

Veículos elétricos no contexto da transição energética¹

Nivalde de Castro²

David Alexander³

João Pedro Burlamaqui Andrade⁴

No contexto do processo de transição energética, vinculado diretamente aos esforços globais de descarbonização, os veículos elétricos (VEs) já se consolidaram como uma realidade em diversos países, sob a liderança da China. Neste sentido, a mutação da indústria automobilística global em direção à eletrificação exige investimentos em inovações tecnológicas e políticas públicas para garantir a escalabilidade dessa nova cadeia produtiva.

Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), em 2024, cerca de 11 milhões de VEs foram registrados no mundo, englobando os modelos totalmente elétricos, híbridos plug-in e de autonomia estendida (BEV, PHEV e EREV, respectivamente). Os registros de veículos se concentram principalmente na China, na Europa e nos Estados Unidos, conforme é possível observar na Figura 1. Destaca-se, entretanto, que os dados dos Estados Unidos ainda não registram o processo de "destransição" energética do governo Trump, exceção aos esforços globais.

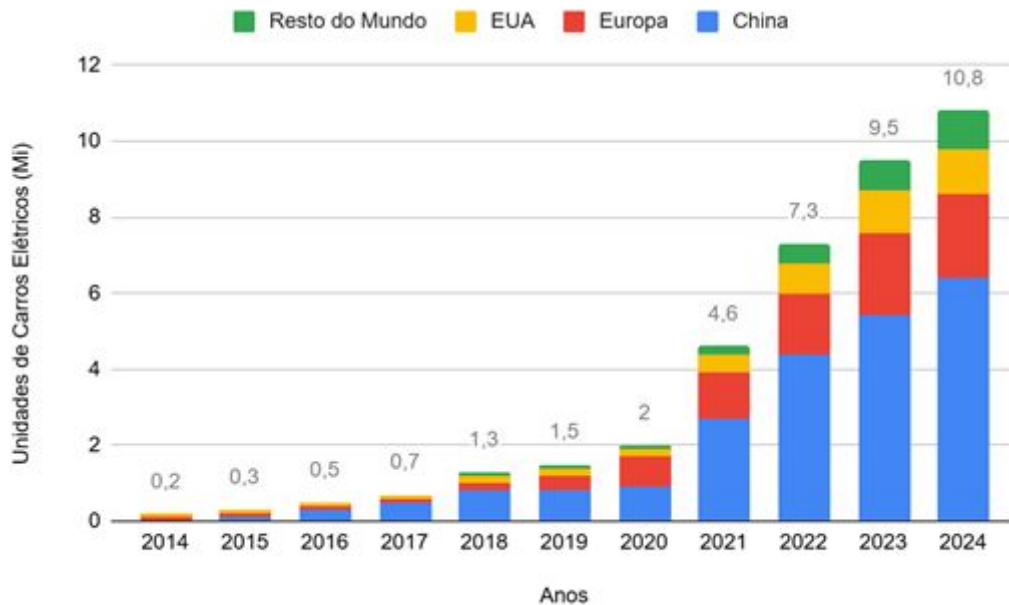
Figura 1: Registro de unidades de veículos elétricos por ano.

¹ Artigo publicado no Broadcast Energia. Disponível em: <https://energia.aebroadcast.com.br/tabs/news/746/54842109>. Acesso em: 27 de jan. 2026.

² Professor do Instituto de Economia da UFRJ e Coordenador-Geral do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL-UFRJ).

³ Pesquisador Associado do GESEL-UFRJ.

⁴ Pesquisador Associado do GESEL-UFRJ.



Fonte: Elaboração própria, com base em Global EV Outlook (AIE, 2025).

O mercado chinês apresenta o maior avanço na transformação da produção de veículos à combustão em modelos elétricos. Essa performance está associada a estratégias de desenvolvimento de políticas públicas implementadas ao longo de vários anos, com os objetivos convergentes e integrados de:

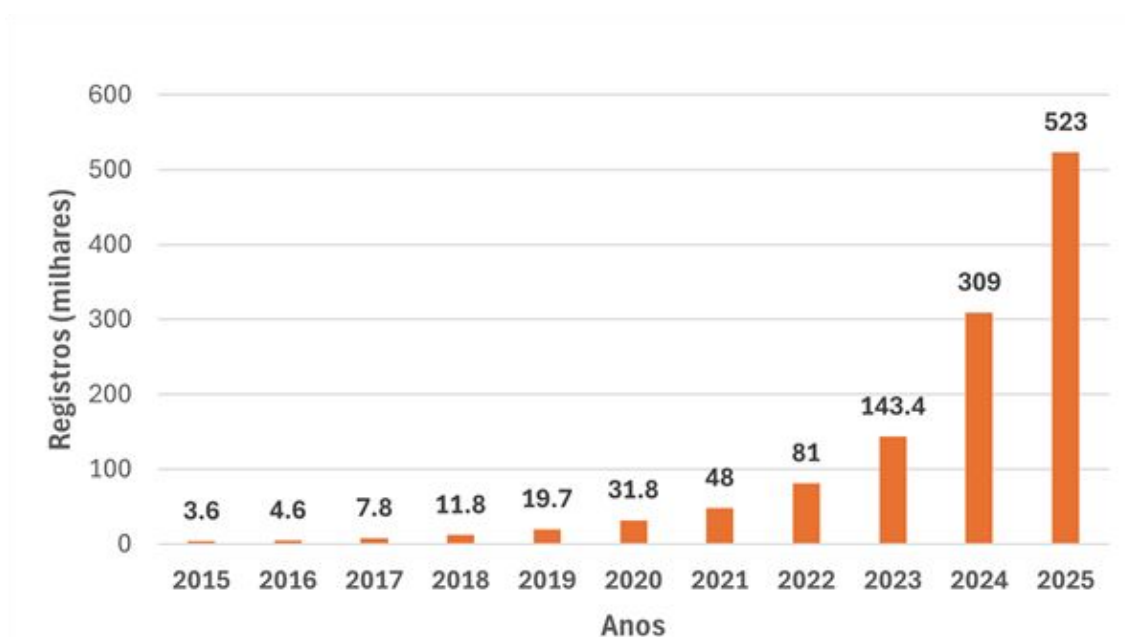
1. Reduzir a poluição em grandes centros urbanos;
2. Reduzir a dependência externa de petróleo e gás; e
3. Se posicionar como referência global na indústria de VEs, dando competitividade às exportações chinesas.

A União Europeia tem como vetores do desenvolvimento da indústria de VEs a necessidade de aumento da segurança energética, ainda mais acirrada com a Guerra de Ucrânia, e o avanço de um conjunto de políticas públicas relacionada às metas de descarbonização, como o pacote Fit for 55, incentivos fiscais e restrições progressivas à venda de veículos à combustão.

Nos Estados Unidos, as políticas de incentivos fiscais para o desenvolvimento de uma nova cadeia produtiva de VEs aceleraram as vendas desses modelos nos últimos anos. Esse cenário, no entanto, está sendo totalmente revertido à medida que novas diretrizes regulatórias e energéticas, voltadas ao fortalecimento da indústria do petróleo, estão sendo implementadas pelo governo Trump.

No contexto brasileiro, considerando os veículos híbridos e exclusivamente elétricos, a Figura 2 apresenta a evolução dos registros segundo dados do Ministério dos Transportes, de 2015 até outubro de 2025.

Figura 2: Evolução dos registros de veículos elétricos e híbridos no Brasil: 2015-2025



Fonte: Base de dados do Ministério dos Transportes (2025).

Observa-se um crescimento expressivo no número de registros principalmente a partir de 2023, com um aumento de cerca de 115,6% para 2024 e de 69,3% daquele ano para 2025. Essa tendência, que deverá ser mantida nos próximos anos, reforça claramente a necessidade de estudos e avaliações técnicas que permitam identificar os efeitos da eletromobilidade sobre o sistema elétrico e a infraestrutura urbana, bem como antecipar possíveis políticas públicas para sustentar esse crescimento de maneira mais harmônica. Assim, este artigo está centrado em analisar a eletromobilidade sob duas perspectivas distintas: (i) impactos na curva de carga no sistema elétrico; e (ii) impactos ambientais nas fases do ciclo de vida dos VEs.

Para o setor elétrico, a expansão dos VEs tende a influenciar, de maneira significativa, variáveis associadas à curva de carga, acompanhadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O aumento da geração eólica e principalmente solar durante o dia e a sua redução ao entardecer determinam rampas de carga, em função do descompasso da oferta, que se reduz, enquanto a demanda por energia elétrica cresce ao anoitecer. Sob a mesma ótica, o crescimento da frota de VEs tende a acentuar as rampas de carga, uma vez que, de acordo com as experiências internacionais, a maioria do carregamento dos VEs ocorre ao final do dia e início da noite, tornando a demanda de potência das rampas ainda maior.

Nesse contexto, soluções de sistemas de armazenamento tornam-se cada vez mais necessárias, tendo em vista a sua capacidade deslocar temporalmente o equilíbrio entre oferta e demanda, possibilitando a injeção de energia na rede

em momentos de necessidade, como para atender à demanda adicional da rampa de carga oriunda do carregamento dos VEs. Assim, considerando o cenário de crescentes excedentes energéticos, que resultam em curtailment, o armazenamento se mostra fundamental tanto para a flexibilização operacional quanto para a integração eficiente da mobilidade elétrica ao sistema elétrico brasileiro.

Destaca-se que um passo importante na direção do uso em larga escala de tecnologias de armazenamento foi feito com a publicação da Lei nº 15.269/2025, que estabelece as diretrizes para a regulamentação de sistemas de armazenamento de energia elétrica químicos e hidráulicos, atribuindo a sua regulação e fiscalização à Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

Do ponto de vista ambiental, a avaliação do ciclo de vida dos VEs revela aspectos relevantes, considerando que o setor de transportes é mundialmente o segundo maior em emissões de gases efeito estufa, responsável por cerca de 9 bilhões de toneladas das emissões globais em 2023 (Statista, 2025) e o crescimento de veículos elétricos se apoia na promessa da "emissão zero".

A avaliação do ciclo de vida, que analisa os impactos ambientais de um produto desde a sua fabricação até o descarte, demonstra que a produção das baterias dos VEs concentra grande parte da sua pegada de carbono. Portanto, apesar de representar uma solução relevante do ponto de vista ambiental, os VEs estão longe de ser um "passe livre" climático.

A fim de melhor ilustrar os principais impactos ambientais nas fases do ciclo de vida dos VEs, a análise a seguir está dividida em produção, vida útil e fim de vida. Na fase de produção, a balança ambiental pende desfavoravelmente para os VEs, tendo em vista o maior uso de matérias-primas, em especial dos metais raros, necessários para a fabricação de baterias, motores e componentes eletrônicos.

Ilustrando essa questão, a Tabela 1 apresenta uma comparação do consumo de matérias-primas na produção de veículos à combustão e VEs, com destaque para o volume de lítio e cobalto na fase de produção. Observa-se que, com a extração de lítio, há um uso intensivo de água, enquanto no processo de obtenção do cobalto, há indicações de condições precárias e questões humanitárias em países produtores, como no Congo.

Tabela 1: Comparação do consumo de matérias-primas na produção de veículo à combustão e veículo elétrico.

Matéria-Prima	Veículo à Combustão (Gasolina) (kg/veículo)	Veículo Elétrico (BEV) (kg/veículo)
Alumínio	78,34	200,00
Cobre	15,38	150,00

Lítio	0,005	7,71
Cobalto	0,008	9,33

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Aoyague (2024), com base em dados de Ortego et al. (2020).

Durante a fase de vida útil, a pegada de carbono é completamente revertida e a magnitude da descarbonização depende da matriz energética associada à mobilidade elétrica. Nesse contexto, se a recarga do VE ocorre em sistemas cuja base da matriz é proveniente de combustíveis fósseis, há o aumento das emissões. Portanto, a fase de vida útil não pode ser considerada, automaticamente, como de zero emissões. Nessa fase, transfere-se a responsabilidade da descarbonização para a matriz energética, o que exige políticas coordenadas entre os setores de transporte e energia elétrica, como já desenvolvidas pela União Europeia e pela China, com o aumento crescente da participação das fontes renováveis na produção de energia elétrica.

Por fim, na fase de fim de vida, os desafios estão centrados na reciclagem das baterias. Relatórios recentes da AIE e da Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA) indicam que o volume de baterias aposentadas deve crescer muito nos próximos anos, ultrapassando 1 milhão de toneladas por ano já antes de 2035. Embora cerca de 95% dos materiais críticos de baterias (como níquel, lítio e cobalto) sejam tecnicamente recicláveis, a capacidade global instalada de reciclagem ainda está muito aquém da demanda futura. Projeções indicam que, em 2030, a demanda de reciclagem das baterias girará em torno de 2,5 terawatts-hora (TWh), enquanto a capacidade de reciclagem será da ordem de 1,5 TWh, totalizando um déficit de aproximadamente 1 TWh. Para fins de comparação, em 2024 o déficit foi de cerca de 0,5 TWh (AIE, 2024).