificadas sobre as seguintes dimensões setoriais: Agência Reguladora, Governança Corporativa, Impostos e Encargos, Leilões de Energia e Transmissão, Meio Ambiente e Sociedade, Oferta de Energia, Rentabilidade, Tarifa e Regulação. Para saber mais sobre o Instituto Acende Brasil acesse www.acendebrasil.com.br

MOBILIDADE ELÉTRICA E A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: O QUE VEM POR AÍ?

A mobilidade elétrica desponta como um dos pilares promissores para a transição global rumo a uma economia de baixo carbono. Com o agravamento das mudanças climáticas e o aumento da poluição urbana, a eletrificação dos transportes tem sido amplamente reconhecida como uma solução estratégica para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e melhorar a qualidade de vida nas cidades. Veículos elétricos, movidos por fontes de energia limpa, oferecem uma alternativa eficiente em um momento crítico para o planeta.

A mobilidade elétrica refere-se ao uso de veículos movidos a eletricidade – como carros, ônibus, motocicletas e até mesmo caminhões – que dispensam combustíveis fósseis e operam com menor impacto ambiental. Países como China, Estados Unidos e nações europeias lideram a adoção dessa tecnologia impulsionados por políticas públicas, incentivos fiscais e avanços tecnológicos.

No Brasil, o cenário é promissor. O país possui uma matriz energética majoritariamente renovável, com destaque para a produção de bioenergia e etanol, o que reduz a urgência da eletrificação e, paralelamente, confere uma vantagem competitiva única para o nosso país quando comparado a outras nações. Apesar do crescimento ainda embrionário, iniciativas voltadas à eletrificação, especialmente em nichos como transporte público e logística urbana, têm demonstrado potencial.

Olhando para o futuro, a eletromobilidade promete reduzir a dependência de combustíveis fósseis, melhorar a qualidade do ar e impulsionar a inovação tecnológica. No entanto, desafios como o alto custo inicial, a necessidade de ampliação da infraestrutura de recarga e a gestão de baterias precisam ser superados. A transição para a mobilidade elétrica é, portanto, uma jornada complexa, mas importante para alinhar o setor de transportes aos objetivos de redução de emissões e promoção de um futuro mais sustentável.

Com base neste contexto, este *White Paper*: (a) explora a temática da mobilidade elétrica nos cenários mundial e brasileiro, apresentando os principais conceitos; (b) discute o cenário atual e as perspectivas futuras para desenvolvimento e disseminação dessa tecnologia; e (c) levanta as principais oportunidades e os desafios para integração da eletromobilidade como uma estratégia para auxiliar no cumprimento da meta de descarbonização e transição energética mundial.

“A mobilidade é a chave para a liberdade, o progresso e a sustentabilidade.”

- Ban Ki-moon, ex-Secretário-Geral da ONU

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	2	5.1.4 Impactos sobre a rede elétrica	28
2 RUMO À TRANSIÇÃO ENERGÉTICA.....	3	5.1.5 Fonte de energia elétrica dependente de combustíveis fósseis	28
3 AFINAL, O QUE É MOBILIDADE ELÉTRICA?	6	5.1.6 Adaptação das fábricas de veículos e dos postos de combustíveis.....	29
3.1 Histórico.....	6	5.2 Oportunidades.....	29
3.2 Veículos elétricos e suas características.....	8	5.2.1 Conscientização ambiental e melhoria da qualidade do ar.....	29
3.3 Conjuntura atual dos VEs no mundo e no Brasil	11	5.2.2 Ganho de eficiência energética	29
4. PROGNÓSTICO DA MOBILIDADE ELÉTRICA	18	5.2.3 Avanços tecnológicos.....	30
4.1 Mundo	18	5.2.4 Novas oportunidades de negócios.....	30
4.2 Brasil.....	22	5.2.5 Integração com energias renováveis.....	31
4.3 Transporte Privado versus Transporte Público.....	24	6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
5 DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA ELETROMOBILIDADE.....	27	7 ACRÔNIMOS.....	34
5.1 Desafios	27	8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
5.1.1 Preço alto dos veículos elétricos.....	27		
5.1.2 Infraestrutura de recarga limitada	27		
5.1.3 Oferta futura e reciclagem de baterias.....	28		

1. INTRODUÇÃO

Este *White Paper* nº 32 explora o tema da transição energética mundial rumo à meta *Net Zero* e como a mobilidade elétrica se insere nesse contexto de descarbonização global.

O presente estudo conceitua a eletromobilidade e apresenta um breve histórico, além de dados sobre o perfil atual da eletromobilidade e as perspectivas para as próximas décadas. Também aborda os desafios e as oportunidades que o futuro da mobilidade elétrica pode trazer tanto para o cenário global quanto no contexto brasileiro.

Este documento está organizado em seis seções, incluindo esta Introdução. Na seção 2 são apresentadas as últimas atualizações sobre o perfil de emissões de GEEs do Brasil e do mundo, destacando a participação do setor de transportes brasileiro, com ênfase no transporte rodoviário e nas perspectivas de investimentos em outros modais. Na seção 3 são discutidos o conceito de mobilidade elétrica, seu histórico, principais tecnologias e o estado atual dos mercados mundiais e nacionais de veículos elétricos. A seção 4 descreve as perspectivas da mobilidade elétrica em um contexto global e nacional, com destaque para os diferentes cenários de regulação para o transporte individual e coletivo. A seção 5 apresenta os principais desafios e oportunidades da eletromobilidade para o mundo e para o Brasil. Por fim, a seção 6 oferece conclusões e recomendações.

2. RUMO À TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

As emissões globais de gases de efeito estufa (GEEs) bateram novo recorde em 2023. Segundo dados divulgados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), foram emitidas 57,1 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) no ano passado, valor 1,3% maior que o de 2022.

O Brasil foi responsável por 4% das emissões de CO₂eq em 2023, integrando o grupo dos 7 maiores emissores de GEEs do mundo (Climate Watch, 2024; SEEG, 2024). No entanto, diferentemente das grandes economias mundiais, cujas emissões concentram-se no setor de energia, a mudança do uso da terra e a agropecuária respondem juntos por quase 74% das emissões brasileiras, sendo que a subcategoria de Transportes responde por quase 10% das emissões totais do país (SEEG, 2024).

Segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2024a), em 2023 o total das emissões antrópicas (emissões causadas pelas atividades humanas) associadas à matriz energética brasileira atingiu 428 milhões de toneladas de CO₂-eq, o que implica um aumento de 0,8% em relação a 2022. Cabe destacar, no entanto, que a maior parte (217 Mt CO₂-eq, ou 50,7% do total) das emissões foi gerada no setor de transportes.

Outra fonte revela conclusões similares sobre a relevância do setor de transportes nas emissões de GEEs. De acordo com os dados do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2024), o total de emissões brutas de GEEs no Brasil em 2023 atingiu 2,3 bilhões de toneladas de CO₂eq, com quase metade (46%) dessas emissões decorrentes de mudanças no uso da terra, lideradas pelo desmatamento ilegal. A subcategoria de Transportes foi responsável por 53% das emissões observadas no setor energético em 2023 (Figura 1).

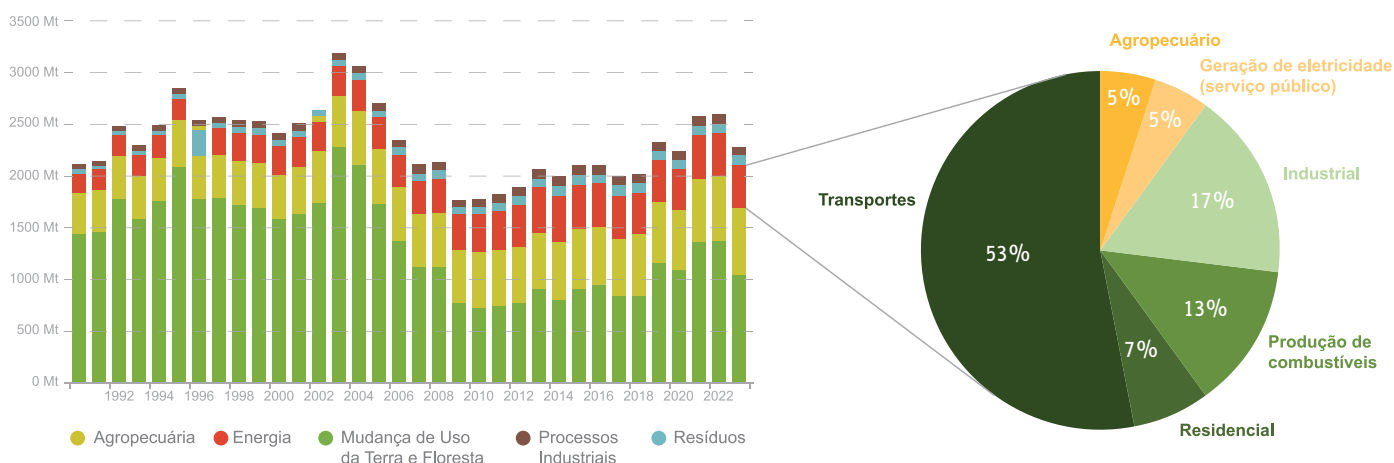


Figura 1 - Emissões de Gases de Efeito Estufa brasileiras, com destaque para o setor de energia em 2023, onde a subcategoria de transportes foi responsável por 53% do total das emissões.

Fonte: Adaptado de SEEG (2024).

Segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2024a), 64,8% do consumo de energia no país em 2023 foi destinado ao transporte de carga e de passageiros. O transporte rodoviário é predominante na movimentação de cargas no Brasil e o setor de transporte rodoviário é o que, individualmente, mais consome energia no Brasil (31% do total) (EPE, 2024c). Como consequência, o setor é um

grande responsável pelas emissões de CO₂ de combustíveis fósseis. O volume de emissões está diretamente relacionado à eficiência energética, e a busca dessa eficiência, por sua vez, vem se tornando um importante catalisador da evolução tecnológica dos veículos em todo o mundo.

De acordo com SEEG (2024), no setor de Transportes o modal rodoviário participou com 92,4% do total de emissões da categoria em 2023. Desses, caminhões pesados e ônibus representaram juntos 54%, e os automóveis participaram com 35% (Figura 2). Em 2023, o modal rodoviário foi responsável por 9% das emissões nacionais de GEEs.

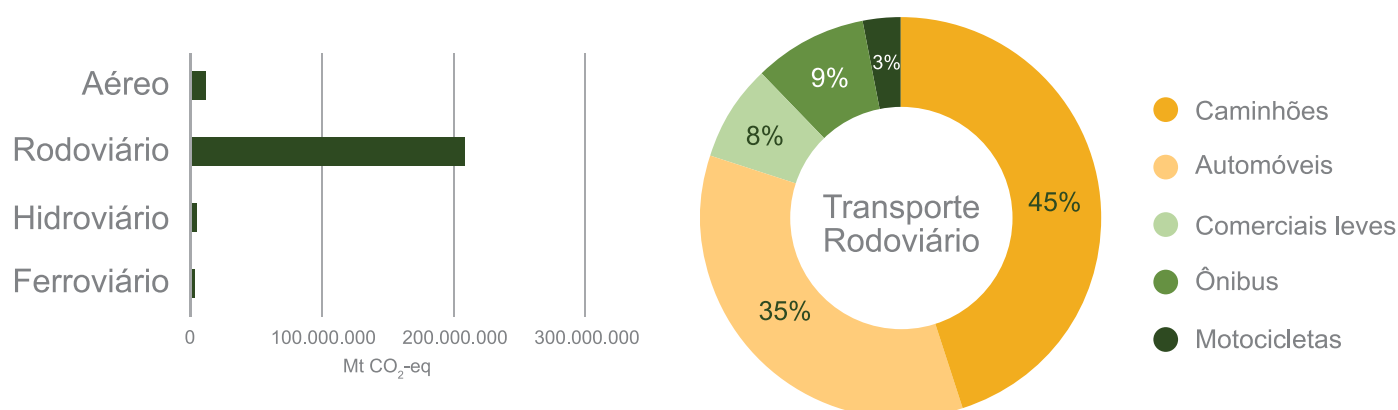


Figura 2 - Detalhamento das categorias por sua participação na emissão total de CO₂ do setor de Transportes em 2023.

Fonte: Adaptado de SEEG (2024).

Embora o Brasil seja um País continental, com um enorme litoral e diversos grandes rios, os caminhões foram responsáveis por mais de 65% da movimentação de cargas nas últimas duas décadas, alcançando 71% em 2023 (EPE, 2024c). A ênfase do transporte rodoviário no Brasil é resultado, sobretudo, de seu processo de industrialização durante a segunda metade do século XX, no qual a construção de estradas foi fortemente favorecida em detrimento de investimentos ferroviários (BNDES, 2011).

Desde 1950, foi observada uma maior preferência pelo transporte rodoviário em detrimento do ferroviário em um processo de atração de investimentos da indústria automobilística para o país. Uma análise do Boletim Unificado da Confederação Nacional dos Transportes (2022) permite evidenciar que esta preferência se mantém nos dias de hoje: em 2021, os investimentos diretos da União e das Estatais em ferrovias foi de R\$ 401,06 milhões, enquanto o investimento em rodovias foi de R\$ 5,76 bilhões (CNT, 2022).

Apesar do predomínio do modal rodoviário para a movimentação de carga no país, há perspectivas de maior investimento nos modais ferroviário e aquaviário no próximo decênio. Em 3 de novembro de 2021, o Ministério da Infraestrutura e a Empresa de Planejamento e Logística (EPL) apresentaram o Plano Nacional de Logística 2035 (PNL 2035), que traça uma visão estratégica da rede de transporte no futuro e, pela primeira vez, integra todos os modais.

Um dos principais objetivos do PNL 2035 é a transformação da matriz de transporte do Brasil para torná-la mais racional e sustentável. No planejamento, foram elaborados cenários futuros que indicam necessidades e oportunidades para a infraestrutura de transportes que possam trazer melhoria de serviços, aumento da eficiência do transporte de cargas do país e redução de custos (ANTT, 2022).

O Programa de Autorizações Ferroviárias Pro Trilhos foi criado a partir do projeto do Marco Legal das Ferrovias por meio da Medida Provisória nº 1.065/21. Este programa tem o objetivo de aumentar a atratividade do setor privado para realizar investimentos em ferrovias. O Ministério da Infraestrutura (2022) informou que foram assinados 27 contratos com o setor privado para a implantação de novas estradas de ferro no país pelo regime de autorização. A projeção de recursos privados a serem alocados na implantação dos empreendimentos soma R\$ 133,24 bilhões.

De acordo com os estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 (EPE, 2024c), prevê-se a expansão de 22% da malha ferroviária útil no período decenal, de 30,9 mil km em 2023 para 37,6 mil km em 2034 (EPE, 2024c). Essa expansão contempla avanços na Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL – trecho Ilhéus/BA – Barreiras/BA); FICO (Mara Rosa/GO – Lucas do Rio Verde/MT); Nova Transnordestina (Ceará Pernambuco) e Ferrogrão (Sinop/MT ao Porto de Mirituba/PA).

Apesar das tecnologias de locomotivas no Brasil serem predominantemente diesel-elétrica, há alternativas tecnológicas que permitirão maior eficiência e/ou redução das emissões.

Em 2021, a Empresa de Planejamento e Logística (EPL) elaborou estudos que atestam que os projetos de três novas ferrovias estão aptos para a emissão de “selo verde”, segundo os parâmetros da *Climate Bonds Initiative* (CBI), organização internacional que faz a certificação de empreendimentos sustentáveis. A avaliação mostra, por exemplo, que a Ferrogrão deve emitir 77% menos CO₂ para a atmosfera do que ocorre hoje no transporte por rodovias. Os critérios do CBI estabelecem que a redução deve ser de, no mínimo, 25%. O estudo feito estima ainda que, no caso da FICO e da FIOL, essa queda fique entre 74% e 84% (EPL, 2022).

A atividade do transporte aquaviário (navegação de longo curso, cabotagem e interior) mantém sua curva ascendente, favorecida principalmente pelo aumento do escoamento de produtos agrícolas, petróleo e minério de ferro. E o atendimento às regulamentações para a descarbonização do setor marítimo implicará a adoção de combustíveis de baixo carbono no abastecimento das embarcações (EPE, 2024c).

Apesar da projeção de taxa de crescimento mais elevada para os modais ferroviário (4,5% a.a.) e aquaviário (3,8% a.a.), o transporte rodoviário deverá seguir dominante no perfil do transporte brasileiro de cargas.

Os investimentos em modos de transportes mais sustentáveis contribuem para o alcance de uma economia mais descarbonizada, com benefícios ao meio ambiente e à qualidade de vida da população (Brasil, BNDES, 2018).

O Brasil, além de ser dotado de imenso potencial de produção de bioenergia, é o segundo maior produtor hidrelétrico do mundo e tem tido expansão acelerada de sua matriz elétrica a partir das fontes eólica e solar. Isso coloca nosso país em posição de vantagem em relação a outros países no que se refere à economia de baixo carbono.

Essa vantagem pode ser ainda mais aumentada se encararmos a eletromobilidade como uma das alternativas para descarbonização do transporte nacional, majoritariamente rodoviário (EPE, 2024c).

3. AFINAL, O QUE É MOBILIDADE ELÉTRICA?

3.1. HISTÓRICO

Muitas pessoas acreditam que os veículos elétricos são uma tecnologia recente, mas isso não é verdade: eles surgiram em meados do século XIX e a sua história está intimamente relacionada à história das baterias (Hoyer, 2008).

O título de “primeiro carro elétrico” é bastante disputado entre vários concorrentes que apresentaram experimentos parecidos em países diferentes. Um dos primeiros registros veio da Hungria em 1828, quando Ányos Jedlik criou um motor elétrico e, para testá-lo, acoplou-o a uma miniatura de carro. No entanto, o primeiro veículo elétrico foi construído nos Estados Unidos por Thomas Davenport, em 1835. Após esse marco, os veículos elétricos começaram a ser adaptados para funcionar em trilhos durante o século XIX. As patentes de trilhos eletrificados para carros de rua só vieram algumas décadas depois, e a primeira bateria recarregável do mundo, que era de chumbo-ácido, só foi inventada em 1859 pelo francês Gaston Planté.

Diversos veículos elétricos começaram a ser desenvolvidos a partir de 1880, com baterias chumbo-ácido, na Europa e nos Estados Unidos. Já o primeiro carro com motor a combustão interna surgiu em 1886, desenvolvido pelo alemão Karl Benz. Em 1901, Thomas Edison, o inventor da lâmpada, desenvolveu a bateria de níquel-ferro, com 40% a mais de densidade energética que as de chumbo-ácido. Em 1903, Nova York tinha uma frota composta da seguinte maneira: 53% de veículos movidos a vapor, 27% a combustão e 20% movidos com motor elétrico (Baran e Legey, 2011). Grandes companhias participavam do processo de fabricação de carros elétricos, tais como: Baker Electric, Columbia Electric e Detroit Electric (Figura 3).

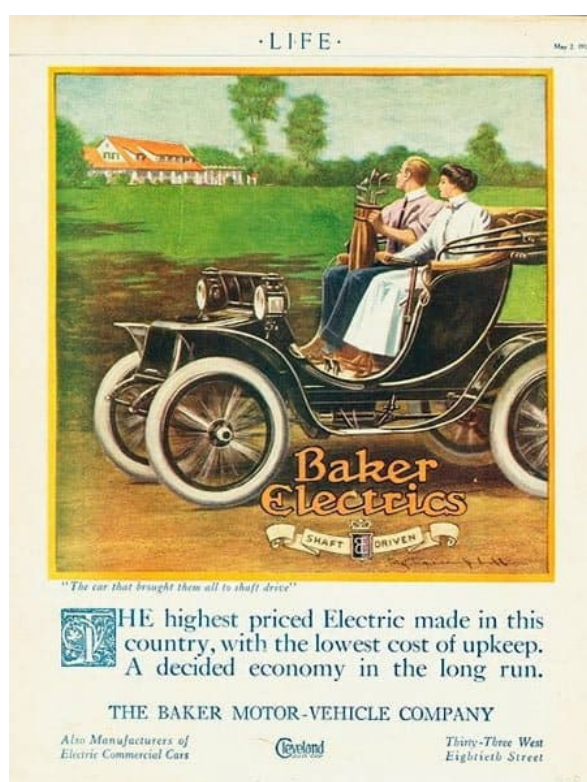


Figura 3 - Cartaz de divulgação de um dos primeiros carros elétricos, fabricado em 1899 pela Baker Motor-Vehicle Company.

(Fonte: Qual foi o primeiro carro elétrico do mundo? (tricurioso.com)).

Apesar de sua popularidade inicial, os carros elétricos começaram a perder espaço para os veículos a combustão interna no início do século XX. A invenção do motor de arranque elétrico em 1912, que eliminou a manivela em motores a combustão, tornou os carros a gasolina mais práticos. Além disso, a descoberta de grandes reservas de petróleo barateou o custo da gasolina, tornando os carros movidos a combustão muito mais acessíveis. O melhor desempenho do motor a combustão interna, em termos de km/litro de combustível, e a facilidade de distribuição de combustíveis líquidos, que eram comercializados em pequenos estabelecimentos comerciais, permitiram que a rede de distribuição de gasolina se expandisse rapidamente (Baran e Legey, 2011). Com a ascensão dos motores a combustão, a infraestrutura de recarga para veículos elétricos não conseguiu acompanhar, e o foco da indústria automotiva se afastou dos veículos elétricos. Por décadas, os carros elétricos foram praticamente esquecidos.

A partir dos anos 1970, a questão ambiental passou a fazer parte do debate sobre a geração e o consumo de energia. Além disso, os preços dos combustíveis fósseis dispararam devido à guerra entre os países produtores de petróleo. Surgiram, então, incentivos governamentais nos países desenvolvidos para promover tecnologias alternativas e os veículos elétricos ressurgiram. Houve diversas iniciativas para trazê-los de volta ao mercado no período, mas nem os automóveis elétricos puros nem os híbridos estavam aptos a competir no mercado com os automóveis convencionais a combustão (Baran e Legey, 2011).

Somente no final dos anos 1980 as atenções voltaram-se mais uma vez para os veículos elétricos, novamente no intuito de reduzir a poluição nas grandes cidades. A preocupação com as mudanças climáticas e a consciência de que os recursos naturais são finitos ganharam força ao mesmo tempo em que ocorreram grandes avanços na eletrônica, nos microprocessadores, na conectividade e na tecnologia das baterias, ambas impulsionadas pelo largo uso de *smartphones*, *tablets* e outros dispositivos móveis. Em 1990, o estado da Califórnia implementou suas primeiras normas regulatórias de emissão zero, e em 1992 a Agenda 21¹ enfatizou a importância dos problemas causados pelo uso extensivo de energia fóssil, bem como a necessidade de redução do consumo de energia nos países desenvolvidos e de busca de uma possível transição para fontes renováveis de energia (FGV Energia, 2016).

CURIOSIDADE

O 1º carro elétrico brasileiro foi o Itaipu E-150 (Figura 4), lançado em 1975 pela Gurgel, fabricante de automóveis 100% nacional. O seu nome era uma homenagem à Usina Hidrelétrica de Itaipu, no Paraná, que ainda estava em construção na época. O Itaipu E-150 pesava 460 kg, sendo 320 kg apenas das baterias de 3,2 kW que entregavam o equivalente a 4,2 cv. A velocidade máxima dos primeiros modelos chegava a 30 km/h – os últimos atingiam 60 km/h. Apesar da previsão de começar a ser produzido em série a partir de dez/1975 na fábrica de Rio Claro, no interior de São Paulo, o elétrico sofreu naquela época com problemas que ainda são muito atuais para os veículos elétricos: peso das baterias, baixa autonomia e tempo de recarga (AutoEsporte, 2021).



Gurgel Itaipu E-150 - Fonte: AutoEsporte, 2021.

¹ A Agenda 21 foi resultado da conferência Rio-92, em que se discutiu pela primeira vez o aquecimento global e suas consequências. A agenda consistiu em um plano de ação que deveria ser seguido por todos os setores da sociedade em questões que afetem o meio ambiente e está relacionada ao conceito de desenvolvimento sustentável.

3.2. VEÍCULOS ELÉTRICOS E SUAS CARACTERÍSTICAS

Ao contrário dos **ICEVs** (Internal Combustion Engine Vehicle, ou carro movido a combustão interna) ou veículos tradicionais, veículos elétricos (**EVs** ou **VEs**, ou *Electric Vehicles*) são aqueles que utilizam um ou mais motores elétricos, em parte ou completamente, para sua propulsão.

A fonte de energia dos veículos elétricos é a eletricidade, que pode ser obtida de diferentes maneiras (FGV Energia, 2017):

- a) conectando-os diretamente à fonte externa de eletricidade, por meio de *plugs* ou utilizando cabos aéreos;
- b) recorrendo ao sistema de indução eletromagnética;
- c) a partir da reação do hidrogênio e oxigênio com água em uma célula de combustível²; ou
- d) por meio da energia mecânica de frenagem (frenagem regenerativa). Essa eletricidade, em seguida, é armazenada em baterias químicas³ que alimentam o motor elétrico.

Os VEs fazem parte do grupo de veículos denominados “emissões zero”, pois quase não emitem poluentes (atmosférico e sonoro) na sua utilização. Além disso, a eficiência (capacidade do motor de gerar trabalho) de seus motores pode chegar a 80%, o que os torna muito mais eficientes do que os veículos equipados com motores à combustão interna, cuja eficiência energética situa-se entre 12% e 18% (FGV Energia, 2017).

AS DIFERENTES TECNOLOGIAS

Ainda de acordo com FGV Energia (2017), os VEs podem ser de quatro tipos diferentes:

1) VEÍCULOS ELÉTRICOS PUROS (BEVs), do acrônimo em inglês para *Battery Electric Vehicles*, cuja fonte principal de energia é a eletricidade proveniente de fontes externas (a rede elétrica, por exemplo). A eletricidade é armazenada em uma bateria interna que alimenta o motor elétrico e impulsiona as rodas. Esses veículos não possuem um motor a combustão (usam exclusivamente a eletricidade como combustível: *all-electric*) e são relativamente pesados em razão do conjunto de baterias.

Todos os BEVs são *plug-in electric vehicles (PEVs)* porque a eletricidade é fornecida por uma fonte externa. Vem daí o termo *plug-in*, que em tradução literal significa “ligado na tomada”. Dentro da categoria dos PEVs também se incluem alguns VEs híbridos, que são aqueles que utilizam ambos os motores: o motor elétrico e o motor a combustão interna. A grande evolução deste modelo em comparação com o BEV é o aumento da autonomia do veículo, que sempre foi um dos maiores problemas para os veículos elétricos a bateria (Souza, 2010). Esse aumento de autonomia se deve à presença de um motor à combustão interna acoplado a um gerador.

Os veículos elétricos híbridos combinam um motor de combustão interna com um gerador, uma bateria e um ou mais motores elétricos, e sua principal função é reduzir o gasto de energia associado à ineficiência dos processos mecânicos. A maior parte da eficiência dos híbridos está no uso de dois tipos de motores. O motor a combustão (que usa o ciclo termodinâmico Otto) é extremamente ineficiente em baixa rotação (5 a 10%) e alcança sua eficiência máxima (28%) em alta rotação (Baran, 2012). Por esta razão, nos veículos elétricos híbridos o motor elétrico é responsável por mover o carro em baixas rotações.

² A fonte de oxigênio para essa reação ocorrer é o ar atmosférico. Quanto ao hidrogênio, ele pode ser suprido diretamente por meio de uma fonte externa, sendo armazenado em um tanque, ou por meio de uma reação química que produz hidrogênio a partir de etanol na Célula de Combustível de Óxido Sólido (SOFC). Fonte: Barbosa, 2016.

³ A exceção são os veículos elétricos a célula de combustível, que não precisam armazenar eletricidade em baterias.

2) HÍBRIDOS

Os híbridos são classificados como: “série” (utilizam apenas o motor elétrico para mover o carro, com o motor a combustão interna fornecendo eletricidade ao motor elétrico) ou “paralelo” (utilizam ambos os motores para propulsão). Segundo FGV Energia (2017), os elétricos híbridos são de três tipos:

2a) HÍBRIDO PURO (HEVs, do acrônimo em inglês *Hybrid Electric Vehicles*): O motor principal que propulsiona o veículo é a combustão interna e a função do motor elétrico é apenas melhorar a eficiência do motor a combustão interna ao fornecer tração em baixa potência, quando o carro está em “baixa velocidade”. A eletricidade do motor elétrico é proveniente do sistema de frenagem regenerativa. É também chamado de híbrido paralelo pois os dois motores podem movimentar o carro.

2b) HÍBRIDO PLUG-IN (PHEVs, do acrônimo em inglês *Plug-in Hybrid Electric Vehicles*): O motor a combustão interna continua sendo o principal, mas o veículo pode receber eletricidade diretamente de uma fonte externa através de uma tomada (*plug-in*), por exemplo. Assim como os HEVs, os PHEVs são híbridos paralelo. Como também utilizam combustíveis tradicionais (fósseis ou biocombustíveis), os PHEVs geralmente garantem uma maior autonomia quando comparados aos BEVs, pois combina dois tipos de alimentação.

2c) HÍBRIDO DE LONGO ALCANCE OU ALCANCE ESTENDIDO (E-REVs, do acrônimo em inglês *Extended Range Electric Vehicles*): é um veículo elétrico do tipo em série, com o motor principal sendo o elétrico – que é alimentado diretamente por uma fonte elétrica externa – e com o motor a combustão interna fornecendo energia a um gerador, que por sua vez mantém um nível mínimo de carga na bateria, fazendo com que o E-REV tenha alcance estendido.

3) Os veículos elétricos movidos a **CÉLULA DE HIDROGÊNIO (FCEVs, do acrônimo em inglês *Fuel Cell Electric Vehicles*)** combinam hidrogênio e oxigênio para produzir a eletricidade que fará funcionar o motor. A conversão do gás de hidrogênio em eletricidade produz somente água e calor como subprodutos, ou seja, não há emissões de escape. Se comparado aos outros tipos de VEs, os FCEVs têm autonomia similar aos veículos movidos a gasolina ou a diesel (300-500 km) e, portanto, sua autonomia é superior à maioria dos VEs. Esta maior autonomia, garantida pelas células de hidrogênio, tornam esta tecnologia mais apropriada para o uso em veículos que percorrem longas distâncias (como veículos de carga) e para usuários que não possuem o acesso *plug-in* em suas residências ⁴.

4) Adicionalmente, vale mencionar ainda os veículos elétricos **ALIMENTADOS POR CABOS EXTERNOS (RPEVs – Road Powered Electric Vehicles)** que, por definição, recebem a eletricidade por cabos externos diretamente conectados, estejam eles acima do veículo – como os *trolley buses* (trólebus) e caminhões em portos e estradas eletrificadas – ou abaixo do veículo – como os Veículos Leves sobre Trilhos (VLTs).

A maioria dos veículos elétricos possui baterias químicas para armazenar a eletricidade necessária para acionar o motor e impulsionar o veículo, sendo que a autonomia (distância percorrida por recarga) de cada VE depende do tipo e modelo em questão. Os VEs mais antigos utilizavam baterias de ácido de chumbo, enquanto os mais modernos utilizam baterias de íons de lítio.

A Figura 4 apresenta uma classificação dos veículos elétricos. Os freios regenerativos (*kers*) ajudam na recarga da bateria por meio da conversão de parte da energia perdida durante as frenagens em eletricidade.

⁴ FCEVs também podem ser plug-in. Para mais detalhes consultar: Fuel Cells Bulletin, 2016.

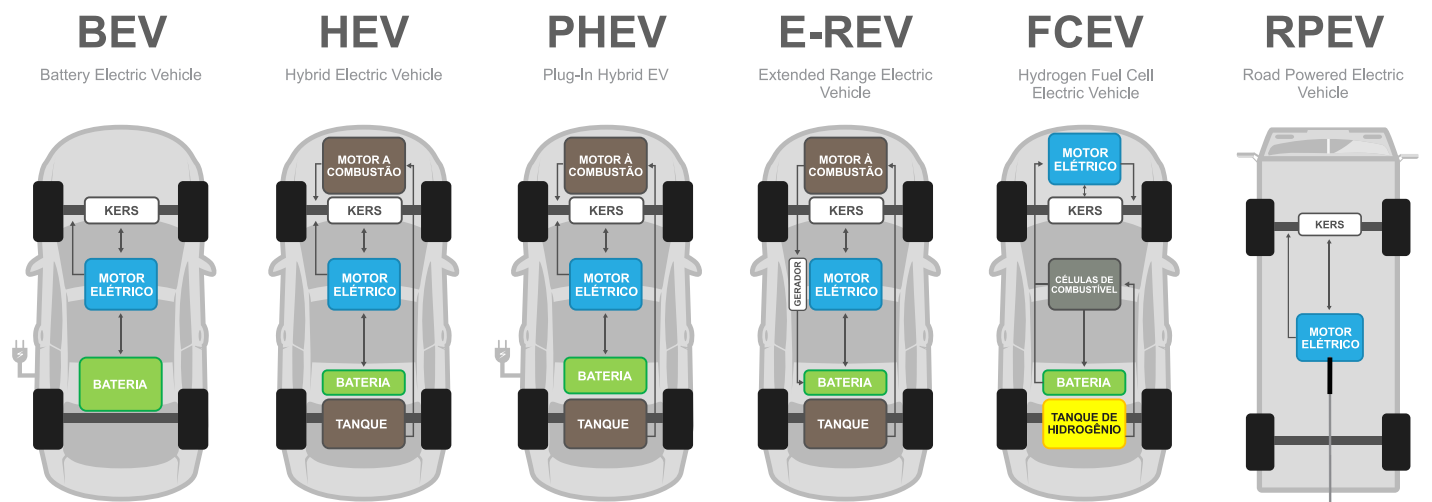


Figura 4 – Tipos de Carros Eletrificados - Elétricos e Híbridos.

Crédito da Imagem: NeoCharge. Disponível em <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/veiculo-eletrico>

BATERIAS

A bateria é um componente central em veículos elétricos e sua função é a de armazenamento de energia. As baterias transformam energia elétrica em energia química potencial durante o processo de recarga, energia essa que, posteriormente, é transformada em energia elétrica no processo de descarga. Como pode ser observado na Figura 5, sua base de funcionamento consiste em dois eletrodos, um positivo e outro negativo, imersos em um eletrólito, onde elétrons são gerados pela reação química do metal com o ácido e fluem para o eletrodo negativo devido à diferença de potencial existente (Ehsani *et al.* 2018).

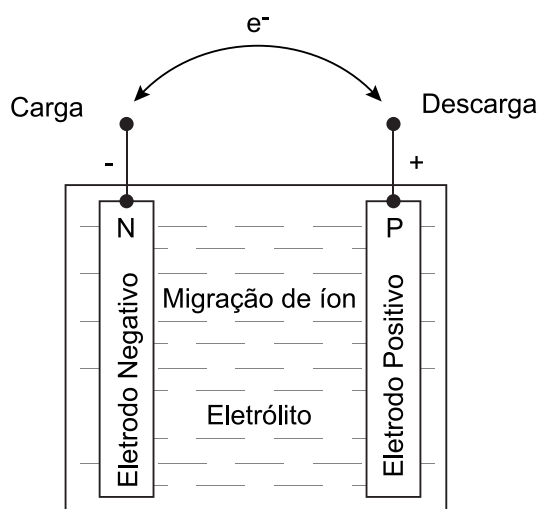


Figura 5 - Configuração básica de uma bateria eletroquímica.

Fonte: Ehsani, Mehrdad *et al.*, 2018.

Nos automóveis convencionais, a bateria é responsável por alimentar os sistemas elétricos e eletrônicos e é recarregada por um gerador, que na prática é o próprio motor a combustão que

move o veículo. O tipo mais frequente de bateria nos automóveis é a bateria de chumbo-ácido (PbA) (Castro *et al.* 2013).

As baterias de íon-lítio constituem a maior aposta para equipar os veículos elétricos e híbridos. Como o lítio é um elemento pequeno e leve, as baterias à base de lítio apresentam maiores níveis de potência e energia por unidade de massa. A energia específica dessas baterias é duas vezes maior em comparação à energia das baterias de níquel-metal hidreto (NiMH) e quatro vezes maior em relação aos níveis da bateria PbA (Scrosati e Garche, 2010 apud Rosolem *et al.*, 2012). Outra característica relevante é a sua reduzida agressividade ao meio ambiente quando comparada à provocada por baterias PbA e de níquel-cádmio.

Em geral, oito parâmetros são relevantes para a escolha de uma bateria veicular e se mantêm como alguns gargalos tecnológicos a superar:

- a) a segurança;
- b) a vida útil (quantos ciclos de carga e descarga e a idade);
- c) o desempenho em baixas temperaturas;
- d) medições e gerenciamento térmico;
- e) a capacidade (quanta energia a bateria pode armazenar);
- f) a potência específica da bateria;
- g) o peso da bateria; e
- h) o custo (Dinger *et al.* 2010; Calstart 2010). Segundo König *et al.* (2021), os custos da bateria podem representar até um terço dos custos totais do veículo elétrico.

De acordo com Braz e Sousa (2019), a maior difusão dos veículos elétricos está intimamente ligada ao desenvolvimento das baterias. Em particular, para baterias de cloreto de sódio e níquel, as prioridades de pesquisa visam a melhorar o processo de produção e integração de sistemas, bem como reduzir os custos. Já para baterias de íons de lítio, os pontos negativos, e que podem ser melhorados, é a necessidade de circuito de proteção e o seu custo elevado.

Melhorar a densidade energética das baterias é importante pois, quanto maior sua densidade energética, mais eficiente seu sistema de armazenamento de energia se torna. Estas melhorias, por sua vez, resultarão em baterias mais leves e menores e, consequentemente, em veículos elétricos mais leves, menores, com maior autonomia e mais baratos (FGV Energia, 2017).

3.3. CONJUNTURA ATUAL DOS VEs NO MUNDO E NO BRASIL

O Acordo do Clima de Paris (COP21) passou a exigir novas relações de produção e consumo de energia. Neste contexto, o padrão de produção e de consumo de energia do setor de transporte, um dos maiores emissores de Gases de Efeito Estufa (GEEs), vem sendo questionado, com a defesa cada vez maior do uso do carro elétrico, o que faz com que a tecnologia de carros movidos a eletricidade venha ganhando espaço em todo o mundo⁵.

Em 2023, as vendas globais de automóveis elétricos chegaram a 14 milhões, um número 3,5 milhões superior ao de 2022, representando um aumento anual de 35%. Os VEs (BEV e PHEV) representaram 18% dos veículos vendidos em 2023. De acordo com a EPE (2024b), parte desse aumento das vendas é explicado pela evolução técnica e disponibilidade de novos modelos.

⁵ As informações apresentadas nesta seção foram obtidas a partir dos estudos da Agência Internacional de Energia (IEA, 2024) e da Empresa de Planejamento Energético (EPE, 2024b).

Essa evolução ocorreu, particularmente, com maior autonomia e modelos de maior porte, mais parecidos com a dos veículos a combustão mais vendidos.

A maioria das vendas de carros elétricos em 2023 ocorreu na China (60%), Europa (25%) e Estados Unidos (10%) (Figura 6). Esses três mercados representaram cerca de 95% das vendas globais de carros elétricos mostrando que, embora as vendas de carros elétricos estejam aumentando globalmente, elas permanecem geograficamente concentradas em poucos mercados (IEA, 2024).

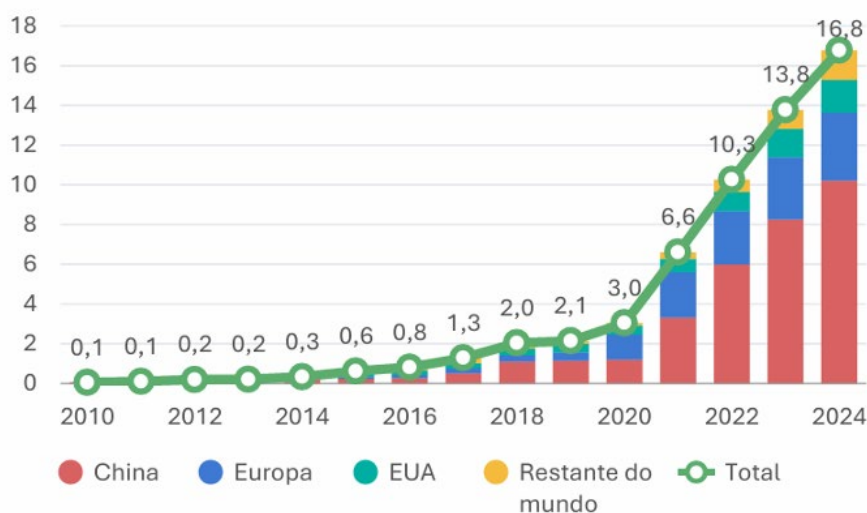


Figura 6 - Vendas mundiais de automóveis elétricos (milhões de unidades).

Fonte: IEA (2024) apud EPE (2024b).

As expectativas de um forte crescimento reforçam o investimento na cadeia de abastecimento de VEs. Relatórios recentes mostram que, de 2022 a 2023, os anúncios de investimento na fabricação de veículos elétricos e de baterias totalizaram quase 500 bilhões de dólares, dos quais cerca de 40% já foram investidos (IEA, 2024).

Em 2023, as dez maiores montadoras globais estabeleceram metas claras de eletrificação. Juntas, essas montadoras venderam mais de 40 milhões de carros em 2023, representando cerca de 55% das vendas globais (IEA, 2024). Mais de 20 montadoras (90% das vendas em 2023) anunciaram metas de eletrificação que, combinadas, resultariam em vendas de eletrificados entre 42% e 58% do total de suas vendas em 2030. No entanto, algumas montadoras, como Ford⁶, GM⁷, Volkswagen⁸, entre outras, estão adiando investimentos em fábricas de veículos elétricos e metas de *phase-out* dos veículos a combustão interna (EPE, 2024b).

O ritmo da transição para veículos elétricos depende de sua acessibilidade. Os carros elétricos estão ficando mais baratos à medida que a concorrência se intensifica, principalmente na China, mas eles continuam mais caros que carros com motores a combustão interna em outros mercados. Na China, estima-se que mais de 60% dos carros elétricos vendidos em 2023 já eram mais baratos do que seus equivalentes médios com motor a combustão (IEA, 2024).

No entanto, os carros elétricos continuam de 10% a 50% mais caros do que os equivalentes com motor a combustão na Europa e nos Estados Unidos, dependendo do país e do segmento de automóveis. Em 2023, dois terços dos modelos elétricos disponíveis globalmente eram carros grandes, picapes ou veículos utilitários esportivos, aumentando os preços médios (Figura 7).

⁶ Ford tells dealers to pause EV investments.

⁷ GM changes EV production targets amid slow demand.

⁸ VW retreats from EV strategy as sales slow - Automotive News.

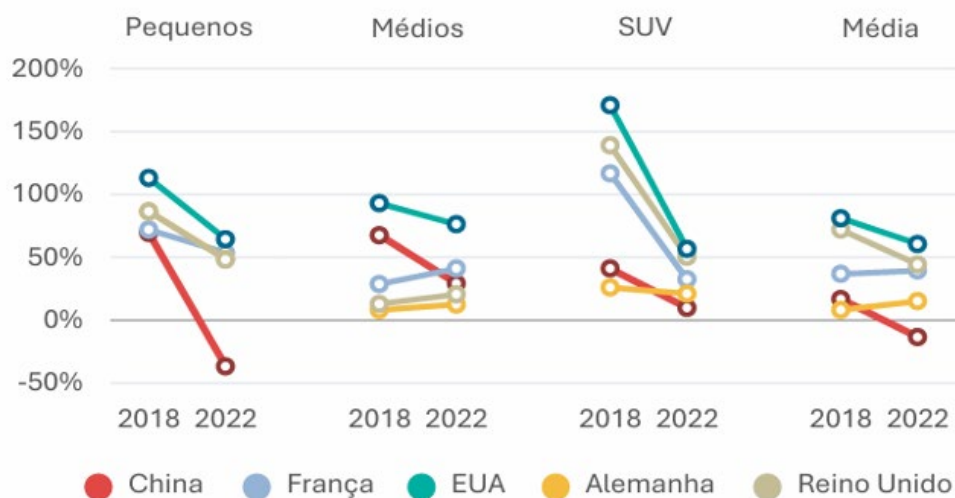


Figura 7 - Diferença de preços entre veículos elétricos e à combustão interna (sem subsídios).

Fonte: IEA (2024) apud EPE (2024b).

A China ainda fornece as baterias mais baratas, mas os preços entre as regiões estão convergindo à medida que as baterias se tornam uma mercadoria globalizada (IEA, 2024). As baterias de fosfato de ferro-lítio – que são significativamente mais baratas do que aquelas baseadas em lítio, níquel, manganês e óxido de cobalto – foram responsáveis por mais de 40% das vendas globais de VE por capacidade em 2023, mais que o dobro de sua participação em 2020.

A redução dos preços das baterias ocorreu por uma normalização dos fluxos de comércio e pela disseminação de novas baterias, com composições químicas diferentes. Inovações tecnológicas e melhoria na manufatura das baterias – incluindo avanços com catodos de menor custo, como a LFP (*Lithium Iron Phosphate*) – devem continuar a reduzir os preços das baterias, que poderão alcançar USD80/kWh em 2030 (BNEF) (Figura 8).

A infraestrutura de recarga também se mostra como um gargalo para a eletromobilidade. O número global de pontos de recarga públicos instalados aumentou 40% em 2023 em relação a 2022, e o crescimento dos carregadores rápidos superou o dos mais lentos. Nos principais mercados de VEs, a implantação de pontos de recarga continua acelerada graças a políticas direcionadas. À medida que mais veículos elétricos pesados, como caminhões e ônibus grandes, chegam às estradas, é necessária uma recarga dedicada e flexível. Em 2023, os ônibus elétricos foram responsáveis por 3% do total de vendas de ônibus. As vendas de caminhões elétricos aumentaram 35% em comparação com 2022, respondendo por cerca de 3% das vendas de caminhões na China e 1,5% na Europa.

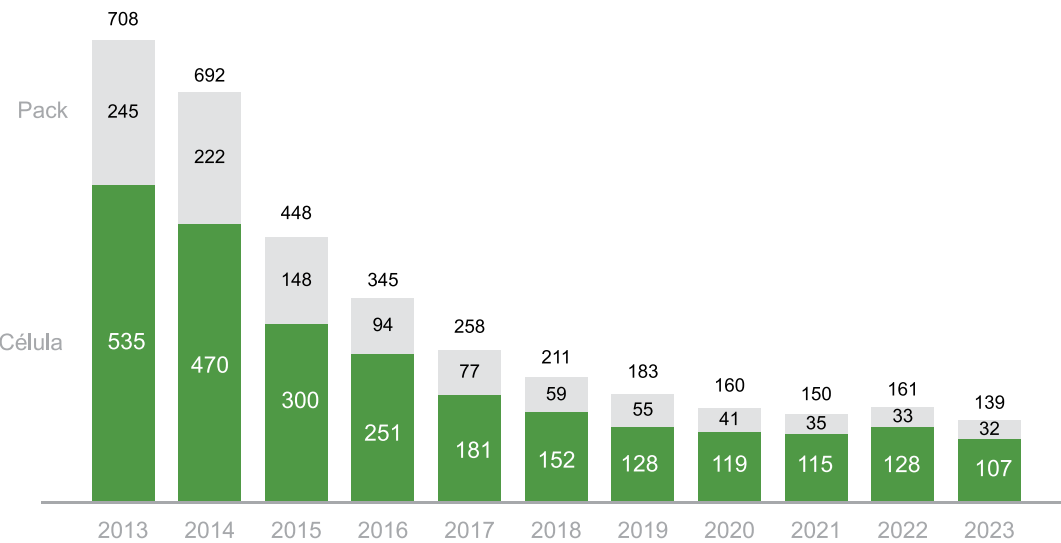


Figura 8 - Preço médio de baterias para veículos elétricos (2023 USD/kWh).
Fonte: BNEF, 2023 Lithium-Ion Battery Pack Prices Hit Record Low of USD139/kWh | BloombergNEF (bnef.com) apud IEA (2024).

Na América Latina, as vendas de carros elétricos atingiram quase 90.000 em 2023, com mercados no Brasil, Colômbia, Costa Rica e México liderando a região. No Brasil, os registros de carros elétricos quase triplicaram ano a ano para mais de 50.000 em 2023, uma participação de mercado de 3%. O crescimento no Brasil foi sustentado pela entrada de montadoras chinesas, como a BYD com seus modelos Song e Dolphin, a Great Wall com o H6, e a Chery com o Tiggo 8, que imediatamente apareceram entre os modelos mais vendidos em 2023 (IEA, 2024). A eletrificação do transporte rodoviário no Brasil pode trazer benefícios climáticos significativos, dada a combinação de energia elétrica gerada em grande parte a partir de fontes com baixas emissões, bem como a redução da poluição do ar local.

No Brasil, a penetração de eletrificados continua a aumentar rapidamente. Entre 2016 e 2022, o número de veículos elétricos no país aumentou 122%, superando o ritmo observado em mercados como os Estados Unidos, Europa e China. Apenas entre janeiro de 2023 e o mesmo mês de 2024, a aquisição de automóveis leves *plug-in* cresceu quase 250% (Mirow & Co., 2024). Esse cenário é impulsionado por investimentos de mais de BRL 120 bilhões anunciados por montadoras, fomentando toda a cadeia de valor da eletromobilidade.

Políticas públicas de incentivo à descarbonização do setor automotivo – como o Programa de Mobilidade Verde e Inovação (MOVER) – aumentam a oferta desses veículos. Como demonstra a Figura 9, é possível observar que a predominância de modelos híbridos começa a ser substituída por uma maior venda de veículos *plug-in* e elétricos, com significativo aumento das importações no final de 2023, principalmente nas modalidades PHEV e BEV, oriundas da China, devido à expectativa de um aumento do imposto de importação.

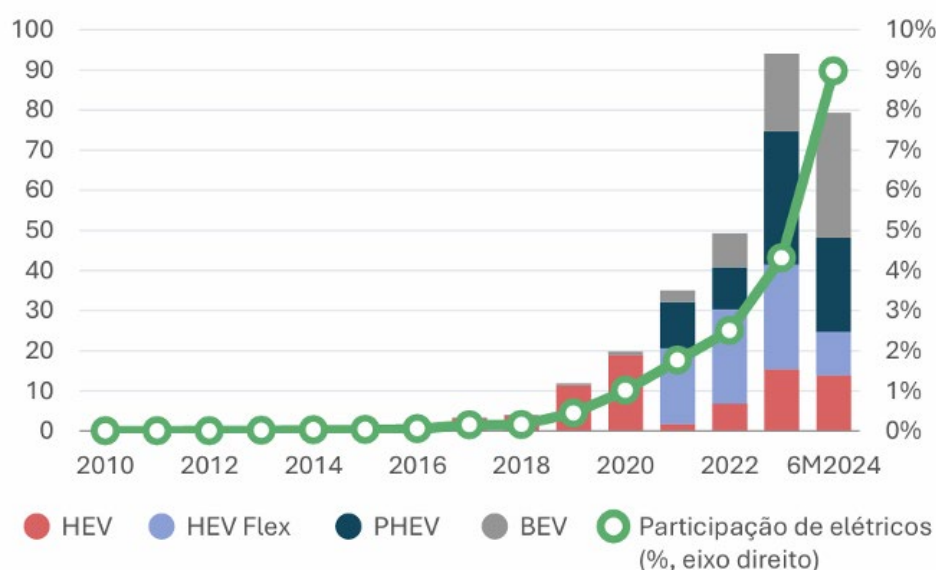


Figura 9 - Vendas anuais de veículos eletrificados no Brasil (mil unidades).

Fonte: EPE (2024b).

O preço médio dos veículos eletrificados mais vendidos no Brasil registrou queda substancial nos últimos anos, o que – somado ao aumento de preço de modelos a combustão interna (chegando a patamares próximos e/ou superiores a R\$ 100 mil) – reduziu a diferença entre as categorias (VE e a combustão) e estimulou o aumento das vendas de HEV, PHEV e BEV (EPE, 2024b).

Apesar do rápido aumento de vendas de elétricos, ao contrário de países como Índia e Turquia, o Brasil apresenta quase a totalidade de vendas de veículos elétricos oriundos de outros países, principalmente da China (36%) e Japão (29%). Apesar da queda, o preço dos VEs ainda é um dos entraves para a “massificação” desses veículos no país, pois as vendas de eletrificados (valor médio de BRL 243 mil em 2023), que correspondem a 4,3% do licenciamento total, seguem limitadas ao mercado de carros de luxo e às camadas da população com maior poder aquisitivo.

Em relação à infraestrutura de recarga no Brasil, foi observado um aumento no número de eletropostos públicos e semipúblicos em 2023, mas ela ainda se mostra insuficiente para um país de tamanho continental como o Brasil. Esta infraestrutura ainda é concentrada no estado de São Paulo (EPE, 2024b). A Figura 10 mostra o resultado da pesquisa de eletropostos públicos cadastrados e disponíveis⁹ no Brasil, feita no aplicativo *PlugShare* no dia 16/12/2024. O aplicativo conta com mais de 100 mil eletropostos cadastrados em todo o mundo.

⁹ **Postos Cadastrados:** estão listados na rede PlugShare, mas a informação sobre a disponibilidade dos carregadores pode não ser real.

Postos Disponíveis: indica a disponibilidade real dos carregadores naquele momento, com informações atualizadas pela comunidade de usuários, como avaliações e relatos de uso.

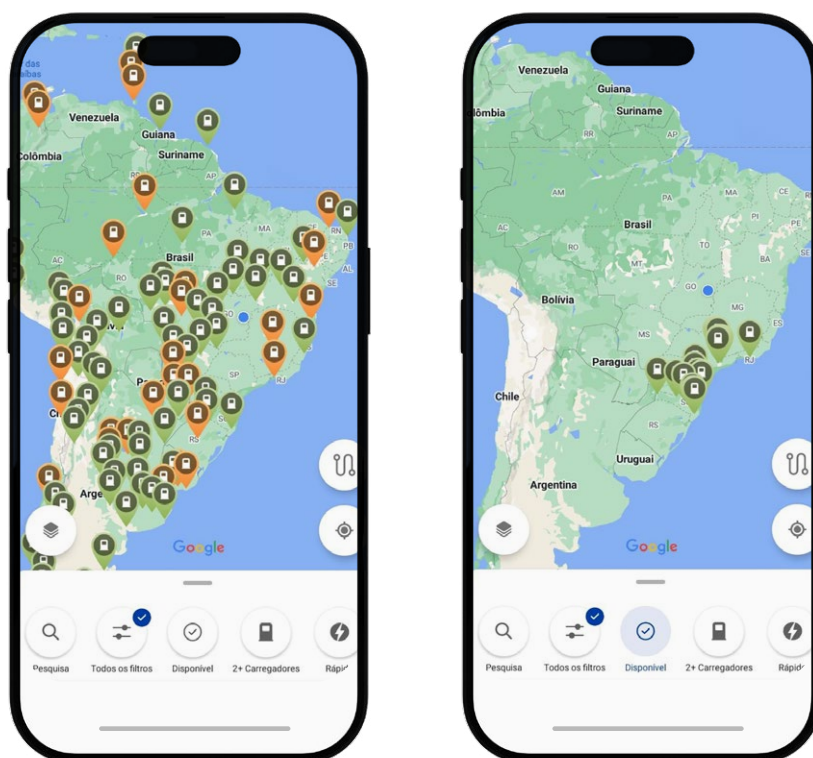


Figura 10 – Resultado da pesquisa de eletropostos públicos cadastrados (esquerda) e disponíveis (direita) no Brasil no dia 16/dez/2024 no aplicativo PlugShare (PlugShare: o app que encontra eletropostos no Brasil - Carro Elétrico).

A eletrificação de ônibus se acelera globalmente, com destaque para a China, país que lidera esta posição devido ao apoio político, disponibilidade de produção doméstica e incentivos econômicos para ônibus eletrificados. Na América Latina, 32 cidades em 11 países estabeleceram metas para eletrificar suas frotas. Na Europa, as vendas de ônibus urbanos elétricos ficaram em 43% do total de vendas em 2023. No entanto, somente 1% dos ônibus rodoviários europeus são elétricos, enquanto ônibus híbridos e a gás natural seguem significativos.

No Brasil, a Política Nacional de Mobilidade Urbana levou à elaboração de Planos de Mobilidade Urbana (MDR), que preveem reduções das emissões e de poluentes locais. A adesão de algumas cidades brasileiras ao C40¹⁰ acelerou a implementação de políticas para reduzir as emissões. A compra de ônibus elétricos a bateria (BEV) tem sido anunciada por diversas cidades brasileiras como São Paulo, São José dos Campos, Salvador e Curitiba.

Em se tratando de eletrificação de caminhões, a China também está à frente, mas a inserção desse tipo de veículos ainda é muito inferior quando comparada à inserção dos ônibus. Na Europa, a venda de caminhões elétricos começa a deslanchar, com um licenciamento anual que atingiu 10 mil unidades em 2023. Além disso, a IEA destaca o elevado comprometimento das montadoras na Europa com a eletrificação de caminhões (EPE, 2024b).

No Brasil, as vendas de caminhões elétricos avançaram rapidamente nos últimos anos – com mais de 600 caminhões elétricos novos licenciados em 2022 – e vem crescendo o número de frotistas comprometidos com a redução de suas emissões por meio do uso de caminhões elétricos (como AMBEV, JBS e DHL), o que tende a impulsionar as vendas de caminhões leves e médios, tanto os elétricos como aqueles movidos a gás natural.

¹⁰ O C40 Cities Climate Leadership Group é um grupo de 96 cidades que representa um doze avos da população mundial e um quarto da economia global. Criado e liderado por cidades, o C40 está focado no combate à crise climática e na promoção de ações urbanas que reduzam as emissões de gases com efeito de estufa e os riscos climáticos.

QUANTO TEMPO DEMORA PARA RECARREGAR UM VEÍCULO ELÉTRICO?

O carregamento dos veículos elétricos ainda é um dos fatores críticos que “seguram” o *boom* deste mercado. Isso porque a rede de recarga pública ainda é insuficiente. Segundo informações do HBVOLT (2024), os cinco fatores que influenciam no tempo de recarga de uma bateria de carro elétrico são:



- potência do carregador veicular
- potência do conversor embutido no veículo
- tipo de plugue
- capacidade da bateria
- curva de carregamento

POTÊNCIA DO CARREGADOR VEICULAR

Existem vários tipos de carregadores de veículos elétricos. Os portáteis costumam oferecer de 3,3 a 6 kW/h de potência. Já as estações de carregamento vão de 7,4 kW/h até 22 kW/h em corrente alternada (AC), podendo ser acima de 50 kW/h em corrente contínua (DC). Porém, a potência oferecida pelo carregador pode não ser a mesma que chegará ao carro, conforme veremos abaixo.

POTÊNCIA DO CONVERSOR EMBUTIDO NO VEÍCULO

O conversor embutido no carro é o dispositivo que converte a corrente alternada (AC), que é a utilizada na rede elétrica no Brasil, em corrente contínua (DC) para alimentar a bateria. Esse conversor varia de potência de fabricante para fabricante e regula a potência que chega até a bateria. Mas como isso influencia no carregamento? Se você estiver utilizando um carregador de 22 kW, porém o conversor entrega somente 11 kW, a velocidade de recarga será de 11 kW. Ou seja, ele acaba funcionando como um “limitador”. Já se o carro for conectado em um carregador que fornece corrente contínua (DC), a recarga não passa por esse conversor, então a potência fornecida vai toda para a bateria.

TIPO DE PLUGUE

Outro fator que pode limitar o tempo de recarga é o tipo de plugue. O plugue tipo 1, por exemplo, utilizado nos EUA, permite uma carga no máximo de 7,4kW. O plugue tipo 2, utilizado na Europa, Japão e agora aqui no Brasil, permite uma carga de até 22 kW.

CAPACIDADE DA BATERIA

A capacidade da bateria também influencia no tempo de recarga. Se um carro tiver uma bateria de 50 kW, por exemplo, o mesmo levará quase 7h para recarregar completamente considerando uma fonte de 7,4 kW/h. Se a mesma bateria tiver 30 kW, ela recarregará em pouco mais de 4h com a mesma alimentação.

A “CURVA DE CARREGAMENTO”

Além disso, deve-se considerar a “curva de carregamento”. Os suprimentos de corrente DIRETA são mais rápidos, mas também mais estressantes para a bateria. Para isso, o acumulador não será totalmente carregado, mas apenas até 80% da capacidade. A potência é automaticamente reduzida pelo carro elétrico na última fase de carregamento.

E novamente, se a bateria estiver muito baixa, a parte inicial do reabastecimento será mais lenta, e então atingirá a potência máxima entre 20% e 60% da sessão. As mesmas montadoras indicam um tempo de carregamento que, nesses casos, não corresponde ao cálculo simples feito anteriormente (capacidade da bateria dividida por potência máxima).

Quando a bateria está em níveis muito baixos, o fornecimento de energia para ela é reduzido automaticamente de forma a evitar danos. Da mesma forma, quando nível de carregamento de uma bateria chega a 80%, a velocidade de recarga também é reduzida de forma a não a sobrecarregar e causar danos. Esse processo é chamado de Curva de Carregamento. Ou seja, a faixa ideal para utilização das baterias de carro é entre 20% e 80%, quando a velocidade de carregamento não sofre redução e não há risco de danificar a bateria.

4. PROGNÓSTICO DA MOBILIDADE ELÉTRICA?

4.1. MUNDO

A eletromobilidade é essencial para a transição global rumo a uma economia sustentável e de baixo carbono, e as vendas de veículos eletrificados tornam-se indicadores-chave para avaliar o progresso dessa transformação no setor automotivo mundial. Dessa forma, monitorar e analisar esses dados é fundamental para compreender as tendências de adoção das novas tecnologias de baixo carbono e identificar os padrões geográficos da eletromobilidade (ABVE, 2024).

De acordo com IEA (2024), mais modelos elétricos estão se tornando disponíveis, mas a tendência é para modelos de maior porte: o número de modelos de carros elétricos disponíveis se aproxima de 600, dois terços dos quais são veículos grandes e SUVs (Figura 11). Com base em anúncios recentes dos fabricantes, o número de novos modelos de carros elétricos pode chegar a 1.000 até 2028. Se todos os novos modelos elétricos anunciados realmente chegarem ao mercado, e se o número de modelos de carros ICE¹¹ disponíveis continuar a diminuir em 2% ao ano, o número de modelos elétricos poderá se aproximar do número de modelos de carros ICE já em 2028 (IEA, 2024).

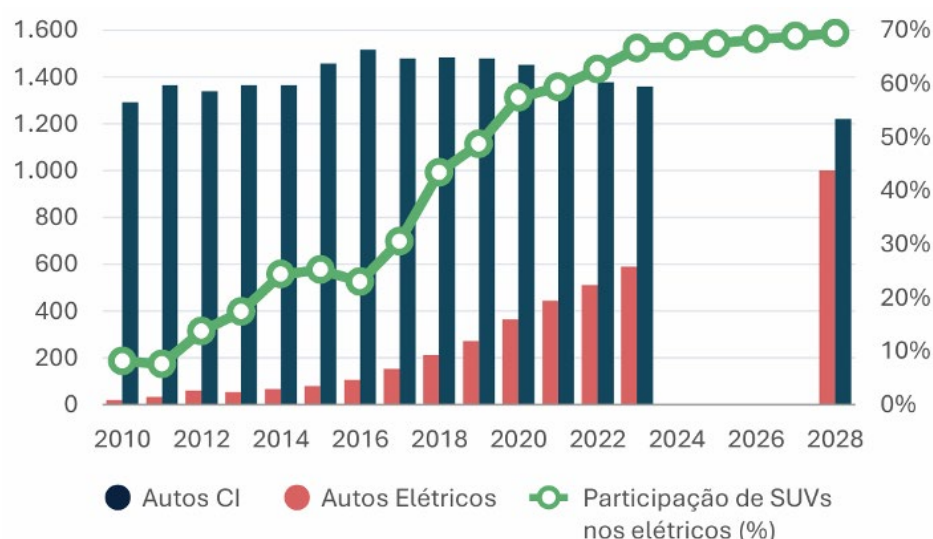


Figura 11 - Disponibilidade de modelos de carros por motorização entre 2010 e 2023 e em 2028 com base em lançamentos anunciados e participação de SUVs e modelos grandes entre carros elétricos.

Fonte: IEA (2024) apud EPE (2024b).

No relatório *Global Electric Vehicle Outlook 2024*, a Agência Internacional de Energia apresentou os caminhos para eletrificar o transporte rodoviário até 2035, com uma abordagem baseada em cenários usada para explorar as perspectivas para a mobilidade elétrica. A metodologia envolveu premissas atreladas a:

- a) tendências de mercado recentes;
- b) impulsionadores de políticas; e
- c) desenvolvimentos tecnológicos.

Os diferentes cenários foram criados com o objetivo de avaliar futuros plausíveis para os mercados globais de VEs e suas potenciais implicações.

¹¹ Acrônimo em inglês para Internal Combustion Engine, ou “motor a combustão interna”.

As projeções no Cenário de Políticas Declaradas (do inglês *Stated Policies Scenario* – **STEPS**) e Cenário de Promessas Anunciadas (do inglês *Announced Pledges Scenario* – **APS**) consideram dados históricos até o final de 2023, bem como políticas e ambições declaradas até o final de março de 2024. O Cenário de Emissões Líquidas Zero até 2050 (do inglês *Net Zero Emissions by 2050 Scenario* – **NZE**) é coerente com a atualização de 2023 do IEA *Net Zero Roadmap* e do *World Energy Outlook 2023*.

- O STEPS reflete políticas e medidas existentes, bem como ambições e políticas que foram aprovadas por governos ao redor do mundo. Ele inclui políticas, regulamentações e investimentos atuais relacionados a VEs, bem como tendências de mercado;
- O APS pressupõe que todas as ambições e metas anunciadas feitas por governos ao redor do mundo sejam cumpridas integralmente e no prazo;
- O NZE é um cenário normativo que define um crescimento maior, porém alcançável, para o setor global de energia atingir emissões líquidas zero de CO₂ até 2050.

De acordo com os resultados publicados em IEA (2024), a frota global de veículos elétricos deve crescer 12 vezes até 2035 e, segundo as políticas declaradas:

- No cenário **STEPS**, as vendas de VEs (excluindo 2/3Ws¹²) atingem quase 45 milhões em 2030 e perto de 65 milhões em 2035, acima dos cerca de 14 milhões em 2023 (Figura 12).
- No cenário **APS**, as participações de vendas de VEs são maiores, aproximando-se de 45% em 2030 e 66% em 2035.
- No cenário **NZE**, as participações de vendas de VEs se aceleram nos próximos anos, atingindo cerca de 65% em 2030 e 95% em 2035.

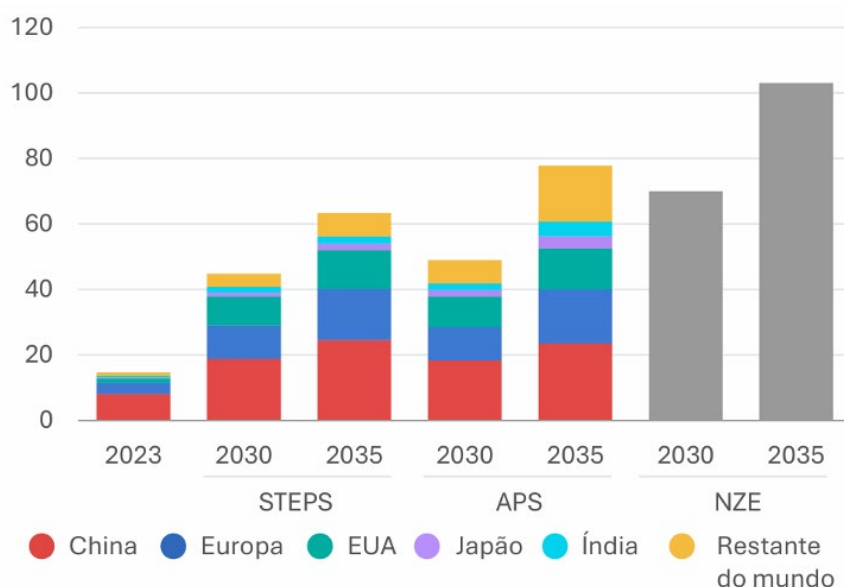


Figura 12 - Vendas de veículos elétricos em regiões selecionadas (milhões de unidades).

Fonte: IEA (2024) apud EPE (2024b).

Espera-se que na China a fatia de vendas de carros elétricos ultrapasse 50% das vendas totais de veículos já em 2025, sendo que a fatia de mercado das vendas globais de veículos leves elétricos deve atingir 40% em 2030 e quase 55% em 2035 com base nas configurações de política atuais.

¹² Do termo em inglês *two/three wheeler*, que designa veículos de duas ou três rodas.

Isso é resultado da seguinte combinação de fatores:

- forte apoio político;
- aumento do tamanho do mercado consumidor interessado em veículos leves;
- impacto econômico e ambiental derivado da economia de combustível proporcionada por veículos leves e a consequente redução das emissões de CO₂; e
- maior disponibilidade de modelos elétricos.

A partir de 2023, as seis maiores montadoras globais (Volkswagen, Ampere, Toyota, Suzuki, BMW, GM) estabeleceram metas claras de eletrificação. Se cada empresa entre as seis maiores atingir sua meta, mais de 20 milhões de novos carros elétricos poderão ser vendidos em 2030 (IEA, 2024).

À medida que os mercados de veículos elétricos amadurecem, os carros elétricos de segunda mão se tornarão mais disponíveis. Os preços dos carros elétricos usados estão caindo rapidamente e se tornando competitivos em relação aos modelos equivalentes de motor a combustão (IEA, 2024).

No entanto, quando mais veículos elétricos pesados – como caminhões e ônibus grandes – chegarem às estradas, será necessária uma recarga dedicada e flexível. Os números abaixo ilustram algumas das variáveis mais relevantes nos três cenários:

- A fim de atingir os níveis de implantação de VEs no cenário **STEPS** (Cenário de Políticas Declaradas), o número global de pontos de recarga pública excederá 15 milhões até 2030, um aumento de quatro vezes em comparação com os quase 4 milhões em operação em 2023.
- Já no cenário **APS** (Cenário de Políticas Anunciadas), a infraestrutura de recarga pública atual precisa aumentar seis vezes até 2035 (IEA, 2024), o equivalente a quase 25 milhões de pontos.
- A demanda por baterias para veículos elétricos aumentará dez vezes em dez anos no cenário **NZE**.

À medida que as vendas de VEs continuam a aumentar nos principais mercados atuais na China, Europa e Estados Unidos, bem como se expandindo para mais países, a demanda por baterias de VEs também deve crescer rapidamente. No cenário **STEPS**, a demanda por baterias de VEs cresce quatro vezes e meia até 2030, e quase sete vezes até 2035 em comparação com 2023. No cenário APS e NZE, a demanda é significativamente maior, multiplicada por cinco e sete vezes em 2030 e nove e 12 vezes em 2035, respectivamente.

Em um mundo cada vez mais eletrificado, é importante entender a capacidade de suporte dos sistemas em relação à demanda por eletricidade. Carregar um número cada vez maior de veículos elétricos em todo o mundo exigirá mais eletricidade, e a participação dos veículos elétricos no consumo total de eletricidade deve aumentar significativamente como resultado. Em 2023, a frota global de VEs consumiu cerca de 130 TWh de eletricidade, respondendo por cerca de 0,5% do consumo final total de eletricidade do mundo nesse ano, e cerca de 1% na China e na Europa.

Os veículos elétricos podem representar de 6% a 8% da demanda total de eletricidade até 2035, valor 12 a 16 vezes superior aos 0,5% atuais. Olhando para 2035:

- a demanda por eletricidade por VEs pode chegar a quase 2.200 TWh no cenário **STEPS**.
- No cenário **APS**, a demanda pode ser mais de 20% superior que no STEPS, embora o estoque de VEs seja apenas cerca de 15% maior.

Apesar da perspectiva de aumento significativo até 2035, a demanda por eletricidade de VEs responderá por menos de 10% do consumo final global de eletricidade tanto no STEPS quanto no APS (Tabela 1). Conforme mostrado no *World Energy Outlook 2023* (estudo produzido pela *International Energy Agency*), a parcela de eletricidade para VEs em 2035 permanece pequena em comparação com a demanda por aplicações industriais, eletrodomésticos ou aquecimento e resfriamento. Além disso, a eletrificação do transporte rodoviário resulta em reduções gerais

no consumo de energia, já que os motores elétricos são mais eficientes do que os motores a combustão interna (IEA, 2024).

País/região	2023	Cenário de Políticas Declaradas 2035	Cenário de Políticas Anunciadas 2035
China	0,7%	6,8%	6,9%
Europe	1,1%	13,7%	14,5%
United States	0,6%	14,2%	15,6%
Japan	0,1%	3,1%	5,5%
India	0,2%	6,0%	8,7%
Global	0,5%	8,1%	9,8%

Tabela 1 - Participação do consumo de eletricidade de veículos elétricos em relação ao consumo final de eletricidade por região e cenário, 2023 e 2035.

Fonte: IEA (2024).

A China continua sendo o maior consumidor de eletricidade para VEs no cenário **STEPS**, apesar de sua participação na demanda global de eletricidade para VEs diminuir significativamente de cerca de 45% em 2023 para menos de 30% em 2035. No cenário **APS**, essa participação cai ainda mais, para pouco mais de 20% em 2035, como resultado do forte crescimento de VEs na Europa, Estados Unidos e outros países. Em 2035, os Estados Unidos estão em primeiro lugar, à frente da China e da Europa em termos de demanda de eletricidade para VEs no APS (IEA, 2024).

A eletrificação do transporte rodoviário em escala global tem o potencial de gerar reduções significativas de emissões de GEEs nas próximas décadas. No cenário STEPS, a substituição de veículos com motor a combustão interna (ICEs) por veículos elétricos (VEs), combinada com avanços contínuos na eficiência dos ICEs, resulta em uma redução de mais de 2 gigatoneladas de CO₂ equivalente (CO₂-eq) até 2035. Embora a geração adicional de eletricidade para abastecer os VEs contribua com um aumento de pouco mais de 380 megatoneladas de CO₂-eq, esse valor é significativamente inferior às emissões evitadas. Assim, a economia líquida de emissões atinge cerca de 1,6 gigatoneladas de CO₂-eq em 2035, segundo o cenário STEPS.

No entanto, ainda há uma lacuna de ambição substancial entre as promessas anunciadas e o que seria necessário para colocar o mundo em um caminho que viabilize o cenário **NZE**. Isso é especialmente verdadeiro no curto prazo: em 2030, as emissões evitadas no cenário NZE são 40% superiores às emissões evitadas no cenário APS, no qual se tem apenas cerca de 5% de emissões evitadas a mais que no STEPS. Em 2035, a diferença entre as economias de emissões do cenário NZE e as economias de emissões do cenário APS é inferior a 35% (IEA, 2024). Isso permite inferir que:

- as políticas atuais não estão alinhadas ao caminho de “Zero Líquido” até 2050; e
- será necessária maior ambição tanto na esfera política quanto nas tomadas de decisões corporativas.

Um **BEV** (*Battery Electric Vehicle*, ou carro elétrico a bateria) vendido em 2023 emitirá metade do que os modelos de veículos **ICEV** (*Internal Combustion Engine Vehicle*, ou carro movido a combustão interna) equivalentes ao longo de sua vida útil (IEA, 2024). Para veículos adquiridos em

2035, as emissões “*well-to-tank*”¹³ diminuirão 55% (no cenário STEPS) e 75% (no cenário APS) graças à descarbonização da rede, já que a intensidade de emissões da geração de eletricidade cai de 50 a 65% entre 2023 e 2035. No entanto, mesmo sem essas melhorias, as emissões de um BEV ainda seriam cerca de 30% menores do que as de um ICEV. Usar eletricidade de baixo carbono também pode dar suporte à descarbonização na produção de baterias.

4.2. BRASIL

A eletrificação continua a avançar rapidamente no Brasil. A redução dos preços dos veículos viabilizou o aumento dos licenciamentos, mas, apesar da queda, o preço ainda é um dos entraves para a massificação dos VEs. Apesar do aumento de oferta de modelos por montadoras estrangeiras e das isenções de impostos que permitiram a diminuição dos preços, os valores ainda permanecem em patamares elevados.

Além disso, o alto número de veículos importados convive hoje com movimentos de instalação de capacidade produtiva local de veículos elétricos.

A infraestrutura de recarga no Brasil evoluiu, mas ainda é insuficiente (EPE, 2024b). Apesar da previsão de aumento do número de eletropostos públicos e semipúblicos para os próximos anos, a rede de abastecimento se mostra aquém do desejado para um país de dimensões continentais como o Brasil.

Políticas públicas também impactam o ritmo de eletrificação, como o Programa Combustível do Futuro, que objetiva ampliar ainda mais o uso de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono na matriz de transportes, como os biocombustíveis, além de integrar políticas públicas relacionadas ao tema (RenovaBio, PNPB, Proconve, Rota 2030, PBEV). Ressalta-se que a eventual escolha precoce de rota tecnológica única pode resultar em “trancamento tecnológico” e risco de abandono desta opção no país.

Em relação aos investimentos das principais montadoras, elas pretendem investir, até 2030, um total aproximado de R\$ 130 bilhões. Segundo a EPE (2024b), esse aumento nos investimentos pode ser explicado por uma série de fatores:

- Calendário de aumento do imposto de importação, iniciado em 2024;
- Políticas públicas de incentivo à neindustrialização e ao desenvolvimento sustentável, como o MOVER; e
- Aumento de preços dos veículos vendidos no Brasil, que abre espaço para maior lucratividade de tais empresas e, portanto, possibilitando maiores investimentos.

A eletrificação da frota de veículos leves deve aumentar gradualmente no Brasil estimulada por incentivos estaduais e municipais, como a isenção de rodízio de carros elétricos em São Paulo e a redução em tributos sobre estes veículos, de modo que se projeta a penetração progressiva de eletrificados na próxima década (Figura 13). A frota de veículos híbridos puros (HEV, Hybrid Electric Vehicle) e de veículos elétricos puros (BEV, Battery Electric Vehicle) deverá ultrapassar 1 milhão em 2030, com alta participação de híbridos.

¹³ Expressão em inglês que significa “do poço ao tanque”. Refere-se às emissões de gases de efeito estufa (ou outros poluentes) associadas às etapas de extração, produção, processamento, transporte e distribuição de combustíveis ou fontes de energia até o momento em que estão prontos para uso no veículo.

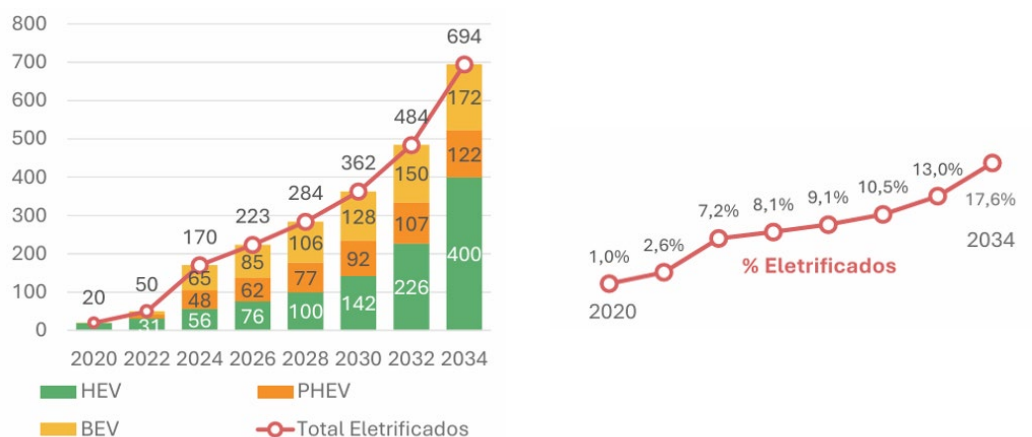


Figura 13 - Licenciamento de veículos leves híbridos e elétricos (mil veículos; % total) no período 2020-2034.

Fonte: EPE (2024b).

Em relação aos minerais estratégicos e a eletromobilidade, o aumento da demanda por baterias representa extração e mineração de maiores quantidades de minerais estratégicos, particularmente de lítio, cobalto, níquel e grafite. Na manufatura de veículos automotivos elétricos, o lítio tem presença importante, sendo utilizado nos anodos, catodos e eletrólitos das células da bateria, representando 8,9 kg por veículo, segundo IEA (2024).

Tal quantidade é muito superior à utilizada em veículos leves convencionais de combustão interna. No Brasil, há reservas mais significativas de níquel, manganês, grafita e terras raras (USGS, 2023), com oportunidades para ampliação das produções dessas e outras jazidas, como as de lítio. Além disso, existe a necessidade do desenvolvimento da tecnologia industrial nacional em apoio ao fortalecimento dos mercados destes minerais.

Há predomínio do lítio e níquel como principais componentes das baterias utilizadas em veículos elétricos no mundo. No horizonte decenal, a quantidade de lítio necessária para a produção de baterias é de cerca de 1,5 mil toneladas em 2034 ou 8,8 mil toneladas entre 2025 e 2034, para atendimento da eletrificação da frota brasileira (Figura 14). Outros três minerais mais demandados (grafita, ferro e níquel) estão presentes nas reservas e produções brasileiras.

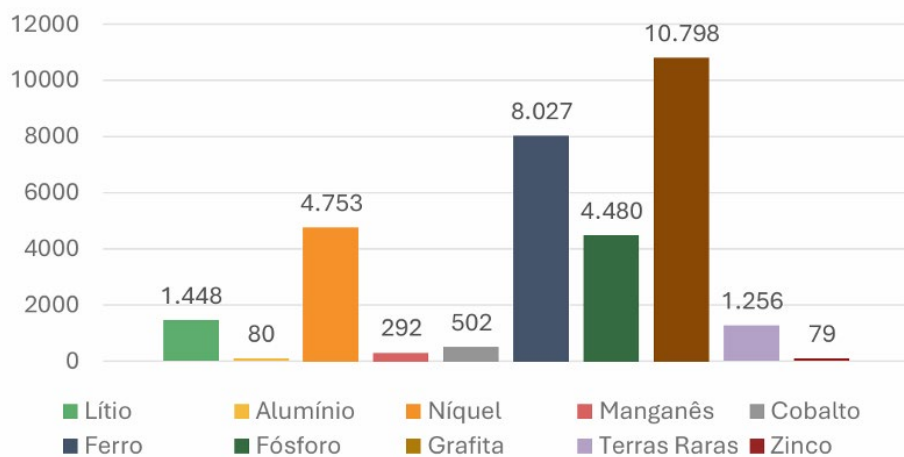


Figura 14 - Quantidade de minerais estratégicos para baterias de veículos eletrificados licenciados em 2034 (toneladas).

Fonte: IEA (2024) apud EPE (2024b).

A produção nacional de minerais estratégicos no Brasil, como lítio, níquel, cobalto e estanho, é atualmente significativa, mas pode não ser suficiente para atender às crescentes demandas futuras de veículos elétricos até 2034. Com a expansão prevista da indústria de veículos elétricos, a demanda por esses minerais deverá aumentar consideravelmente, refletindo na necessidade de uma oferta maior e mais diversificada.

Embora o Brasil detenha reservas consideráveis de alguns desses minerais, a capacidade de mineração, o desenvolvimento de infraestrutura e a tecnologia de extração ainda estão em estágios de consolidação. Portanto, é provável que o país precise importar minerais do exterior para suprir a demanda global e evitar gargalos na cadeia de produção.

4.3. TRANSPORTE PRIVADO *VERSUS* TRANSPORTE PÚBLICO

O avanço da eletrificação depende da região, do tipo de veículo e do cenário simulado. Em um contexto global, a eletrificação tende a avançar mais rapidamente em motos e veículos leves (Figura 15). Ônibus e caminhões elétricos apresentam desafios maiores de inserção no mercado, mesmo nos cenários mais otimistas.

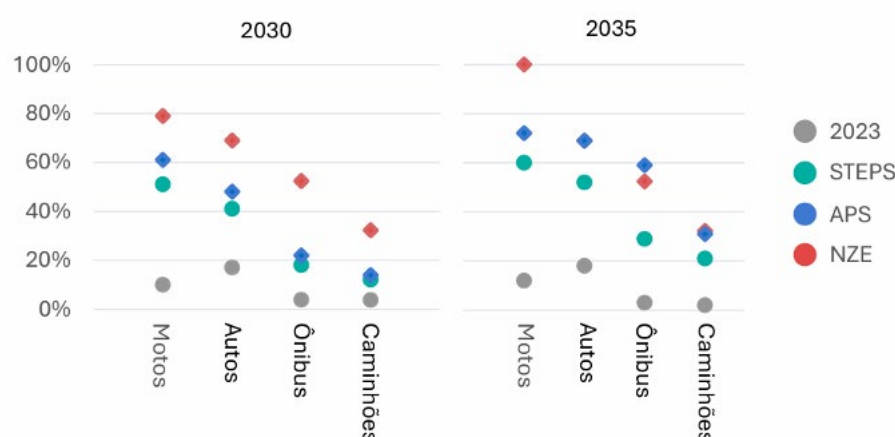


Figura 15 - Participação da eletrificação nas vendas por modo e cenário (%).

Fonte: IEA (2024) apud EPE (2024b).

Sob as políticas atuais, o estoque de ônibus elétricos aumentará sete vezes até 2035 e o de caminhões elétricos cerca de trinta vezes, apoiado por padrões de emissões mais rigorosos nos Estados Unidos e na União Europeia. Esse nível de implantação pode exigir um salto de vinte vezes na capacidade de recarga até 2035 não apenas em pontos de carga e descarga, mas também ao longo das principais rotas de trânsito para permitir o transporte rodoviário de longa distância. O aumento da recarga pesada tem implicações importantes para a expansão e operação de redes elétricas, com oportunidades para maior flexibilidade e integração de energias renováveis (IEA, 2024).

Os ônibus elétricos deverão representar 30% dos ônibus vendidos globalmente até 2035 com base nas políticas existentes. Nos últimos anos, vários governos anunciaram novos financiamentos para ônibus elétricos e de emissão zero: a Índia objetiva ter 50.000 ônibus elétricos em suas estradas até 2027. Programas de financiamento desse tipo e regulamentações para veículos pesados – incluindo os padrões revisados de emissão de CO₂ da União Europeia para veículos pesados e a *Advanced Clean Fleets* da Califórnia – devem aumentar as cotas de vendas de ônibus elétricos (IEA, 2024).

Em relação aos caminhões, esses continuam sendo os mais lentos na rota de eletrificação, mas

os compromissos dos países podem ajudar a impulsionar essa trajetória. Na COP 28, seis novos países¹⁴ aderiram ao Memorando de Entendimento Global sobre Veículos Médios e Pesados com Emissão Zero, elevando o total para 33 nações comprometidas em atingir 100% de vendas de veículos médios e pesados com emissão zero em 2040, com uma meta parcial de prazo mais curto de 30% até 2030.

Em relação ao contexto brasileiro, políticas públicas fomentam a inserção de ônibus elétricos na frota nacional. A compra de ônibus elétricos a bateria (BEV) tem sido anunciada por diversas cidades brasileiras, como São Paulo, São José dos Campos, Salvador e Curitiba.

O Novo PAC¹⁵ prevê investimentos de BRL 7,3 bilhões até 2028 em renovação da frota com ônibus elétricos para sete estados e 61 municípios. Em 2034, a Empresa de Pesquisa Energética projeta que os ônibus eletrificados representarão 9% de uma frota de mais de 530 mil unidades (Figura 16) e que uma parcela da frota dos BRTs (*Bus Rapid Transit*) será elétrica.

O alto preço de aquisição dos ônibus elétricos e a infraestrutura de recarga limitada têm sido barreiras para o aumento das frotas de ônibus elétricos. Espera-se que os ônibus híbridos liderem as participações para aplicações não urbanas e para cidades menores.

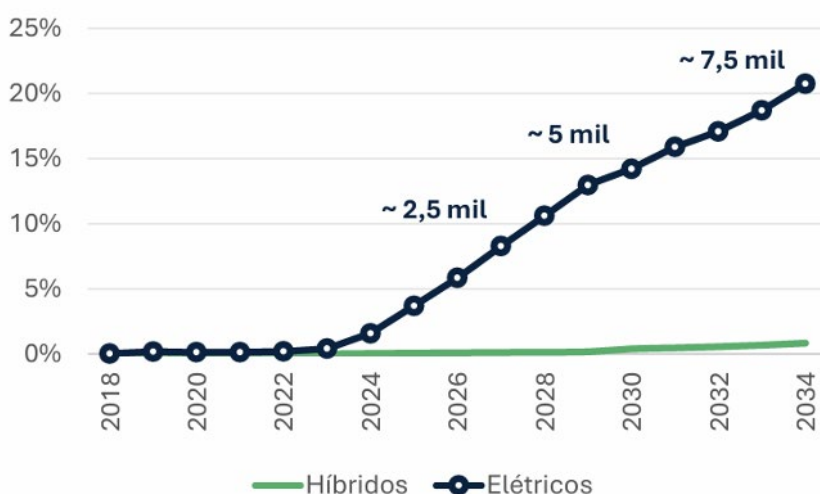


Figura 16 - Licenciamento de novos ônibus híbridos e elétricos (%).

Fonte: EPE (2024b).

Projeta-se a retomada tanto do crescimento do PIB per capita, como do emprego e da distribuição de renda para a próxima década. Isso deve influenciar na recuperação da demanda por transporte de passageiros, que cresceu 3,4% a.a. entre 2000 e 2014, caiu para 3,0% a.a. entre 2014 e 2024, e agora deve tornar a crescer 4,8% a.a. até 2034.

Apesar do crescimento das vendas de veículos leves novos, o crescimento desse segmento deve aumentar somente 2,3% a.a. entre 2024 e 2034, frente a um crescimento total da demanda por mobilidade de 3,4% a.a. no mesmo período. Isso deve impulsionar a demanda por transporte de passageiros rodoviários coletivos em ônibus.

Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 (EPE, 2024c), 71% da movimentação de cargas no Brasil ocorreu por caminhões em 2023. Entretanto, o frete rodoviário é o menos eficiente em termos de energia consumida por tonelada-quilômetro, e representou mais de 93% do uso de energia para movimentação de cargas no ano passado. Com o crescimento projetado

¹⁴ Os novos signatários foram Cabo Verde, Colômbia, Gana, Islândia, Israel e Papua Nova Guiné.

¹⁵ O Programa de Aceleração do Crescimento é um programa do governo federal brasileiro que engloba um conjunto de políticas econômicas e eixos de investimento para acelerar o crescimento econômico e a inclusão social no Brasil.

da economia, a EPE projeta um aumento na demanda por transporte, tanto de cargas como de passageiros, impulsionada por maior estímulo ao consumo.

Portanto, descarbonizar os transportes pesados é importante para que o Brasil e as empresas cumpram suas metas de redução de emissões. O país ampliou suas metas durante a COP29, realizada em novembro de 2024, e agora se compromete a reduzir suas emissões líquidas entre 59% e 67% até 2035, com base nos níveis de 2005.

No Brasil, os caminhões elétricos semileves a médios tem ganhado espaço nos últimos anos. Restrições à circulação de veículos poluentes em ambientes urbanos estimulam a eletrificação das entregas entre centros de distribuição e o varejo, mas também das entregas diretamente ao cliente final (*last-mile delivery*). Pressões a partir das práticas ESG (dimensões ambiental, social e de governança) e a possibilidade de negociar a compra de eletricidade no Mercado Livre de Energia também estimulam a adoção de caminhões elétricos. A possibilidade de recarregar baterias durante carga e descarga e à noite otimiza sua utilização.

No Brasil, a EPE levantou a penetração de motorizações alternativas para a redução das emissões no licenciamento de novos caminhões até 2034, considerando o GNL, o gás natural comprimido (GNC), a eletrificação e a hibridização, conforme Figura 17.

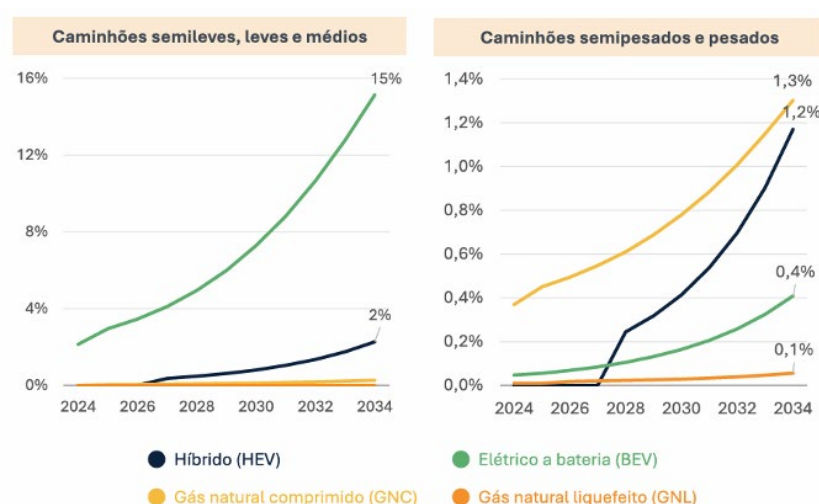


Figura 17 - Penetração de motorizações alternativas no licenciamento de novos caminhões (%) no Brasil.

Fonte: EPE (2024c).

Em um contexto de compromissos de descarbonização das empresas, há perspectiva de penetração mais acelerada de caminhões elétricos, representando 1,2% de uma frota total de 2,3 milhões unidades em 2034, especialmente na categoria de caminhões de menor porte. Já no caso de caminhões de maior capacidade, o peso das baterias e sua autonomia são desafios à disseminação da eletrificação. Quanto maior o caminhão, maior é o peso da bateria e seu custo de aquisição, junto com menor capacidade de carga e menor eficiência energética.

Portanto, a hibridização de motores é uma alternativa interessante, considerando algumas vantagens operacionais e normativas de emissão cada vez mais restritivos. Nesse contexto, pode ganhar força a penetração de comerciais leves eletrificados para o transporte de cargas, especialmente pelo menor tamanho das baterias, que reduz o custo relativo e impacto sobre o peso do veículo.

5. DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA ELETROMOBILIDADE

5.1. DESAFIOS

A transição energética continuará a mobilizar o mundo pelas próximas décadas. A corrida para cumprir os compromissos de descarbonização assumidos no Acordo de Paris até 2050 coloca os governos e países em uma rota compartilhada na busca pelas melhores e mais viáveis estratégias para o *Net Zero*. Um caminho que tem se mostrado atrativo é o da eletromobilidade. No entanto, alcançar a mobilidade elétrica em uma escala global envolve a transposição de diversas barreiras e a superação de vários desafios.

A eletromobilidade desponta como uma alternativa promissora para o futuro do transporte no Brasil, oferecendo oportunidades significativas tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Este movimento acompanha uma transição global para a redução de emissões de carbono e representa uma oportunidade única para o Brasil consolidar-se como um ator relevante na economia verde mundial.

No âmbito mundial e no contexto brasileiro, alguns dos desafios a serem considerados são:

5.1.1 PREÇO ALTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

O ritmo da transição para veículos elétricos e sua eventual massificação dependem de seus preços. Segundo o Relatório Global de Veículos Elétricos 2024 (IEA, 2024), os carros elétricos estão ficando mais baratos à medida que a competição se intensifica, particularmente na China, mas eles continuam mais caros que os carros “tradicionais”, com motores de combustão interna, em outros mercados. Dessa forma, o sucesso global e uma rápida transição para VEs exigirá trazer ao mercado modelos mais acessíveis.

O ritmo de queda do preço das baterias – componentes de custo extremamente relevante nos veículos elétricos – e as estratégias de preços dos fabricantes de automóveis serão cruciais para aumentar o acesso aos veículos elétricos.

5.1.2 INFRAESTRUTURA DE RECARGA LIMITADA

De acordo com a IEA (2024), a implementação da recarga pública precisa acompanhar as vendas de veículos elétricos. A interoperabilidade e o acesso amplo à infraestrutura de recarga pública serão necessários para uma mudança de mercado em massa para o transporte elétrico e para permitir viagens mais longas — mesmo que a maior parte da recarga continue a ocorrer em ambientes residenciais e de trabalho.

A recarga dedicada aos veículos pesados é a próxima fronteira. Embora a recarga de alta potência possa permitir a descarbonização do frete, ele também pode apresentar desafios para a rede elétrica, como flutuações na qualidade da energia ou desequilíbrios entre oferta e demanda. Esses desequilíbrios podem causar congestionamento na rede em nível local e podem afetar regiões inteiras onde há uma grande frota de veículos elétricos pesados (IEA, 2024).

Estudos indicam que 80% das recargas de veículos elétricos no Brasil são realizadas em residências, especialmente durante a noite, aproveitando o custo acessível da energia. Ainda assim, é essencial desenvolver uma infraestrutura pública de recarga para aumentar a confiança dos usuários e atender às aplicações mais intensivas, como frotas comerciais e transporte intermunicipal.

A regulamentação no país também desempenha um papel crucial. Atualmente, apenas concessionárias de energia podem oferecer serviços de recarga pública, mas a inclusão de empresas

dedicadas a esse mercado/serviço poderá ser uma alternativa para acelerar investimentos e ampliar o acesso à infraestrutura de recarga.

5.1.3 OFERTA FUTURA E RECICLAGEM DE BATERIAS

Uma barreira relevante para a eletrificação é a oferta futura de baterias, que requer investimentos em mineração e processamento custosos e intensivos em energia e emissões. Soma-se a essa barreira a possibilidade de novas preocupações geopolíticas, diante da necessidade de segurança energética e das localidades potencialmente ofertantes dos minerais estratégicos.

Além disso, a reciclagem das baterias é hoje um grande problema ambiental. Políticas públicas nesse tema terão um papel importante, como a regulamentação da rastreabilidade, qualidade, segurança e sustentabilidade das práticas de reciclagem. As regulamentações devem ser mais abrangentes para resolver os desafios existentes, notadamente no que se refere à destinação final de baterias em fim de vida útil e na melhoria dos sistemas de rastreamento e dos padrões de segurança e ambientais (IEA, 2024).

Algumas outras questões podem causar desconforto aos proprietários de veículos elétricos, como longas filas para recarregar as baterias, uma vez que a autonomia dos carros elétricos ainda é baixa e o tempo de recarga pode ser bastante alto em comparação com veículos de combustão interna.

5.1.4 IMPACTOS SOBRE A REDE ELÉTRICA

O tamanho da frota de VEs é um fator importante para sistemas de energia, com implicações para o pico de energia, a transmissão e a capacidade de distribuição das redes elétricas.

Um desafio fundamental para a implementação da infraestrutura de recarga é garantir que ela possa fornecer eletricidade segura, de baixa emissão e acessível. Os tomadores de decisão precisarão avaliar os impactos da recarga de veículos pesados na expansão e operação dos sistemas de energia e planejá-los adequadamente (IEA, 2024).

Além de questões locais, como variações na qualidade da energia, a recarga de VEs pode ter um impacto nos sistemas elétricos, principalmente por meio de desequilíbrios entre demanda e oferta, seja localmente (causando, por exemplo, congestionamento na rede) ou no sistema elétrico nacional, no caso de frotas muito grandes.

5.1.5 FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA DEPENDENTE DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Uma questão central a ser abordada quando se fala em mobilidade elétrica como uma das estratégias para descarbonização do setor de transportes é justamente a fonte primária da energia que abastece os carros. Em muitos países, a matriz energética ainda depende de centrais térmicas a combustíveis fósseis.

É bom lembrar que atualmente 64,2% da geração de eletricidade no mundo é feita com combustíveis fósseis, principalmente o carvão, com 38,2%. Ou seja, dependendo da composição da matriz elétrica de cada país, a contribuição dos carros elétricos será diferente para a redução ou eventual aumento das emissões de GEEs.

5.1.6 ADAPTAÇÃO DAS FÁBRICAS DE VEÍCULOS E DOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Segundo dados da IEA (2024), a indústria de veículos terá de ser reestruturada. Os carros a combustão exigem até 30 mil peças e componentes, enquanto os carros elétricos cerca de 250 itens. Essa disparidade poderá gerar impacto relevante sobre o setor de autopeças e sobre o mercado de trabalho.

Os postos de combustível também precisarão adaptar suas infraestruturas físicas e suas operações para acompanhar as alterações nos perfis de veículos cada vez mais elétricos e cada vez menos movidos a combustão interna.

5.2. OPORTUNIDADES

Apesar dos inúmeros desafios que devem ser enfrentados para a disseminação da eletromobidade em escala global, o cenário de ampliação do uso dos carros elétricos também traz uma série de oportunidades:

5.2.1 CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL E MELHORIA DA QUALIDADE DO AR

Os carros elétricos são vistos como uma estratégia para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, especialmente em regiões onde a matriz energética é renovável. A substituição de veículos a combustão por VEs contribui para a melhoria da qualidade do ar em áreas urbanas por meio da redução de poluentes locais, como óxidos de nitrogênio e partículas finas, componentes que impactam negativamente a saúde da população.

Do ponto de vista de sustentabilidade, a rota para a eletrificação já está pavimentada, com um benefício claro em termos de redução de emissões no ciclo de vida do veículo. Estudos mostram que, ao longo de seu ciclo de vida, os VEs emitem significativamente menos GEEs (Gases de Efeito Estufa) em comparação com veículos a combustão. No Brasil, onde a matriz energética é predominantemente limpa, a utilização de VE potencializa esse benefício.

A eletromobidade também abre caminho para a implementação de cidades inteligentes e eficientes. Veículos elétricos, integrados a sistemas de transporte público e infraestrutura conectada, podem promover soluções de mobilidade mais racionais e sustentáveis, contribuindo para a redução de congestionamentos e emissões.

Dessa forma, ao equilibrar o uso de biocombustíveis e a eletrificação da frota, o Brasil tem a chance de construir um modelo de mobilidade que seja economicamente viável e ambientalmente responsável, posicionando-se como um exemplo para outras nações.

5.2.2 GANHO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eletromobidade impulsiona inovações no setor energético. Os VEs são notavelmente mais eficientes do que seus equivalentes a combustão interna. Enquanto motores a combustão convertem apenas 20% a 35% da energia do combustível em movimento, motores elétricos atingem eficiências de até 85%.

Essa superioridade permite ao Brasil evitar o desperdício de grandes quantidades de energia, promovendo a recarga dos veículos elétricos principalmente durante a noite. Além disso, a carga noturna de VEs pode ajudar a linearizar a curva de demanda energética no país, utilizando o excesso de energia disponível fora do horário de pico e contribuindo para a redução dos custos de eletricidade.

5.2.3 AVANÇOS TECNOLÓGICOS

Melhorias na tecnologia de baterias, como o aumento da densidade energética e a redução de custos, estão tornando os VEs mais acessíveis e com maior autonomia.

A eletrificação do transporte rodoviário está abrindo oportunidades significativas para cadeias de fornecimento de baterias, inclusive em mercados emergentes. A produção de baterias tem aumentado rapidamente nos últimos anos para acompanhar o ritmo da demanda crescente. Em 2023, a fabricação de baterias atingiu 2,5 TWh, adicionando 780 GWh de capacidade em relação a 2022 (IEA, 2024). A maior parte da capacidade de fabricação anunciada permanece concentrada geograficamente nos principais mercados de VEs atuais, mas conforme os VEs e o armazenamento estacionário alcançam mercados globais e a demanda por baterias se diversifica, novas oportunidades serão criadas ao redor do mundo para produzir baterias perto dos centros de demanda.

Os carros elétricos estão se tornando mais competitivos em termos de autonomia e desempenho em comparação com veículos a combustão, além de muitos governos oferecerem incentivos fiscais, subsídios e descontos para a compra de carros elétricos.

A transição para a eletromobidade cria uma janela de oportunidade para o surgimento de uma indústria automobilística nacional moderna. No Brasil, isso inclui a produção de motores elétricos, baterias, inversores e outros componentes essenciais, criando empregos e incentivando exportações.

As parcerias com centros de pesquisa e empresas internacionais podem ser uma alternativa promissora para o desenvolvimento de tecnologias adaptadas às necessidades locais, como o uso de etanol para produzir hidrogênio. Essa abordagem pode valorizar recursos nacionais e reforçar a posição do Brasil como polo tecnológico na América Latina.

A integração de veículos à rede elétrica promoverá avanços em sistemas de armazenamento de energia, infraestrutura de recarga e gerenciamento inteligente de energia (*smart grid*) e fontes renováveis, fortalecendo o setor de energia e a competitividade da indústria automotiva brasileira.

Embora a fabricação de veículos elétricos e suas baterias gere uma pegada de carbono inicial maior em relação aos veículos a combustão interna, análises de ciclo de vida revelam que essa diferença é compensada em menos de dois anos de uso. No longo prazo, veículos elétricos produzem até 70% menos emissões de gases de efeito estufa. O Brasil, com uma matriz elétrica composta majoritariamente por fontes com baixa emissão de carbono – como hidrelétricas, solares e eólicas – está particularmente bem-posicionado para maximizar esses benefícios ambientais.

5.2.4 NOVAS OPORTUNIDADES DE NEGÓCIOS

O Brasil já experimenta um crescimento expressivo na frota de veículos elétricos. Um estudo conduzido pela consultoria Mirow & Co. em 2024 indica que o desenvolvimento desse setor pode gerar cerca de BRL 200 bilhões por ano em novos negócios a partir de 2030, criando um ecossistema robusto que inclui a fabricação de veículos, serviços de infraestrutura de recarga, fornecimento de energia e gestão operacional. O país possui vantagens competitivas naturais – como uma matriz energética predominantemente renovável e uma indústria automotiva consolidada – que podem ser alavancadas para liderar a transição global rumo a um transporte mais sustentável.

O segmento de infraestrutura de recarga pode movimentar cerca de BRL 14 bilhões anuais no Brasil até 2030. Já o aumento no consumo de eletricidade para carregar veículos, estimado em 3% da demanda nacional em 2040 (McKinsey, 2023), deve beneficiar companhias de distribuição de eletricidade, gerando um adicional de receitas de BRL 10 bilhões por ano.

Além disso, o Brasil possui vantagens competitivas significativas, como uma matriz elétrica limpa e a capacidade de produzir biocombustíveis, que podem complementar a eletrificação de frotas, especialmente em setores onde a eletrificação completa ainda é desafiadora, como no transporte rodoviário de cargas.

O momento atual oferece a possibilidade de fomentar parcerias tecnológicas. A colaboração com empresas estrangeiras, como as chinesas que adaptam tecnologias de etanol para veículos híbridos, demonstra o potencial do Brasil para alavancar suas vantagens competitivas, como a disponibilidade de biocombustíveis sustentáveis.

Em termos de incentivos, já existem fomentos governamentais implementados no país, como a redução de IPI para veículos menos poluentes e elétricos e isenção de IPVA em alguns estados e municípios. Especificamente, o Rota 2030, programa do governo federal que define regras para a indústria automotiva brasileira, tem tido papel importante no apoio ao desenvolvimento tecnológico desse segmento.

5.2.5 INTEGRAÇÃO COM ENERGIAS RENOVÁVEIS

De acordo com a IEA (2024), a recarga rápida durante o dia pode reduzir a necessidade de flexibilidade do sistema de energia à noite. Adicionalmente, a recarga diurna pode dar suporte mais direto à integração solar fotovoltaica, já que a recarga nos centros de distribuição ou em rota aumenta a demanda entre o meio-dia e a tarde, quando a produção solar fotovoltaica é alta e os preços da eletricidade são potencialmente baixos.

O Brasil tem o diferencial de ser um líder na produção de biocombustíveis. Apesar das vantagens da eletrificação, os biocombustíveis continuarão desempenhando um papel importante na transição energética do Brasil. Estudos apontam que o país pode atender até 72% da demanda por combustíveis em carros leves com etanol e outros biocombustíveis até 2030, sem desmatar nem comprometer a produção de alimentos.

Os estudos indicam que essa substituição poderia evitar a emissão de até 406 milhões de toneladas de CO₂ anualmente. No curto e médio prazo, os biocombustíveis são vistos como uma solução de transição, complementando a eletrificação, especialmente em segmentos onde os VEs ainda enfrentam desafios econômicos ou técnicos, como transporte pesado.

Essa complementação com biocombustíveis permitiria ao Brasil gerenciar o ritmo da eletrificação e o uso de fontes renováveis enquanto desenvolve sua infraestrutura e a indústria de VEs, fazendo com que a eletromobilidade no Brasil seja realizada de forma gradual e planejada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O futuro da mobilidade no Brasil se apresenta como uma rota promissora para a eletrificação dos transportes, mas também exige um planejamento cuidadoso e adaptado às singularidades do país. Com uma matriz energética predominantemente renovável e a consolidação de biocombustíveis como o etanol, o Brasil possui condições privilegiadas para liderar a transição para uma economia de baixo carbono. No entanto, a adaptação do setor de transportes enfrenta desafios significativos que vão desde questões de infraestrutura até barreiras econômicas e tecnológicas.

A eletrificação dos transportes tem se estabelecido como a principal tendência global para a descarbonização, especialmente em regiões como China, Estados Unidos e União Europeia. Essa tendência reflete não apenas a evolução tecnológica dos veículos elétricos, mas também a urgência para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEEs).

No entanto, diferentemente dessas regiões, o Brasil possui especificidades que podem permitir que sua transição à eletromobilidade seja mais suave e diversificada. Entre tais especificidades estão a menor pegada de carbono associada à matriz energética nacional e a presença do etanol como alternativa aos combustíveis fósseis que já está amplamente difundida.

A promoção da mobilidade elétrica no Brasil requer abordar quatro pilares fundamentais: incentivos aos consumidores, políticas industriais, infraestrutura de recarga e aprimoramento do sistema elétrico.

Incentivos fiscais e subsídios poderiam acelerar a adoção dessa tecnologia, enquanto parcerias entre governos e setor privado seriam fundamentais para desenvolver soluções inovadoras e reduzir custos. Investimentos consistentes em pontos de recarga e na geração de energia limpa são indispensáveis para ampliar a penetração dos veículos elétricos no mercado.

Apesar do entusiasmo em torno da eletromobilidade, é importante não desconsiderar o papel do etanol e outras soluções tecnológicas se quisermos uma transição justa e eficiente no nosso país. Afinal, o Brasil é o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar e o segundo maior produtor de biocombustíveis do mundo. Desde a introdução dos veículos flex em 2003, o uso do etanol como combustível evitou a emissão de 575 milhões de toneladas de CO₂. Esse volume representa cerca de 25% das emissões anuais de gases de efeito estufa (GEEs) do Brasil. Esse resultado evidencia a relevância do etanol como parte de uma matriz energética diversificada e reafirma a necessidade de se pensar em rotas tecnológicas – incluindo a eletrificação – adaptadas às particularidades nacionais.

Os desafios para a eletrificação no Brasil são consideráveis. As tarifas elétricas elevadas, as perdas nos sistemas de transmissão e distribuição, e a intermitência de fontes renováveis como solar e eólica são desafios que exigem soluções estruturais e políticas públicas robustas. Além disso, a dependência de usinas termelétricas para garantir a segurança energética reforça a necessidade de diversificação da matriz e de avanços tecnológicos no armazenamento de energia.

Outro obstáculo é o alto custo inicial dos veículos elétricos e a falta de infraestrutura de recarga. Ainda que as metas globais de eletrificação inspirem transformações no mercado automotivo, é improvável que a frota brasileira alcance percentuais expressivos de eletrificação antes de 2034. Projeções indicam que veículos elétricos e híbridos representarão apenas 18% dos licenciamentos de carros leves e 16% das vendas de comerciais leves e caminhões leves em 2034. Além disso, o diesel continuará predominando no segmento de caminhões pesados.

Portanto, a eletrificação deve ser vista como uma das muitas trajetórias possíveis para a descarbonização, em um contexto de soluções complementares. Políticas de incentivo ao transporte compartilhado, automação e inovações tecnológicas também poderão desempenhar papéis cruciais. A integração dessas soluções poderá reduzir as emissões do segmento de transporte em

até 80%, segundo o Institute for Transportation and Development Policy (ITDP) (Nicola, 2022).

Ao mesmo tempo, o Brasil deve preservar suas vantagens comparativas – como o uso de biocombustíveis de segunda geração – para garantir uma transição energética eficaz e economicamente viável. Essa estratégia reflete a necessidade de uma abordagem regionalizada e adaptada às especificidades de cada país, em um contexto em que não há soluções universais para a crise climática.

Em conclusão, o futuro da mobilidade no Brasil depende de uma combinação planejada envolvendo eletrificação e biocombustíveis, somada a inovações tecnológicas e modelos de negócios criativos e sustentáveis. Para que isso aconteça será fundamental garantir investimentos robustos, políticas públicas coerentes e a colaboração entre os setores público e privado.

Se essa combinação efetivamente ocorrer, o Brasil não apenas avançará em seus compromissos climáticos, mas também consolidará seu papel como líder global na transição para uma economia de baixo carbono, produzindo riqueza, postos de trabalho e arrecadação de impostos.

7. ACRÔNIMOS

2/3 Ws	Two/Three wheeler
APS	Announced Pledges Scenario
BEVs	Battery Electric Vehicles
BRT	Bus Rapid Transit
E-REVs	Extended Range Electric Vehicles
EVs	Electric Vehicles
FCEVs	Fuel Cell Electric Vehicles
GEEs	Gases de Efeito Estufa
HEVs	Híbrido Electric Vehicles
ICEVs	Internal Combustion Engine Vehicles
IEA	International Energy Agency
NZE	Net Zero Emissions by 2050 Scenario
PEVs	Plug-in Electric Vehicles
PHEVs	Plug-in Hybrid Electric Vehicles
RPEVs	Road Powered Electric Vehicles
STEPS	Stated Policies Scenario
VEs	Veículos Elétricos
VLTs	Veículos Leves sobre Trilhos

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO – ABVE. ABVE Data: Eletromobilidade. Disponível em: <https://abve.org.br/abve-data/bi-geral/>. Acesso em 11 de dezembro 2024.
- AUTOESPORTE. Gurgel Itaipu foi o primeiro carro elétrico nacional, mas morreu por problemas que existem até hoje. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/um-so-planeta/noticia/2021/04/gurgel-itaipu-foi-o-primeiro-carro-eletrico-nacional-mas-morreu-por-problemas-que-existem-ate-hoje.ghml>. Acesso em 18 de outubro 2024.
- BARAN, Renato. A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade. Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético COPPE. Disponível em: Biblioteca Digital do BNDES: A introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade. Acesso em 10 outubro 2024.
- BARAN, Renato; LEGY, Luiz Fernando Loureiro. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.33, p. 207-224, mar. 2011. Disponível em: Biblioteca Digital do BNDES: Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. Aceso em 20 de outubro 2024.
- BRAZ, Daniel Jardim; SOUSA, João Carlos Vieira de. Avaliação da mobilidade elétrica no Brasil. 2019. 69 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) — Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: Biblioteca Digital da Produção Intelectual Discente: Avaliação da mobilidade elétrica no Brasil (unb.br).
- CALSTART. Energy storage compendium: batteries for electric and hybrid heavy duty vehicles. Pasadena, CA: Calstart, mar. 2010. Disponível em: https://calstart.org/wp-content/uploads/2018/10/Energy-Storage-Compendium_Batteries-for-Electric-and-Heavy-Duty-Hybrid-Vehicles.pdf. Acesso em 13 de outubro 2024.
- CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de; FERREIRA, Tiago Toledo. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 32, p. 267-310, set. 2010. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1764>. Acesso em 12 de outubro 2024.
- CASTRO, Bernardo; BARROS, Daniel; VEIGA, Suzana. Baterias Automotivas - Panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. BNDES Setorial 37, p. 443-496, mar. 2013. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1511/3/A%20mar37_11_Baterias%20automotivas-panorama%20da%20ind%20c3%bastra%20no.pdf. Acesso em 17 de outubro 2024.
- DENG, J., BAE, C., DENLINGER, A., MILLES, T. Electric Vehicles Batteries: Requirements and Challenges, Joule 4 (2020) 511–515.
- DINGER, A. et al. Batteries for electric cars: challenges, opportunities, and the outlook to 2020. BCG, 2010. Disponível em: https://web-assets.bcg.com/img-src/BCG_Batteries_Electric_Cars_Dec_2009_small_tcm9-120284.pdf. Acesso em 13 de outubro 2024.
- EHSANI, M., GAO, Y., LONGO, S., & EBRAHIMI, K. (2018). Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429504884>
- EPE (2024a). Balanço Energético Nacional 2024: Ano base 2023 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf>. Acesso em 18 outubro 2024.
- EPE (2024b). Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034. Eletromobilidade: Transporte rodoviário. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-709/CA-EPE-DPG-SDB-2024-08_Eletromobilidade_2024.08.30%20\(1\).pdf#search=Eletromobilidade](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-709/CA-EPE-DPG-SDB-2024-08_Eletromobilidade_2024.08.30%20(1).pdf#search=Eletromobilidade) Acesso em 20 outubro 2024.
- EPE (2024c). Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034. Demanda Energética do Setor de Transportes. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-709/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Transportes_PDE%202034_2024.09.03.pdf Acesso em 08 dezembro 2024.
- FGV Energia. Carros Elétricos. Colaboração: Accenture – FGV Energia. Maio 2017, Ano 4, Nº 7. Disponível em: [caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf](#). Acesso em 10 outubro de 2024.
- FGV Energia. Novais, C. R. B. Mobilidade elétrica: desafios e oportunidades. Caderno Opinião: agosto de 2016. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/celso_novais_mobilidade_eletrica.pdf Acesso em 10 outubro 2024.
- HBVOLT. Tempo de recarga de veículos elétricos. Disponível em: Tempo de recarga de veículos elétricos | HB Volt. Acesso em 10 de outubro 2024.
- Híbrido, plug-in e elétrico: Você sabe qual é a diferença entre eles? Disponível em: <https://autopapo.com.br/blog-do-boris/hibrido-plug-in-eletrico-diferenca/>. Outubro de 2024.
- HOEKSTRA, A. E., & STEINBUCHT, M. (2020). Comparing the lifetime greenhouse gas emissions of electric cars with the emissions of cars using gasoline or diesel. Eindhoven University of Technology.
- HOYER, K. G. The History of Alternative Fuels in Transportation: The Case of electric and Hybrid Cars. Utilities Policy. S/I: Elsevier, 2008. Disponível em: The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars – ScienceDirect. Acesso em 20 de outubro 2024.
- IEA. Global EV Outlook 2024. Moving towards increased affordability. International Energy Agency,.Paris. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a9e3544b-0b12-4e15-b407-65f5c8ce1b5f/GlobalEVOutlook2024.pdf>. Acesso em 22 outubro 2024.
- IPCC (2023). Climate Change 2023. Synthesis Report: Summary for policymakers. Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> Acesso em 18 maio 2023.

- KÖNIG, A.; Nicoletti, L.; Schröder, D.; Wolff, S.; Wacław, A.; Lienkamp, M. An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles. *World Electric Vehicle Journal* 2021, 12, 21. [https://doi.org/ 10.3390/wevj12010021](https://doi.org/10.3390/wevj12010021)
- NICOLA, Luciana. Mobilidade e clima, uma questão de energia. *Mobilidade Estadão*, 1 junho 2022. Disponível em *Mobilidade e clima, uma questão de energia* | *Mobilidade Estadão* | Acesso em: 23 outubro 2024.
- SEEG (2024) Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, Observatório do Clima, acessado em 2024 Mapa de Emissões | SEEG - Sistema de Estimativa de Emissão de Gases Acesso em 20 outubro 2024.
- SOUZA, Reynaldo Barros de. Uma visão sobre o balanço de energia e desempenho em veículos híbridos. 2010. 107 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1613753>. Acesso em: 22 out. 2024.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2023, Mineral commodity summaries 2023: U.S. Geological Survey, 210 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2023>. Acesso em 21 maio 2025.
- ZHANG H, Li X, Liu X, Yan J. Enhancing fuel cell durability for fuel cell plug-in hybrid electric vehicles through strategic power management. *Appl Energy* 2019; 241:483–90. Disponível em: Enhancing fuel cell durability for fuel cell plug-in hybrid electric vehicles through strategic power management - ScienceDirect (capes.gov.br). Acesso em 22 outubro 2024.

COMO REFERENCIAR ESTE TRABALHO:

Instituto Acende Brasil (2025). Mobilidade elétrica e a transição energética: o que vem por aí?. *White Paper* 32, São Paulo. 36p.

Presidente: Claudio J. D. Sales
Diretor Executivo: Eduardo Müller Monteiro
Diretor para Assuntos Socioambientais e Sustentabilidade: Alexandre Uhlig
Diretor de Assuntos Econômicos e Regulatórios: Richard Lee Hochstetler
Projetos de P&D: Patrícia Guardabassi
Comunicação: Melissa Oliveira
Engenheiro: Joaci Lima Oliveira
Engenheiro: João Cho
Economista: Fabrício Lões
Assuntos Administrativos: Eliana Marcon

O Instituto Acende Brasil é um Centro de Estudos que desenvolve ações e projetos para aumentar o grau de Transparência e Sustentabilidade do Setor Elétrico Brasileiro.

Para alcançar este objetivo, adotamos a abordagem de Observatório do Setor Elétrico Brasileiro.

Atuar como um Observatório significa pensar e analisar o setor com lentes de longo prazo, buscando oferecer à sociedade um olhar que identifique os principais vetores e pressões econômicas, políticas e institucionais que moldam as seguintes dimensões do Setor Elétrico Brasileiro:



AGÊNCIAS
REGULADORAS



GOVERNANÇA
CORPORATIVA



IMPOSTOS E
ENCARGOS



LEILÕES



MEIO AMBIENTE
E SOCIEDADE



OFERTA DE
ENERGIA



RENTABILIDADE



TARIFA E
REGULAÇÃO

ENDEREÇO

RUA JOAQUIM FLORIANO, 466
Ed. CORPORATE • CONJ. 501 • ITAIM BIBI
CEP 04534-004 • SÃO PAULO • SP
TELEFONE: +55 (11) 3704-7733

www.acendebrazil.com.br