



# Descarbonização do Transporte: A Rota para a Eletrificação

01

Autor: Márcio de Almeida D'Agosto  
Edição: Juliana Gomes Martins

## Eletrificação ⚡

A eletrificação do transporte rodoviário de passageiros e de cargas é um importante direcionador da redução do consumo de energia (renovável ou não), das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e de poluentes atmosféricos (PA) de ação local, com benefícios mais abrangentes nas cidades, onde se concentra a maior parte da população nacional (global).

1- <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/inmetro-publica-terceira-atualizacao-da-tabela-do-programa-de-etiquetagem-veicular-pbev-de-2024>  
2- <https://plvb.org.br/produtos/guias/> e [https://ibts.eco.br/src/uploads/2019/11/relat\\_ltc\\_onibusbev.pdf](https://ibts.eco.br/src/uploads/2019/11/relat_ltc_onibusbev.pdf)

## Eficiência Energética ↗

Para automóveis de uso individual, o sistema de propulsão elétrica é, em média, 3 vezes mais eficiente que o convencional (vide Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular do Inmetro) em termos de consumo de energia. Sua utilização em operações em tráfego urbano (anda-e-para) ampliam a possibilidade de regeneração da energia cinética, ampliando ainda mais a eficiência energética do conjunto. No caso de caminhões e ônibus este benefício tende a ser maior (4 a 5 vezes mais eficientes), mas isso pode variar bastante, em função do regime de operação, do perfil de condução e da lotação do veículo.

## Custo

Atualmente, para a maior parte das categorias, um veículo elétrico ainda é significativamente mais caro que um convencional. Para o caso dos automóveis, pode haver até similaridade em algumas categorias de veículo, porém, ônibus e caminhões elétricos podem ser até 2 vezes mais caros que os convencionais. Deste valor, entre 40% e 60% dizem respeito a bateria.

## Incerteza Tecnológica

Por outro lado, por ser uma tecnologia cuja curva de substituição teve início recente (menos de 10 anos) e está na transição entre introdução e crescimento, há ainda muita incerteza quanto a vida útil econômica dos veículos, seu valor de revenda, confiabilidade operacional e economia com despesas de manutenção.

## Aplicações Intensivas

Neste contexto, por se tratar de um ativo com investimento inicial relativamente caro, as melhores aplicações seriam para serviços que exijam uso intenso e contínuo, como transporte público urbano coletivo (ônibus) ou individual (taxis), aplicativos e transporte urbano de carga.

## Estratégia Urbana

Assim sendo, entende-se que uma estratégia de eletrificação do transporte rodoviário deveria privilegiar operações urbanas, regulares, com intervalo de quilometragem diária compatível com a autonomia oferecida por um pacote de baterias que garantisse o nível de serviço desejado sem encarecer excessivamente o investimento inicial no ativo. De Abreu et al (2023)<sup>a</sup> sugerem o uso de um procedimento denominado Action Plan Focused on Electric Mobility (APOEM) que estabelece uma sequência de passos com esta lógica para implantação de uma frota de veículos elétricos em uma cidade de médio porte no Brasil.

A adoção da lógica sugerida pelo APOEM se justifica por uma série de considerações:

- 1) O uso de ativos relativamente mais caros em serviços que exijam uso intenso e contínuo permite que o maior investimento inicial seja amortizado de forma mais rápida se considerada a maior eficiência energética do veículo elétrico dado um determinado preço para compra de energia elétrica e a possibilidade de um menor custo de manutenção ao longo da vida útil econômica;

2) Os ônibus urbanos representam apenas 1% da frota circulante do modo rodoviário, porém são responsáveis por metade (50%) da atividade de transporte de passageiros e 10% da demanda de energia;

3) Os caminhões utilizados no transporte urbano de carga (TUC) representam apenas 1 % da frota circulante e cerca de 10% da atividade de transporte de carga e do consumo de energia;

4) Ao longo dos últimos 10 anos, a frota de ônibus urbanos e caminhões utilizados no TUC consumiram aproximadamente a mesma quantidade de energia (diesel);

5) A frota de ônibus urbanos e caminhões utilizados no TUC prestam um serviço que abrangem uma parcela muito significativa da sociedade (se comparados, por exemplo, ao transporte individual – automóvel particular), distribuindo melhor os benefícios da introdução desta tecnologia.

## Desperdício energético



Deve-se destacar ainda que o uso de automóveis individuais, em particular com a tendência crescente de adotar os SUV (sport utility vans), está agravando o desperdício de energia no transporte. Uma viagem urbana em um SUV com apenas o motorista consome energia equivalente a uma viagem de avião (Figura 1).

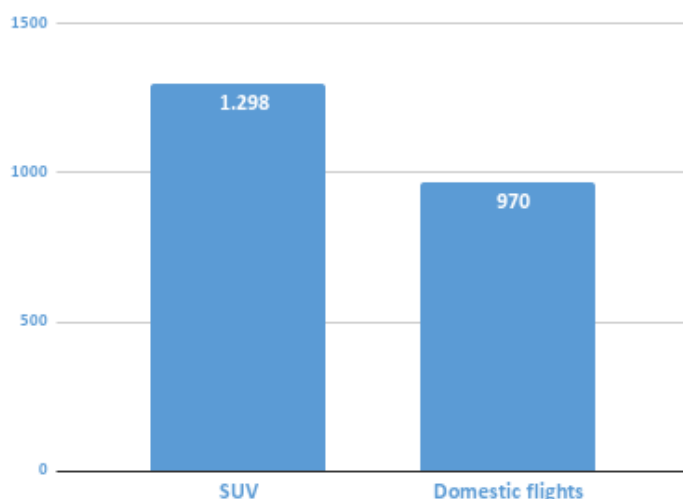


Figura 1. Viagens aéreas urbanas.

Nota:

Valores em kJ/pass.km, considerando o PBEV para os SUV e a média ponderada das vendas dos 5 SUVs mais vendidos em 2022 (Tracker, T-cross, Compass, Creta e Renegade). Os dados do transporte aéreo foram tirados de Gonçalves (2022)<sup>b</sup> em média para o período de 2015 a 2019 para vôos domésticos.

## Riscos Infraestruturais

Além das incertezas já apresentadas quanto à introdução de veículos elétricos na frota de automóveis nacionais, entende-se que existam riscos adicionais, em particular se isso ocorrer de forma acelerada. Tais riscos estão associados a relação oferta x demanda de energia elétrica e disponibilidade de infraestrutura de recarga (rede). O risco de inadequação infraestrutural se agrava caso haja uma aceleração intensa na introdução de automóveis elétricos que exigiriam um espalhamento e uma capilaridade da infraestrutura de recarga, com custos potencialmente elevados e risco de subutilização. Por outro lado, este risco não parece ser tão grande se a estratégia for priorizar a eletrificação de frotas de ônibus e caminhões urbanos, uma vez que seria possível planejar a expansão da rede de distribuição de energia para locais bem definidos (garagens das frotas), reduzindo o espalhamento dos pontos de recarga, porém induzindo a capilaridade do serviço.

## Viabilidade Energética

Estudos realizados pela COPPE/UFRJ no sentido de avaliar cenários arrojados de descarbonização das atividades econômicas nacionais, dentre as quais o transporte, e subsidiar o Brasil no atendimento de suas NDC, demonstram que a relação oferta x demanda de energia elétrica para atender a uma projeção planejada da introdução de veículos elétricos não parece comprometer a oferta de energia elétrica.

## Projeção Sustentável

Projeções para 2050 que consideram uma participação na frota nacional de 40% de automóveis híbridos elétricos e elétricos a bateria e 10% da frota de veículos pesados (ônibus urbanos e caminhões semi-leves, leves e parte dos médios) a bateria (Figura 2), levariam a uma participação de 10% no consumo de energia pelo transporte (usos industriais, comerciais e residenciais responderiam, cada um deles por 20%, o dobro da demanda de transporte) (Figura 3). No total, esta energia poderia ser atendida sem comprometer áreas protegidas (Figura 4).



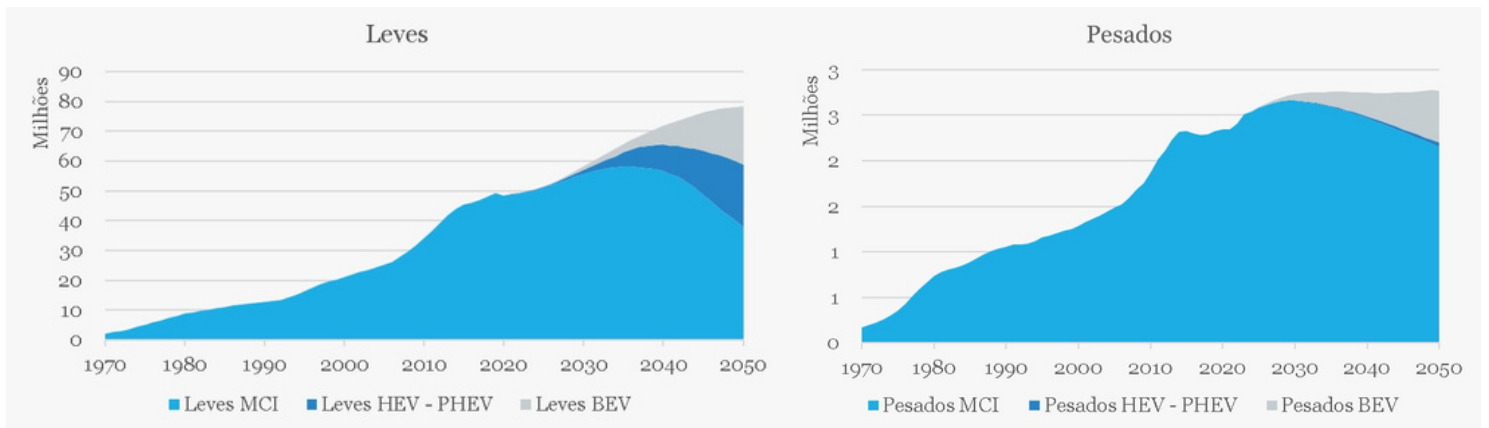


Figura 2. Composição da frota em um cenário arrojado de descarbonização.

Legenda: Leves MCI - veículos leves com motor de combustão interna, Leves HEV - veículos leves híbridos elétricos, PHEV - veículos híbridos elétricos plug in, Leves BEV - veículos leves elétricos a bateria, Pesados MCI - veículos pesados com motor de combustão interna, Pesados HEV - veículos pesados híbridos elétricos, PHEV - veículos híbridos elétricos plug in, Pesados BEV - veículos pesados elétricos a bateria.

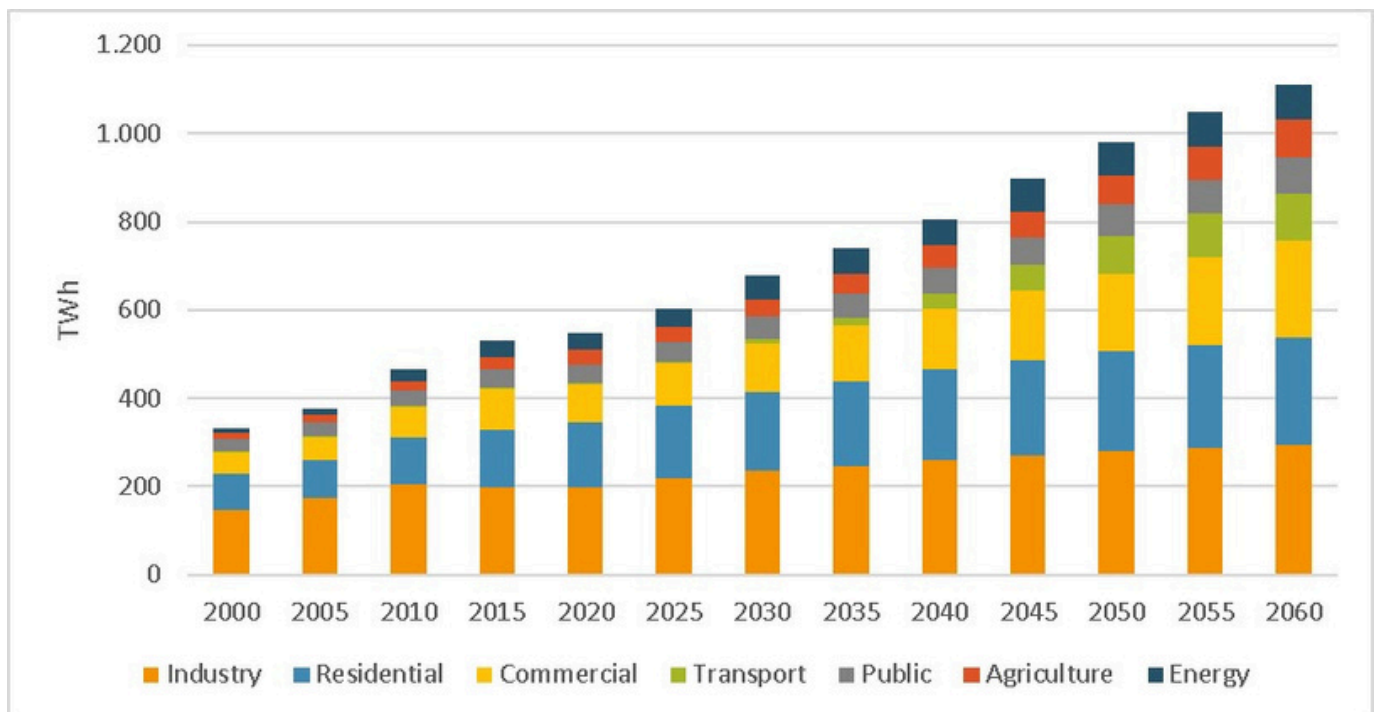


Figura 3. Participação do transporte no uso de energia elétrica.

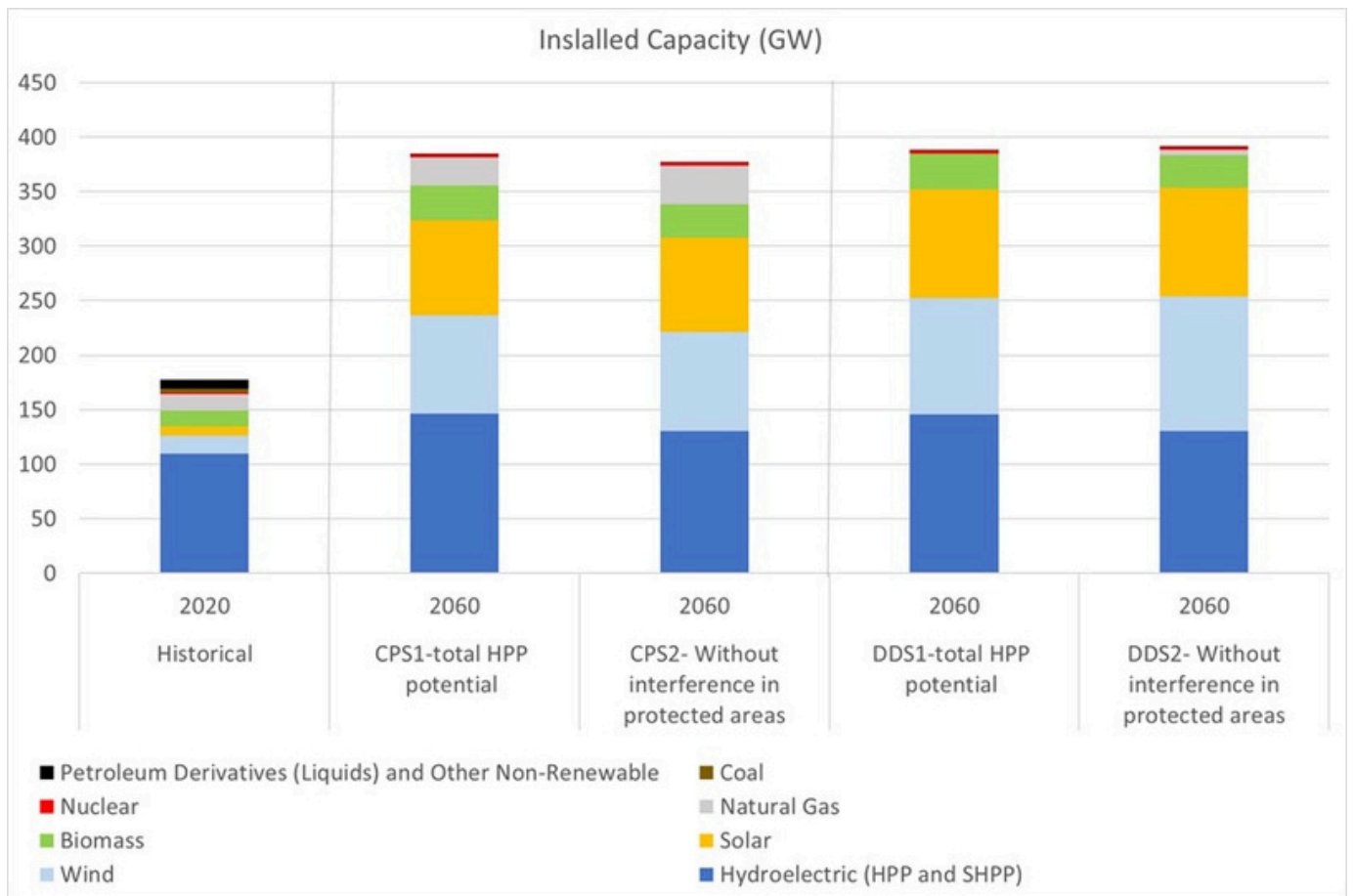


Figura 4. Capacidade instalada.

## Cenário de Descarbonização

Tudo leva a crer que mesmo em um cenário arrojado de descarbonização dos transportes, com um percentual significativo de introdução de veículos rodoviários elétricos os principais riscos infraestruturais não estariam na oferta de energia e sim na distribuição, em particular se houver uma aceleração na eletrificação de automóveis individuais.

### Referências

Victor Hugo Souza De Abreu, Márcio de Almeida D'Agosto, Ana Carolina Maia Angelo, Lino Guimarães Marujo e Pedro José Pires Carneiro. Action Plan Focused on Electric Mobility (APOEM): A Tool for Assessment of the Potential Environmental Benefits of Urban Mobility. Sustainability 2023, 15, 10218. <https://doi.org/10.3390/su151310218>.

Daniel Neves Schmitz Gonçalves, ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS PROSPECTIVOS PARA O USO DE ENERGIA E PARA EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SETOR DE TRANSPORTES BRASILEIRO - UMA ABORDAGEM MULTINÍVEL, Tese de Doutorado, Programa de Engenharia de Transporte, COPPE/UFRJ, 2022.