



MTempo

SUMÁRIO EXECUTIVO

# TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS MAIS EFICIENTES PARA A DESCARBONIZAÇÃO DA MOBILIDADE

Estudo elaborado por LCA Consultores e MTempo Capital

O enfrentamento da emergência climática por meio da implementação das metas ambientais de descarbonização constitui o desafio contemporâneo mais crítico para a humanidade. Ao se tornar signatário do acordo de Paris, o Brasil adotou o compromisso ambicioso de redução das suas emissões de gases de efeito estufa (GEEs) em 37% em 2025, com uma contribuição indicativa de redução adicional das emissões de 43% em 2030, ambas em relação aos valores estimados para 2005. Posteriormente, o país ampliou seu compromisso para reduções das emissões de GEEs de 48% em 2025 e 53% em 2030, também em relação aos níveis vigentes em 2005.

O Brasil, país de renda-média cuja trajetória de desenvolvimento foi interrompida na última década, precisa urgentemente retomar sua agenda de desenvolvimento simultaneamente ao enfrentamento dos grandes desafios ambientais. Felizmente, nosso país reúne condições especiais e únicas de dar respostas efetivas a tais desafios - dada a biodiversidade de seus biomas, a abundância de recursos naturais e seu enorme potencial para energias renováveis.

Por isso, pode ser protagonista e exemplo pioneiro de descarbonização de sua economia. Para tanto, terá que capturar e desenvolver competitivamente as novas oportunidades emergentes em energias renováveis e em bioeconomia. A rápida descarbonização da mobilidade automotiva, como veremos, se empreendida com equilíbrio e sabedoria, pode harmonizar o avanço de novas rotas tecnológicas com sustentação e criação de empregos e renda – conciliando os objetivos sociais, ambientais, econômicos e tecnológicos

Dentre os diversos setores intensivos em carbono, o setor de transportes representa uma fração relevante das emissões de CO<sub>2</sub>: no caso brasileiro, o setor contribuiu com 13% do total das emissões de CO<sub>2</sub> em 2018, em contraposição à média de 17% observada para o conjunto dos países com maiores emissões totais (Estados Unidos, China, União Europeia e Índia).

O objetivo global de zerar as emissões líquidas de CO<sub>2</sub> até 2050 tem motivado a adoção de medidas e ações de política pública por parte dos principais governos nacionais com o objetivo de incentivar rotas tecnológicas sustentáveis e de baixo carbono. O redirecionamento do atual modelo centrado nos motores à combustão em direção à eletrificação vem mobilizando substancial apoio de recursos públicos e subsídios por parte dos principais países, e irá demandar uma longa jornada para alcançar o objetivo almejado. A opção pela eletrificação, principalmente no caso do Estados Unidos, Europa e China, somente será bem-sucedida caso haja também uma transição simultânea das suas respectivas matrizes energéticas e elétricas.

Por este enfoque, o Brasil possui vantagens comparativas extraordinárias. As matrizes energética e elétrica brasileiras são, majoritariamente, limpas e compostas em grande parte por energia renovável. Além disso, já desenvolvemos, há décadas, alternativas efetivas de descarbonização veicular por meio de biocombustíveis, destacadamente o etanol.

A principal razão para as emissões brasileiras do setor de transporte serem proporcionalmente mais baixas decorre do fato da frota de veículos leves deter alta proporção de motor flexfuel, que opera com a utilização de gasolina e etanol. Os veículos leves flex representam o maior percentual de vendas do mercado nacional, com mais de 83% dos licenciamentos no período 2021-23. Adicionalmente, o desenvolvimento dessa cadeia permitiu a criação de setores industriais e agrícolas sólidos e sofisticados, detentores de tecnologia própria, indutora de valor adicionado e empregos locais.

Por outro lado, a utilização de biocombustíveis em veículos pesados tem sido bem menos relevante, restrita à mistura de biodiesel ao diesel e ainda em proporções relativamente limitadas. Dado que o transporte de cargas no Brasil é majoritariamente dominado pelo modal rodoviário (70% do transporte de cargas em 2021) e que cerca de 95% deste transporte é com base no diesel, torna-se urgente priorizar e acelerar a descarbonização neste segmento.

## **Cadeia automotiva: incentivos governamentais e eletrificação nos países avançados**

O conjunto do setor automotivo representou, entre 2010 e 2021, em média, 2,8% do valor adicionado total da economia brasileira, sendo responsável pela ocupação de mais de 3 milhões de postos de trabalho. Durante o mesmo período, a arrecadação de impostos do setor girou em torno dos R\$80 bilhões de reais ao ano. Tais dados corroboram a inegável relevância econômica e social do setor.

Segundo dados da Anfavea, a frota de veículos leves brasileira ultrapassa os 43 milhões de veículos. Em 2023, os licenciamentos neste segmento totalizaram mais de 2,18 milhões de veículos, com 83% deles sendo veículos flex; 9,9% a diesel; 2,8% a gasolina e 4,3% de veículos eletrificados (híbridos e flex). Além disso, há mais 2,4 milhões de veículos pesados (caminhões e ônibus) na frota total; as vendas de novos caminhões e ônibus em 2023 atingiram mais de 128 mil unidades, dentre os quais 99,5% de veículos a diesel, 0,4% de veículos elétricos e 0,1% de veículos a gás.

Em contraste com países como Noruega, Estados Unidos, Alemanha e China, nos quais a eletrificação veicular vem avançando celeremente, no Brasil este processo ainda é incipiente, apesar de forte crescimento recente. China lidera com folga a produção e a cadeia produtiva de baterias e de veículos elétricos, sobretudo BEV; EUA e U.E. vêm buscando diminuir essa desvantagem por meio do fomento à inovação tecnológica, à produção local, à instalação de infraestrutura de recarga e por meio de diversos programas de incentivo à compra de veículos elétricos por parte da sociedade, numa gama bastante ampla de programas baseados em subsídios substanciais.

Em razão desses condicionantes e incentivos, tem sido notável o avanço da eletrificação das frotas de veículos leves nestes países: a participação de veículos elétricos nas vendas totais no mundo saltou de 9% em 2021 para 14% em 2022. A China domina essa tendência, contribuindo com quase 60% dos novos licenciamentos. Esse crescimento pujante é fruto de quase uma década de políticas públicas para os “early adopters”. A Europa é o segundo maior mercado de elétricos, contribuindo com 25% das vendas globais, com destaque para Noruega, Suécia, Holanda e Alemanha. Nos EUA, as vendas de veículos leves eletrificados representaram cerca de 8% do total em 2022.

À medida em que ganham fatias de mercado de forma acelerada, os carros elétricos deslocam a demanda por veículos à combustão e modificam as estruturas de mercado prevalentes. A rápida expansão depende da criação de uma ampla infraestrutura de recarga de baterias e demanda significativa imobilização de capital adicional, com acréscimo à demanda por energia elétrica renovável – ainda um gargalo relevante para boa parte dos países mais avançados, cujas matrizes elétricas ainda dependem muito de combustíveis fósseis: China obtém cerca de 61% da sua eletricidade por meio do carvão; gás e carvão representam 58% da produção de eletricidade nos EUA e 42% na Europa.

Neste contexto, o principal vetor a impulsionar a eletrificação na Europa e Estados Unidos tem sido a combinação de incentivos fiscais com tratamento regulatório favorecido. A tabela abaixo compila e categoriza políticas públicas adotadas por uma gama destes países:

Tabela 1 – Políticas por categorias em diferentes países

Categoria	Política	Noruega	Estados Unidos	Canadá	China	Japão	Holanda
Econômicas-fiscais e financeiras	Redução de imposto de registro <sup>a</sup>	✓	✗	✗	✓	✓	✓
	Redução de imposto de compra <sup>b</sup>	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
	Redução no licenciamento anual	✓	✓	✗	-	✗	✓✓
	Redução de imposto de carros empresariais	-	✗	✗	✗	✗	✓✓
	Tributação por emissão de carbono	✓✓	✗	✓✓	✗	✗	✓
	Aumento do imposto de circulação de MCI	✗	-	-	✗	✗	✗
	Redução do seguro	✗	✗	✗	-	✗	✗
Regulatórias	Mandato de veículo com emissão zero	✗	✓✓	✓✓	✗	✓	✗
	Isonção de tributação de teste de emissão de gases	✗	✓	-	✗	✗	✗
	Frota governamental	✗	✓	✗	✗	✗	✗
Infraestrutura de recarga	Suporte financeiro para estações de recarga	✓	✓✓	-	✓	✓	✓✓
	Estação de recarga rápida	✓	✗	✗	✗	✗	✓
	Regulamentação predial	✗	✗	✓	✗	✗	✗
Planejamento urbano e de transportes	Acesso a faixa de ônibus e HOV	✓✓	✓	-	✓	✗	✓
	Redução em estacionamento	✓	-	✗	✓	✓	✓
	Redução de pedágio	✓✓	-	✗	-	✓	✓

Fonte: Cepal (2020)<sup>1</sup>. Elaborado: LCA Consultores

**Nota:** ✓✓ alto impacto, ✓ baixo impacto, - sem impacto, ✗ não avaliado.

<sup>a</sup> Imposto para registrar o veículo na região (estado/país) de domicílio do proprietário.

No Brasil, é conhecido como taxa de emplacamento. <sup>b</sup> inclui descontos, taxas de crédito e isenções.

## Medidas da descarbonização

A metodologia de mensuração das emissões de gases de efeito estufa e outros é de suma relevância para a correta avaliação, diagnóstico e debate regulatório sobre o tema. A literatura especializada tem destacado a importância de examinar integralmente o **ciclo de vida do produto**, desde a extração dos minérios utilizados em toda cadeia, passando pela fabricação de todos os componentes e do próprio veículo, geração e consumo de energia, uso da terra para a produção de biocombustíveis, até o descarte adequado dos produtos e materiais embarcados.

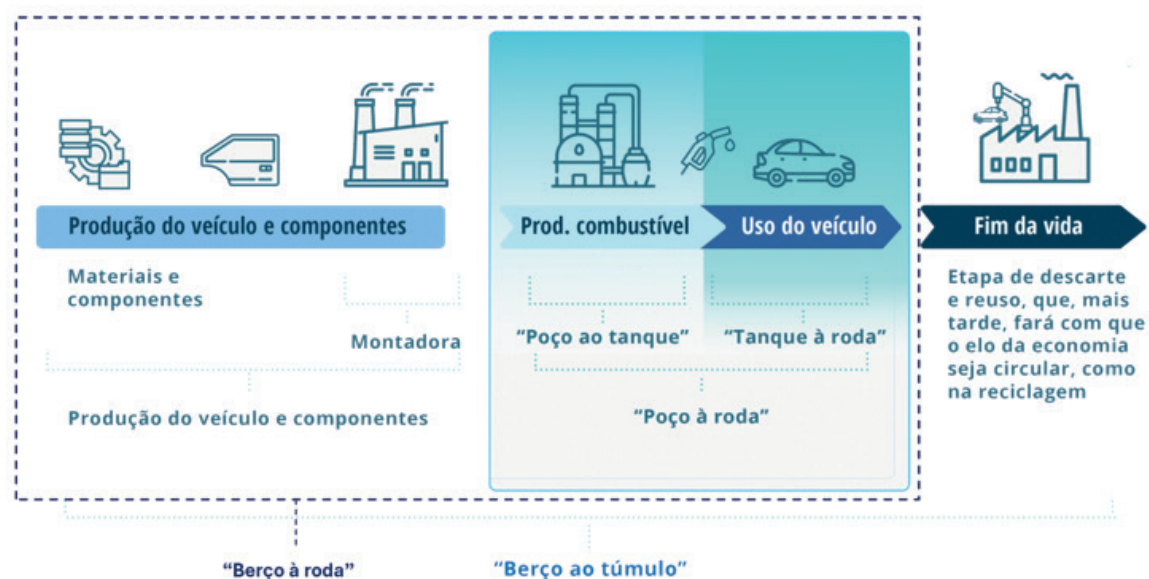
As metodologias de ciclo de vida mais utilizadas na avaliação do desempenho dos veículos podem ser segmentadas em: do berço ao túmulo (cradle to grave), mais completo; do poço ao tanque, que analisa apenas as emissões geradas durante o processo de produção da energia ou dos combustíveis; e do tanque à roda, que mensura as emissões no escapamento, durante a utilização do veículo. Pode-se combinar as etapas de poço ao tanque e tanque à roda, formando o conceito de poço à roda (well to wheel).

A abordagem do **poço à roda** não engloba, portanto, etapas relevantes como a cadeia de fabricação dos veículos e de seus principais componentes. Há evidência que a principal diferença no âmbito das emissões entre os veículos elétricos e a combustão reside no processo de produção das baterias, bastante intensivo em combustíveis fósseis. Desta forma, para os veículos elétricos, as emissões de CO<sub>2</sub> variam de zero (tanque à roda) a 13,3 gCO<sub>2</sub>/Km (poço à roda). Quando se consideram as emissões num conceito mais amplo (berço à roda, uma adaptação do conceito “berço ao túmulo” deixando de lado a etapa do descarte/reciclagem para a qual não há informações) chega-se a perto de 100 gCO<sub>2</sub>/Km, tendo em vista que a cadeia de manufatura das baterias é intensiva em emissões de gases de efeito estufa, sobretudo onde são fabricadas atualmente (forte concentração na China).

Consideramos que a abordagem de ciclo de vida completo, do **berço ao túmulo**, medindo a pegada de carbono desde a exploração de minerais para a produção das baterias e de outras peças do veículo até o descarte dos materiais embarcados, **é a metodologia mais apropriada para se medir as emissões**, pois todas as etapas relevantes são levadas em conta. Por se tratar de algo relativamente novo, esta metodologia ainda não está consolidada, seja pela variabilidade dos resultados obtidos em estudos recentes, seja pela ausência de alguns parâmetros (como o descarte ou reciclagem de baterias).

Em síntese, a figura abaixo ilustra os conceitos:

**Figura 1 – Metodologias de ciclo de vida**



Fonte: UNICA com edição LCA Consultores

A título de comparação, as tabelas a seguir apresentam os resultados estimados das emissões de gramas de CO<sub>2</sub>eq/km dos diversos modelos de propulsão de veículos leves vigentes no mercado nacional, por meio do racional de cálculo do "poço à roda" – seguindo a metodologia da AEA<sup>2</sup> – acrescidos dos resultados calculados pelo estudo de Gauto et. al com o conceito do "berço à roda".

**Tabela 2 – Emissões gCO<sub>2</sub>/km – "Poço à roda"**

Flex	Gasolina C	Diesel	HEV (Flex)	Elétrico
91,0	143,4	202,8	75,4	13,3

Fonte: LCA Consultores.

Nota 1: Os cálculos foram baseados em dados do PBEV 2023 (Inmetro) utilizando veículos representativos, AEA – Cartilha do poço à roda veículos leves e EPE (2022). Nota técnica

"Descarbonização do Setor de Transporte Rodoviário – Intensidade de carbono das fontes de energia".

**Tabela 3 – Emissões gCO<sub>2</sub>/km – “Berço à roda”**

Flex (E100)	Gasolina A	Híbrido (E100)	Elétrico
120,9	269,3	77,5	104,8

Fonte: Gauto et. al. (2022). Elaborado: LCA Consultores.

Nota 1: O referido estudo calculou as emissões dos veículos flex e híbrido utilizando apenas etanol.

## As rotas tecnológicas: biocombustíveis

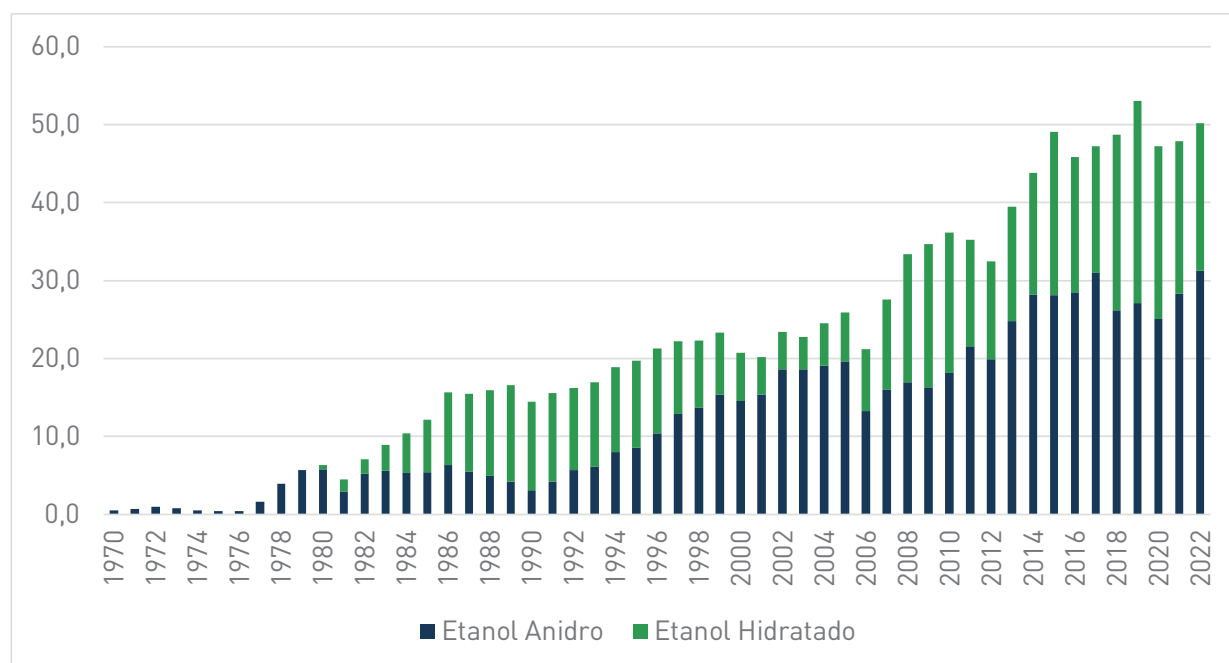
A produção de biocombustíveis no Brasil remonta à década de 1970, com políticas que visavam a uma maior independência energética ao incentivar a substituição da gasolina pelo álcool como combustível veicular por meio de mandatos (mistura de etanol à gasolina e de biodiesel ao diesel) e de incentivos à produção de veículos movidos a etanol com o objetivo de reduzir a exposição do Brasil aos altos preços dos derivados do petróleo e mitigar seus efeitos sobre a inflação.

Assim, demanda e produção de etanol cresceram rapidamente no Brasil ao longo das décadas de 1980's e 1990's e alçaram novo patamar a partir de 2003, com o lançamento do motor flexfuel. Segundo a Anfavea<sup>3</sup>, a tecnologia flexfuel estava presente em 80% dos veículos leves comercializados no Brasil já em 2005 e, nos anos mais recentes, anos mais recentes, respondeu por cerca de 83% dos licenciamentos de veículos leves. O impacto positivo nas emissões de CO<sub>2</sub> em razão do aumento da utilização do etanol é substancial (vide gráfico abaixo).

<sup>3</sup>Fonte: <https://anfavea.com.br/site/o-que-foi-o-proalcool/>. Acesso em 28/09/2023



**Gráfico 1 – Estimativas de emissões evitadas pelo uso de etanol anidro e hidratado (em MtCO<sub>2EQ</sub>).**



Fonte: EPE<sup>4</sup>. Elaboração: LCA Consultores.

O forte incremento da produção de etanol ao longo das últimas décadas trouxe preocupações com relação ao uso da terra e exigiu pesados investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação no sentido de elevar a produtividade no campo. Em síntese:

- i. Os mecanismos de regulação e controle das atividades agrícolas presentes no âmbito do Renovabio são bastante rigorosos e induzem ao uso sustentável da terra na produção de biocombustíveis;
- ii. Desenvolvimentos genômicos obtidos pelo CTC<sup>5</sup> com foco em cana-de-açúcar devem mais que duplicar a capacidade de oferta de etanol ao longo de duas décadas, sem acréscimo de área plantada; e
- iii. A área utilizada para o plantio de cana-de-açúcar no Brasil (cerca de 8,3 milhões de hectares) representa cerca de 15% da área total atualmente utilizada para agricultura e cerca de 2% da área agricultável do país (CONAB, 2022). Ainda, a área atualmente utilizada representa cerca de 65% das áreas degradadas com potencial de recuperação recentemente mapeadas pelos Ministérios da Agricultura e do Meio Ambiente.

<sup>4</sup>Fonte: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes>. Op. cit., vide Nota 49.

<sup>5</sup>Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) é uma companhia de capital aberto (Bovespa-Mais) com foco em ciência, pesquisa e desenvolvimento. É composta por empresas do setor de bioenergia e participação da BNDESPar (19%), moderna governança composta por Conselho de Administração com presença dos acionistas mais três conselheiros independentes, gestão profissional enxuta e resultados financeiros positivos e sustentáveis. Vide [www.cct.com.br](http://www.cct.com.br).

Assim, há uma variedade de inovações em curso a partir de pesquisas desenvolvidas e amadurecidas nos últimos anos visando aumentar a produtividade e oferta futura de biocombustíveis, com destaque para os projetos desenvolvidos pelo CTC com foco em etanol, com potencial para mais que duplicar a produtividade da ponta agrícola nas próximas duas décadas por meio de três frentes:

- i. Melhoramento genético e adoção de novas variedades de planta mais resistentes, com maior concentração de açúcar e de crescimento mais rápido;
- ii. Adoção de sementes transgênicas, o que irá poupar área (atualmente reservada para plantas em desenvolvimento) e permitir maior adequação das variedades às características e condições da terra; e
- iii. Adaptação da mecanização às sementes, que deverá acelerar em muito o processo de plantio.

Mesmo que seja lento o ritmo de aplicação das novas técnicas, há área degradada suficiente para eventual necessidade de novos espaços a serem utilizadas em atendimento aos requisitos do Renovabio. Caso seja necessário, é viável considerar a utilização dessas novas áreas, ainda que isso implique em custos adicionais para a recuperação do solo.

O uso do etanol no Brasil é praticamente restrito aos veículos leves, não havendo opções de motorização que utilizem etanol em automotores pesados. Para esta categoria, a alternativa encontrada para iniciar o processo de descarbonização tem sido a mistura de biodiesel ao diesel, de forma semelhante à mistura de etanol anidro à gasolina nos veículos leves. A fabricação de biodiesel no Brasil ocorre a partir da reação entre triglicerídeos e ácidos graxos com álcool.<sup>6</sup> As principais matérias primas para a produção do biodiesel são óleo de soja, materiais graxos, gorduras bovinas, dentre outras.

Segundo a Resolução nº 16 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), a proporção de biodiesel no diesel convencional foi aumentada para 12% a partir de 1º de abril de 2023. Além disso, o documento estipula um incremento gradual dessa mistura, elevando-a para 14% em março de 2024 e 15% em 2025, antecipando em um ano o cronograma original previsto na resolução anterior<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup>Fonte: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Paginas/Nota-T%C3%A9cnica-Descarbonizacao-do-Setor-de-Transporte-Rodoviario-Intensidade-de-carbono-das-fontes-de-energia.aspx> . / Acesso em 03/10/2023

<sup>7</sup>Fonte: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/dezembro/cnpe-aprova-antecipacao-do-b14-para-marco-de-2024-e-b15-para-marco-de-2025-incentivando-a-producao-de-biocombustiveis-e-a-transicao-energetica>. Acesso em: 26/12/2023.

Dessa forma, é esperado uma ampliação do mercado para o biodiesel para os próximos anos.

Por outro lado, a produção de biogás e biometano no Brasil vem crescendo de maneira significativa. Em 2022, foram produzidos 2,88 bilhões de Nm<sup>3</sup>/ano de biogás para aproveitamento energético, um aumento de 22% em relação ao ano anterior. De acordo com algumas instituições do setor o Brasil possui um potencial de produção teórico de longo-prazo equivalente a 84,6 bilhões de Nm<sup>3</sup>/ano. Um aspecto notável do biometano derivado da vinhaça é o seu potencial de redução de carbono na produção de etanol, além da sinergia produzida por meio da economia circular.

O biometano pode ser utilizado como fonte energética distribuída (como combustível para geradores elétricos isolados) e como combustível verde para caminhões. Neste último caso é necessária a troca do motor e dos tanques, o que requer capital adicional e/ou financiamento adequado. A principal vantagem direta do biometano reside na possibilidade de substituição do diesel como combustível, sobretudo em caminhões, incluindo veículos utilizados internamente nas lavouras e no transporte dentro das usinas. Com isso, pode-se obter um efeito indireto bastante relevante à medida que esta **substituição interna de diesel por biometano irá reduzir ainda mais a pegada de carbono da cadeia do etanol**, de forma significativa.

O hidrogênio de baixa emissão de carbono pode, também, tornar-se componente relevante para nossa estratégia de descarbonização. O Brasil detém vantagens importantes para a produção local de hidrogênio de baixa emissão de carbono (“H2BC”) em função da disponibilidade de energia renovável a um custo de geração competitivo, e vem atraindo um número expressivo de empresas com projetos de estudo de viabilidade para produção via eletrólise da água. Não obstante, estudos indicam um *gap* de competitividade quando toda a cadeia de custos é computada.

Há outras rotas potenciais com diferentes perspectivas. Destaque-se o desenvolvimento pelo RCGI-USP de tecnologia de produção do hidrogênio de baixa emissão de carbono a partir do etanol por meio do método reforma-vapor: combinação de etanol e água em condições de temperatura (a 700°C) e pressão que permitem a separação das moléculas do etanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) em Hidrogênio, Oxigênio e CO<sub>2</sub> biogênico.<sup>8</sup> Esta inovação poderá vir a ser produzida em pequenas estações distribuídas, solucionando o grande desafio do transporte de hidrogênio a longas distâncias, contribuindo para viabilizar o avanço da motorização veicular via

célula-combustível, aplicada tanto a veículos pesados quanto a leves. Ainda, há a possibilidade de substituição do gás natural fóssil por biometano para a produção de hidrogênio de baixo carbono, tecnicamente viável em função da similaridade entre as propriedades químicas destes gases.

Espera-se que o marco regulatório brasileiro e o sistema nacional de fomento à Ciência, Tecnologia e Inovação ofereçam incentivos capazes de reduzir os gaps de competitividade existentes em favor dos primeiros entrantes e projetos pioneiros, por tempo determinado e limites monetários, como forma de acelerar as respectivas etapas de desenvolvimento e dar escala às plantas-piloto subsequentes. Com isso, espera-se que soluções competitivas estejam maduras e prontas para entrar em operação até 2030, permitindo ao Brasil se emparelhar a países como China, EUA e Europa que vêm investindo significativamente em novas tecnologias sustentáveis de baixo carbono.

## Políticas públicas em vigência

Pelo lado das políticas públicas vigentes, destacam-se os programas MOVER, o Renovabio e o (ii) Programa Combustível do Futuro. Aprovado pela Lei nº 13.755/2018 e renovado em 2023, o MOVER (“Mobilidade Verde”) sucede o Programa Inovar-Auto, que esteve em vigor de 2013 a 2017. Seus principais objetivos incluem **impulsionar a competitividade dos veículos fabricados no país, diminuir as emissões de gases de efeito estufa e promover o avanço da segurança veicular** por meio da adoção de novas tecnologias.

O Renovabio tem como **objetivo ampliar a produção e o uso de biocombustíveis na matriz energética brasileira**. Para tanto, a política leva em conta a conexão entre eficiência energética e a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, com o intuito de auxiliar na descarbonização da matriz de transportes brasileira, de forma a assegurar a segurança energética nacional com previsibilidade para o mercado. O funcionamento do programa conta com metas nacionais determinadas pelo governo acerca da emissão dos gases de efeito estufa pela matriz de combustíveis, de forma que tais metas de âmbito nacional sejam desdobradas em metas individuais compulsórias aos distribuidores de combustíveis anualmente. Os principais instrumentos do Renovabio podem ser resumidos em três eixos: (i) Metas de redução de emissões dos gases de efeito estufa; (ii) Certificação da produção dos biocombustíveis; (iii) Crédito de descarbonização.

O Programa Combustível do Futuro foi instituído por meio da Resolução CNPE nº 07, de 20 de abril de 2021<sup>9</sup>, passando a ser um projeto de lei encaminhado ao Congresso Nacional em setembro de 2023 (PL 4516/2023). O seu principal objetivo é **expandir o uso de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono**. Os 5 principais eixos do programa podem ser elencados da seguinte forma: (i) Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV); (ii) Programa Nacional do Diesel Verde (PNDV); (iii) Regulamentação do combustível sintético; (iv) Captura e estocagem geológica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e (v) Novos limites de mistura do etanol anidro à gasolina.

## Aspectos geopolíticos

Questões geopolíticas baseadas em imperativos de segurança nacional e em prioridades econômicas e tecnológicas têm inspirado as estratégias de transição energética dos países centrais. Essas estratégias - nos EUA, U.E. e na Ásia (China, em particular) - combinam metas de descarbonização, reindustrialização (ou reshoring) e busca de liderança tecnológica. São fomentadas por políticas industriais e programas de grande escala, respaldados por subvenções, compras governamentais e apoio maciço à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, visando criar vantagens para seus respectivos ecossistemas científicos e tecnológicos.

No caso brasileiro existem algumas oportunidades singulares de desenvolvimento de produtos e processos que atendem ao tripé supramencionado: descarbonizar, reindustrializar e inovar com tecnologia própria. Nesse rol de oportunidades, os biocombustíveis renováveis ilustram como a construção pioneira de vantagens comparativas, mediante longos processos de aprendizado e de investimento público e privado, capacitam o país a abrir avenidas de protagonismo internacional. Exemplificam essas possibilidades: o etanol de 2ª geração, o biometano, o biodiesel de várias fontes, o diesel verde, novos combustíveis sintéticos para diversos usos e o hidrogênio de baixa emissão de carbono.

Tendo em vista que o processo de inovação exige avanços contínuos, além da necessidade de expansão do mercado para outras regiões, três pontos são relevantes para o posicionamento estratégico do país no cenário global:

---

<sup>9</sup>Fonte: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/combustivel-do-futuro>. Acesso em: 21/09/2023.

- i. A conexão da indústria de biocombustíveis com o resto do mundo requer do Brasil um papel ativo e cooperativo para definição e padronização mundial dos combustíveis para os diversos usos: para caminhões (diesel verde, biometano), aviões (SAF) e navios (bunker verde) para o atendimento do mercado global;
- ii. Há países com capacidade ou interesse no desenvolvimento da rota do etanol para uso misto em motores à combustão ou em veículos híbridos (casos de EUA, México, Índia, Indonésia, Colômbia e Panamá, entre outros), países que passaram a produzir etanol à base de cana-de-açúcar (Índia, Indonésia) ou já o produzem a partir da cana (Colômbia, Panamá) ou do milho (EUA, México); para estes países, há espaço interessante de cooperação em áreas nas quais o Brasil tem domínio de tecnologia e processos, a exemplo dos motores e componentes flexfuel e de veículos híbridos (HEV e PHEV) a etanol;
- iii. A tendência à eletrificação da mobilidade automotiva é global e faz parte das estratégias de praticamente todas as montadoras. O fato de que Brasil conseguiu atrair investimento direto de montadora estrangeira para produção no país de veículos elétricos lhe facultou estimular e aprender com a internalização da respectiva cadeia produtiva de partes, peças, componentes e tecnologia de modo a aumentar o conteúdo local e respectivas exportações. Essa experiência pode criar oportunidades de servir o mercado latino-americano a partir desta subsidiária (e de outras que possam vir), de fomentar nichos competitivos, inclusive de serviços, na cadeia fornecedora e de desenvolver novos canais de colaboração tecnológica.

## Cenários de eletrificação e seus impactos ambientais

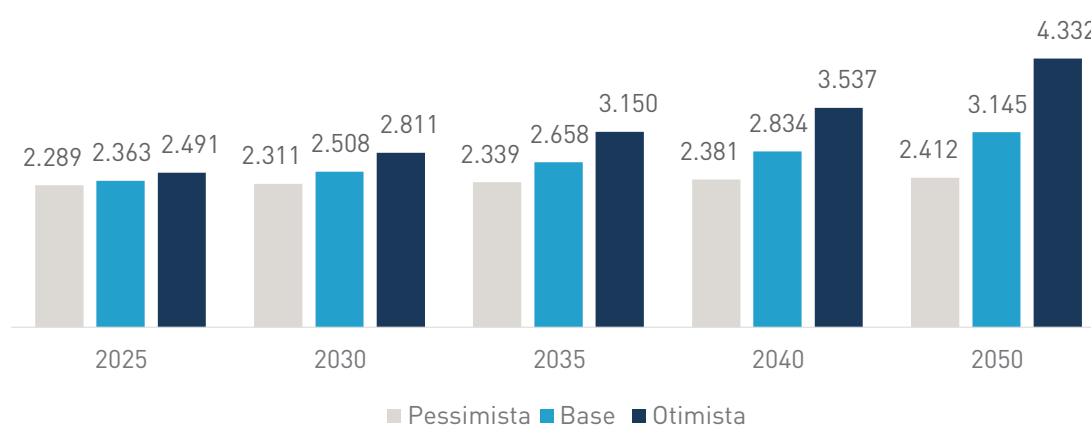
### Veículos Leves

A fim de compreender os impactos de cada rota tecnológica, bem como os efeitos das políticas de descarbonização para o setor de transporte, o estudo estimou resultados em termos de emissão de CO<sub>2</sub> da frota de veículos leves para alguns cenários e buscou avaliar os respectivos impactos na economia, em termos da dinâmica de geração de emprego e renda.

O cálculo da evolução das emissões totais dos veículos leves requer a projeção da frota desses veículos para os anos de balizamento do estudo, quais sejam, 2025, 2030, 2035, 2040 até 2050, quando o Brasil se comprometeu com emissões neutras. Evidentemente, a evolução da frota circulante depende da incorporação de novos veículos e do sucateamento dos mais antigos. A estimação dos novos licenciamentos e da frota foi empreendida com base em ferramentas econométricas, visando

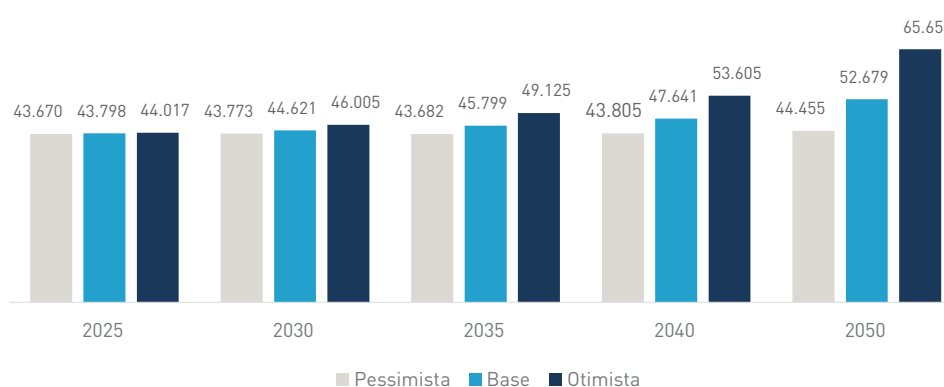
aderência aos dados históricos, condicionantes macroeconômicos, preferências do consumidor e outros aspectos setoriais. Os gráficos a seguir demonstram os resultados dos licenciamentos e da evolução da frota para veículos

**Gráfico 2 – Licenciamentos de Veículos leves  
(em milhares de unidades) – Comparação de Cenários.**



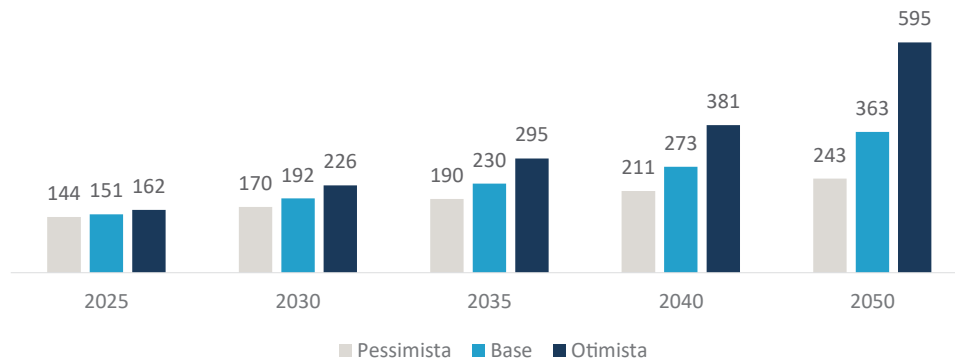
Fonte: LCA Consultores.

**Gráfico 3 – Frota de Veículos leves  
(em milhares de unidades) – Comparação de Cenários.**



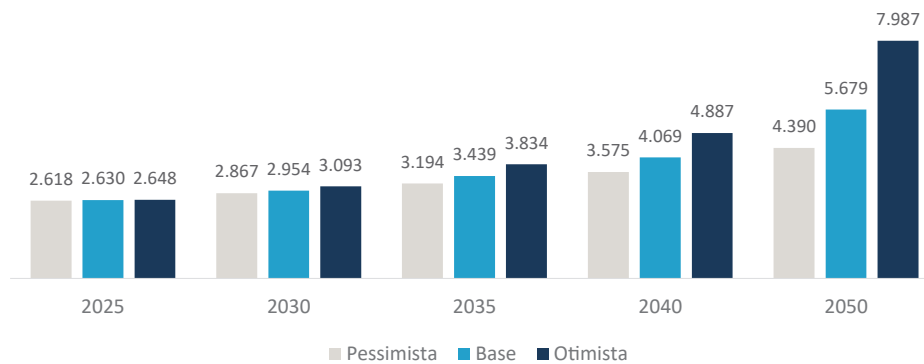
Fonte: LCA Consultores.

**Gráfico 4 – Licenciamento de Veículos Pesados  
(em milhares de unidades) Comparação de Cenários.**



Fonte: LCA Consultores.

**Gráfico 5 – Frota de Veículos pesados  
(em milhares de unidades) – Comparação de Cenários.**



Fonte: LCA Consultores.

## Comparações de Emissões

Para os **veículos leves**, inicialmente foram simulados cenários para os ciclos **poço à roda**, metodologia consagrada por instituições do setor, e **“berço à roda”**, com base no estudo de Gauto et. al.<sup>10</sup>(2023). Cabe ressaltar que ainda há pouca convergência nos dados e parâmetros para uma avaliação do ciclo da vida completo (berço ao túmulo), por isso optou-se por uma metodologia disponível que fosse mais abrangente possível.

Com base nas referidas metodologias, o estudo simulou cenários distintos no que diz respeito à evolução da eletrificação da frota veicular brasileira: quais sejam 1) status quo, 2) convergência global-híbridos e 3) convergência global-

<sup>10</sup>Gauto, Marcelo Antunes, et al. “Hybrid vigor: Why hybrids with sustainable biofuels are better than pure electric vehicles.” Energy for Sustainable Development 76 (2023): 101261.



elétricos. Em todos os casos, foi adotado o **cenário base** para a projeção de novos licenciamentos e da frota.

No primeiro cenário, é mantida configuração atual de licenciamentos e frota (mesmos percentuais de venda de eletrificados verificada em janeiro de 2024), dado que se trata meramente de um cenário de controle, hipotético, em que não há mudança estrutural. Nos outros dois cenários, há uma convergência da frota para o padrão global de eletrificação: no primeiro cenário, há uma preponderância dos **veículos híbridos** (cenário 2) e um terceiro cenário em que predominam os elétricos (cenário 3). Foram, assim, estabelecidas hipóteses que permitiram estimar a composição de frota nos anos de balizamento

Utilizando a metodologia de cálculo de emissões de instituições do setor automotivo e dados públicos de intensidade de carbono dos energéticos e eficiência veicular, construímos premissas para estimar as emissões de CO<sub>2</sub> pelo método do poço à roda.

O estudo lançou mão de veículos representativos para cada modelo de propulsão. Assim, com o quantitativo da frota, participação de cada modelo de propulsão na frota e emissão por veículo representativo, estimamos as emissões para a frota de veículos leves para os três cenários. Abaixo, apresentamos premissas adotadas e os resultados de emissões para os três cenários<sup>11</sup>.

Além destas estimativas, rodamos um cenário com a metodologia do **berço à roda**, que abrange um número maior de etapas no ciclo de vida e, por isso, tende a apresentar maior volume de emissão. Adotou-se a metodologia baseada nas hipóteses de Gauto et. al.(2023)<sup>12</sup> para os mesmos cenários.

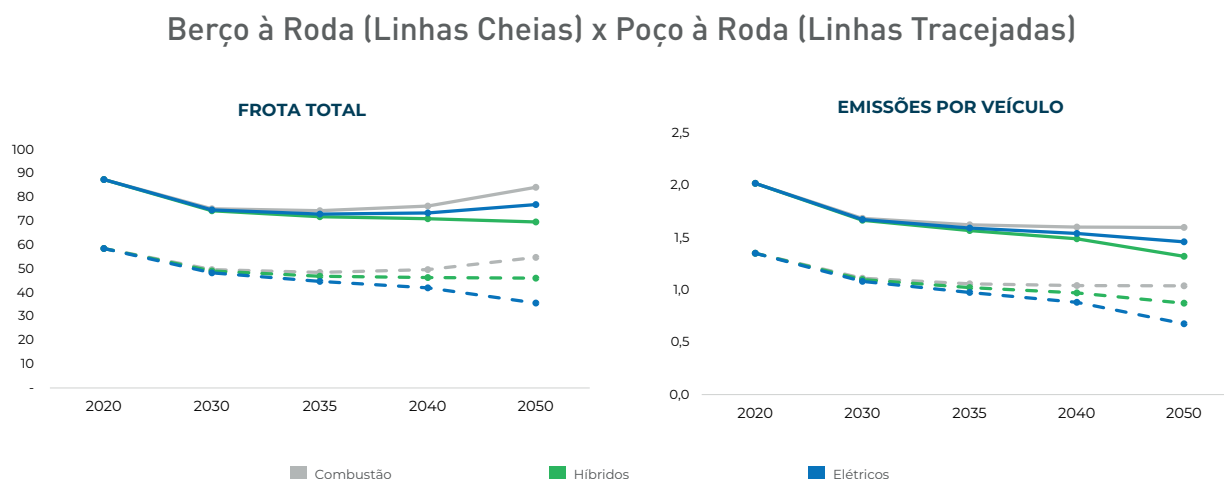
A seguir são apresentados os resultados de emissões para os três cenários, nas metodologias **berço à roda** e **poço à roda**.

---

<sup>11</sup>As metodologias bem como as variáveis utilizadas no cálculo, como a intensidade de carbono e o fator de uso, estão detalhadas no relatório.

<sup>12</sup>Releva notar que, no mencionado estudo, os cálculos foram realizados para veículos híbridos e flex apenas utilizando etanol (E100). Sendo assim, o cálculo provavelmente foi feito considerando o veículo como monocombustível, sem a necessidade de incluir a variável fator de uso.

## Gráfico 6 – Emissões de CO<sub>2</sub> – “Berço à Roda” x “Poço à Roda” (Milhões T/ano)



Fonte: Cálculos LCA Consultores com base em Inmetro e AEA/EPE. Elaboração: LCA Consultores.  
Parâmetros de intensidade de carbono dos combustíveis foram mantidos constantes a partir de 2035.

Em virtude das diferenças metodológicas já mencionadas, os resultados das estimações também apresentaram diferenças consideráveis. Ao consideramos um ciclo mais curto (poço à roda), sem o cálculo das emissões da cadeia de produção das baterias, **o cenário predominância-elétrico gera menores emissões de CO<sub>2</sub>**. Contudo, em uma análise de ciclo de vida mais amplo (berço à roda), **o cenário convergência-híbridos é o que gera menores emissões de CO<sub>2</sub> sob a hipótese de uso exclusivo de etanol**.

Além das metodologias mencionadas, foi realizada uma simulação adicional considerando uma participação crescente de biocombustíveis. Nesta simulação (**prevalência biocombustíveis**), mantivemos a metodologia do poço à roda, mas foi alterada a variável fator de utilização do etanol ao longo dos anos: partimos de percentual de 38% para o etanol em 2030 e estabelecemos, para fins de exercício analítico, que este fator aumentaria para 64% em 2050, conforme tabela a seguir:

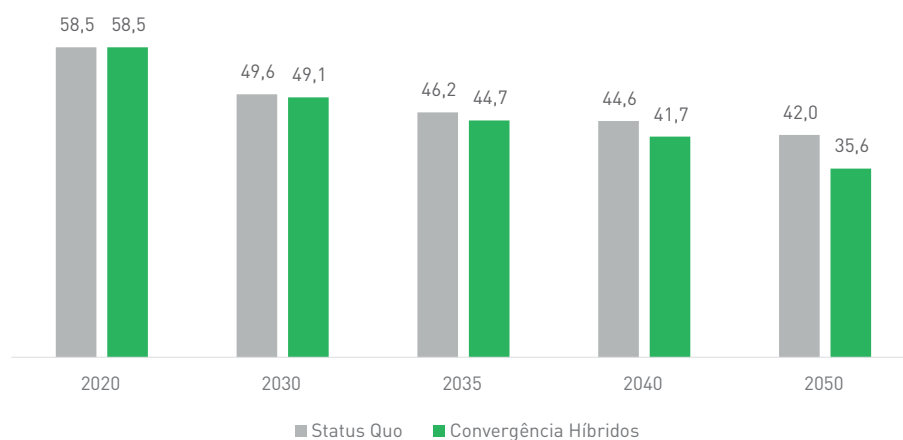
**Tabela 4 – Fator de uso – Prevalência biocombustíveis**

	2020	2030	2035	2040	2050
Fator de uso	0,28	0,38	0,43	0,49	0,64

Fonte: LCA Consultores.

Utilizando a composição de frota dos exercícios anteriores para os cenários status quo e convergência híbridos associada a esta hipotética curva ascendente do fator de uso do etanol, calculamos as emissões de CO<sub>2</sub> para a frota de veículos leves. Os gráficos abaixo apresentam os resultados deste exercício:

**Gráfico 7 – Emissões da frota de veículos MMton de CO<sub>2</sub>/ano – Cenário Status Quo e Convergência Híbridos - Biocombustíveis.**



Fonte: LCA Consultores.

**Sob estas hipóteses e sob o conceito “poço à roda”, as emissões finais de CO<sub>2</sub> do cenário convergência híbridos (HEV) e do cenário convergência BEV seriam equivalentes, ao redor de 35,6 MmtonCO<sub>2</sub>/ano.**

Estes resultados suscitam observações interessantes. Dada a estrutura da frota brasileira, que possui participação muito relevante de veículos flex, **uma hipotética elevação do fator de uso do etanol resultaria na redução de emissões de forma imediata**, o que poderia ocorrer concomitantemente ao processo de eletrificação da frota. Em outras palavras, em razão de já existir uma estrutura pronta e disseminada de utilização de biocombustível, esta modificação resultaria em imediata redução das emissões.

Em síntese, observa-se da análise de emissões dos veículos leves no ciclo do poço à roda que os elétricos aparecem como vetor importante e mais eficaz de descarbonização. Entretanto, quando o ciclo é expandido para o conceito do berço à roda, em que se computam as emissões provenientes da cadeia necessária à manufatura das baterias (que tem hoje uma elevada pegada de carbono), os veículos híbridos apresentam um resultado mais satisfatório.

Em contraposição, se for econômica e tecnicamente viável empreender avanços significativos e rápidos para descarbonizar a cadeia de fabricação das baterias, esta desvantagem relativa poderia ser superada. Resultados semelhantes num cenário também hipotético seriam obtidos caso fosse viável técnica e economicamente produzir células de baterias no Brasil, com base em energia renovável; por fim, no cenário de expansão do fator uso dos biocombustíveis a descarbonização dos veículos leves ocorreria de maneira imediata e significativa.

## Veículos Pesados

Os veículos pesados apresentam, como característica, maior heterogeneidade de modelos, capacidade de carga e aplicações. Assim, as rotas tecnológicas que se apresentam devem ser compatíveis com essas características e viáveis do ponto de vista econômico, financeiro e ambiental.

Os veículos a diesel, com alta intensidade de emissão de carbono, dominam o mercado, em função da elevada eficiência energética do combustível. A descarbonização requer, portanto, a uma mudança no paradigma de dominância maciça do diesel atual.

Algumas aplicações, como no caso dos chamados veículos de last mile, que atuam no perímetro urbano, e os ônibus urbanos, que possuem previsibilidade de trajeto que viabiliza a recarga, tendem a ser viáveis para o modelo elétrico. Já para distâncias mais longas percorridas por caminhões pesados e superpesados, em trajetos interestaduais, o diesel de baixo carbono, o biometano (em substituição gradual ao GNV, que pode ser utilizado como combustível de transição) e até a solução a hidrogênio-elétrico com célula de combustível podem se tornar viáveis. O biodiesel e o diesel renovável se apresentam como soluções de baixo carbono que possuem sinergia com a infraestrutura vigente, sem a necessidade de investimentos adicionais que criem ou modifiquem a infraestrutura de abastecimento já estabelecida.

Cada uma dessas rotas apresenta desafios mais complexos de implementação e de adoção em massa do que no caso dos veículos leves. No caso dos veículos pesados elétricos, a infraestrutura de recarga, bem como o decorrente aumento da oferta de energia elétrica e os elevados custos de produção exigem investimentos substanciais. No caso do gás natural e do biometano, para aplicações de maiores distância, é necessária uma rede de gasodutos mais abrangente.

Além disso, no caso do biometano, surge a necessidade de um arcabouço regulatório que incentive a expansão da produção do combustível ao longo do país.

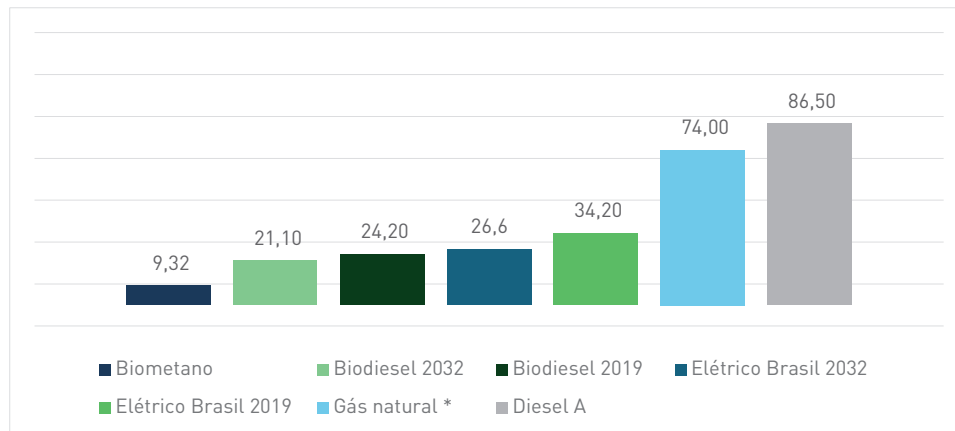
O biodiesel e diesel renovável ainda possuem entraves técnicos, como a mistura limite de biodiesel no diesel e algumas restrições de âmbito produtivo, como o maior custo na produção em relação ao diesel convencional. Já no caso do hidrogênio de baixa emissão de carbono, estudos indicam a necessidade de incentivos temporários aos primeiros entrantes, até que o setor apresente ganhos expressivos de escala.

Sob a perspectiva ambiental, observa-se que as emissões de gases de efeito estufa de veículos pesados são influenciadas por uma série de fatores, como a carga transportada, condições da estrada e topografia da rota, número de eixos, tipo de motor, pneus utilizados, sistemas de transmissão, entre outros. A ampla gama de variáveis consideradas na estimativa das emissões torna essa tarefa desafiadora e dificulta a generalização em torno de um único modelo matemático específico. Neste aspecto, a dificuldade de estipular a magnitude de emissão de cada modelo impacta diretamente na viabilidade de elaboração de metas de redução dos gases de efeito estufa.

Deste modo, um avanço necessário e crucial para regular com eficiência a descarbonização dos veículos pesados seria a implementação de um modelo computacional de medição: o VECTO. O VECTO é uma ferramenta desenvolvida pela Comissão Europeia como instrumento oficial para monitorar as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo de combustível dos veículos pesados.

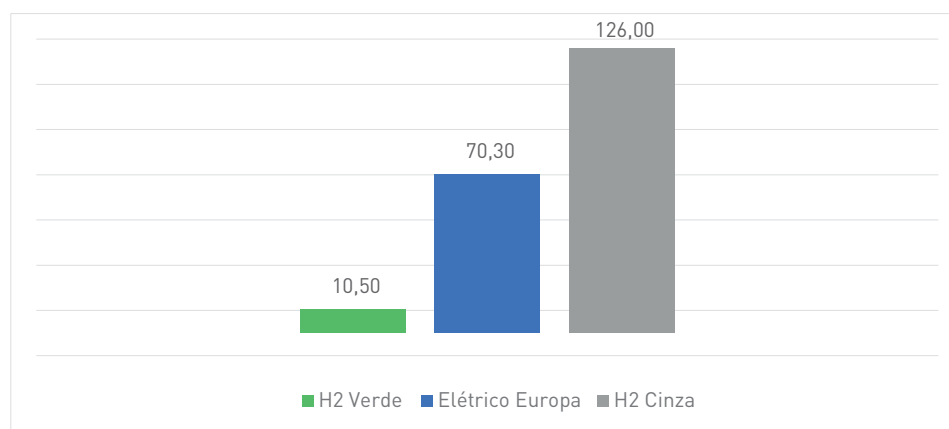
Apesar de não existir um modelo de medições de emissões de veículos pesados no mercado brasileiro, é notório que a utilização de combustíveis menos intensos em carbono promove a descarbonização da frota. A tabela, a seguir, detalha a intensidade de carbono, em CO<sub>2</sub>/MJ, de alguns combustíveis que estão no cerne das rotas tecnológicas que visam a descarbonização.

### Gráfico 8 – Intensidade de carbono de alguns energéticos (em CO<sub>2</sub>/MJ).



Fonte: EPE<sup>13</sup> e ÚNICA. Elaboração: LCA Consultores.

**Nota.** A intensidade do gás natural utilizou um fator de correção com base no valor divulgado pela EPE.



Fonte: Reuters<sup>14</sup> e Roland Berger. Elaboração: LCA Consultores.

Portanto, a **descarbonização dos veículos pesados dependerá do casamento da viabilidade econômica, financeira e ambiental das diferentes rotas tecnológicas com as respectivas aplicações**. Para que essa harmonização possa ser implementada e corretamente monitorada pela regulação, o mercado brasileiro precisará avançar no desenvolvimento de uma ferramenta que possa estabelecer padrões de medições de CO<sub>2</sub>, com o intuito de que metas críveis possam ser estabelecidas e alcançadas.

<sup>13</sup>Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-708/NT-EPE-DPG-SDB-2022-03\\_Intensidade\\_de\\_carbono\\_Transporte\\_Rodoviario.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-708/NT-EPE-DPG-SDB-2022-03_Intensidade_de_carbono_Transporte_Rodoviario.pdf)

<sup>14</sup>Disponível em: <https://www.reuters.com/markets/commodities/europes-top-economies-slash-carbon-intensity-electricity-2023-12-12/>

Importante, finalmente, ressaltar que a metodologia de computo de emissões de CO<sub>2</sub> para os veículos pesados também precisa evoluir para o ciclo do berço à roda e, logo que possível, para o ciclo de vida do berço ao túmulo. Como se sabe, este último critério é mais abrangente ao considerar todas as formas de emissão de GEE em todas as etapas, incluindo a origem das energias; dos insumos, partes e peças; dos processos de manufatura em toda a cadeia produtiva; bem como dos coeficientes de emissão associados ao uso dos veículos e; finalmente das atividades de desmonte e descarte das partes, componente e, especialmente, das baterias.

### **Impactos sociais e econômicos dos cenários de eletrificação (base na Matriz Insumo-Produto, MIP)**

Como foi visto até aqui, a descarbonização da mobilidade automotiva no Brasil tem o privilégio de poder contar com um leque de oportunidades e rotas tecnológicas. Mas, ao consumir tais oportunidades, essa estratégia deve conciliar as dimensões ambiental, social e econômica – compreendendo que as escolhas de políticas públicas acarretarão diferentes consequências não somente sobre esforços nacionais de descarbonização, mas também sobre o desenvolvimento econômico e social.

Por isso, faz-se necessário avaliar os impactos socioeconômicos esperados das mudanças no setor automotivo com a introdução dos veículos híbridos e elétricos no Brasil. Para tanto, estimamos um Modelo de multiplicador de estímulos de demanda com base na Matriz Insumo-Produto (MIP).

O Modelo ou Matriz de Insumo-Produto (MIP) é uma “‘fotografia econômica’ da própria economia”<sup>15</sup>, baseada na constatação de que a produção de um setor depende dos insumos fornecidos pelos demais, criando uma rede complexa de relações de consumo e produção<sup>16</sup>. Tais interrelações permitem determinar a magnitude do impacto de um setor de interesse sobre os demais (incluindo próprio segmento, via autofeedback), e são capturadas através dos coeficientes técnicos e da matriz de Leontief.

---

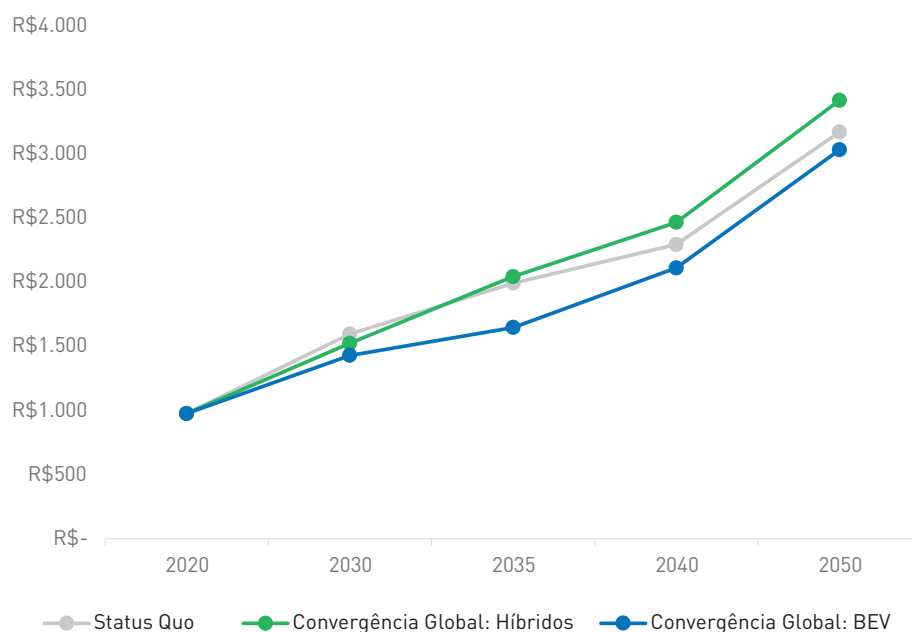
<sup>15</sup>Guilhoto, Joaquim José Martins and Guilhoto, Joaquim José Martins, Input-Output Analysis: Theory and Foundations [Análise de Insumo-Produto: Teoria e Fundamentos] (August 1, 2011). Disponível em: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1900073> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1900073>

<sup>16</sup>Considerando-se as relações diretas e indiretas, pode-se dizer que a produção de cada setor depende dos insumos fornecidos por TODOS os demais segmentos da economia. Por exemplo, a produção de algodão depende da extração mineral, ainda que uma mineradora não seja fornecedora direta de um agricultor, pois os minérios extraídos serão utilizados como matéria-prima pelo setor siderúrgico, cujo produto será utilizado como insumo pelos fabricantes de máquinas e equipamentos que, por sua vez, irão produzir as máquinas e implementos agrícolas utilizados diretamente na produção do algodão.

Operacionalmente, as análises na MIP são implementadas através de choques monetários em um ou mais setores de interesse, que então se disseminam cumulativamente para toda a economia, permitindo auxiliar no planejamento econômico e formulação de políticas públicas (maiores detalhes no Relatório completo).

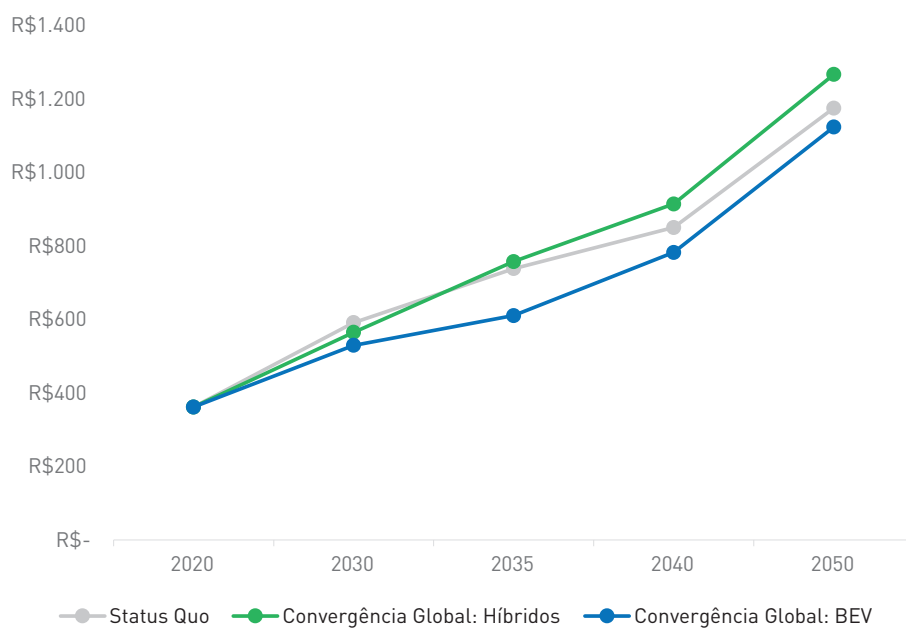
Estimamos os efeitos dos choques de demanda no setor automotivo sobre a economia, aferindo os efeitos decorrentes para a data-base de 2020 e para os anos de 2030, 2035, 2040 e 2050. Abaixo, foram resumidos os resultados obtidos de nossas análises:

**Gráfico 9 – Produção Total (R\$ Bilhões)**

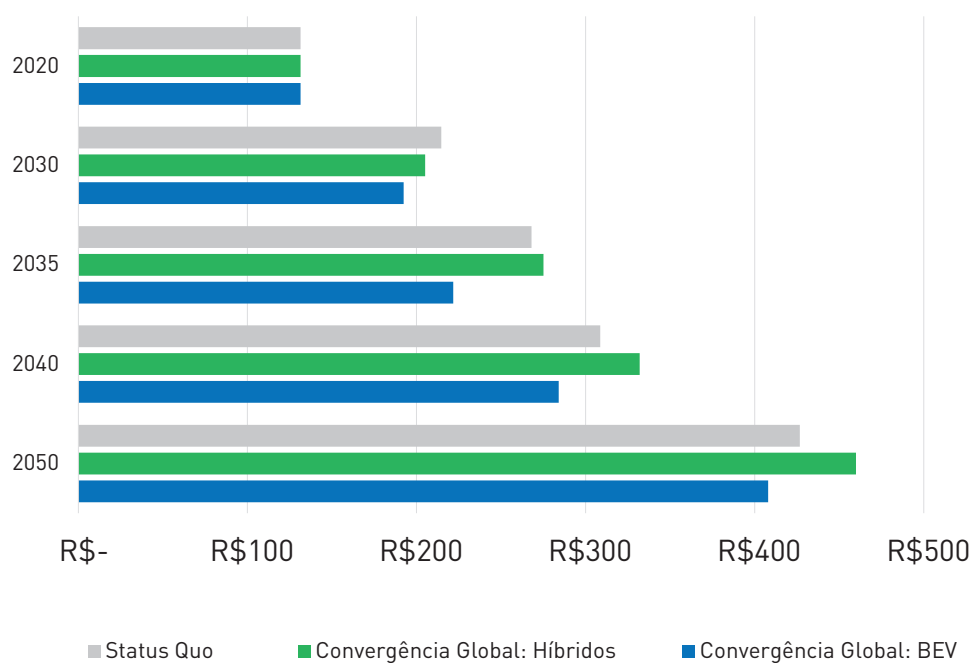


Fonte: LCA, com dados Anfavea, Abraciclo, Montadoras. Elaboração: LCA Consultores



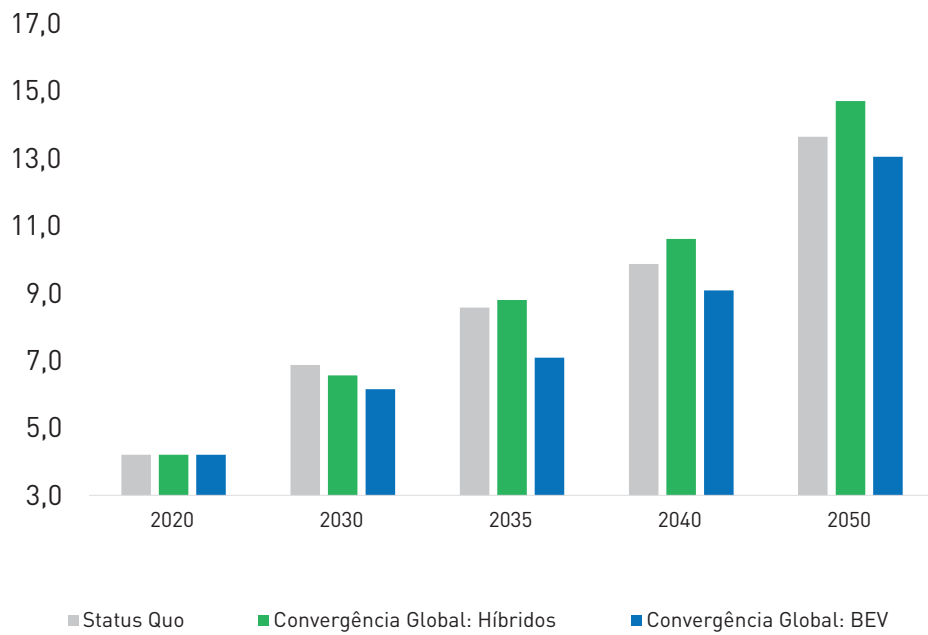
**Gráfico 10 – Valor Adicionado – PIB (R\$ Bilhões)**

Fonte: LCA, com dados Anfavea, Abraciclo, Montadoras. Elaboração: LCA Consultores

**Gráfico 11 – Impostos (R\$ Bilhões)**

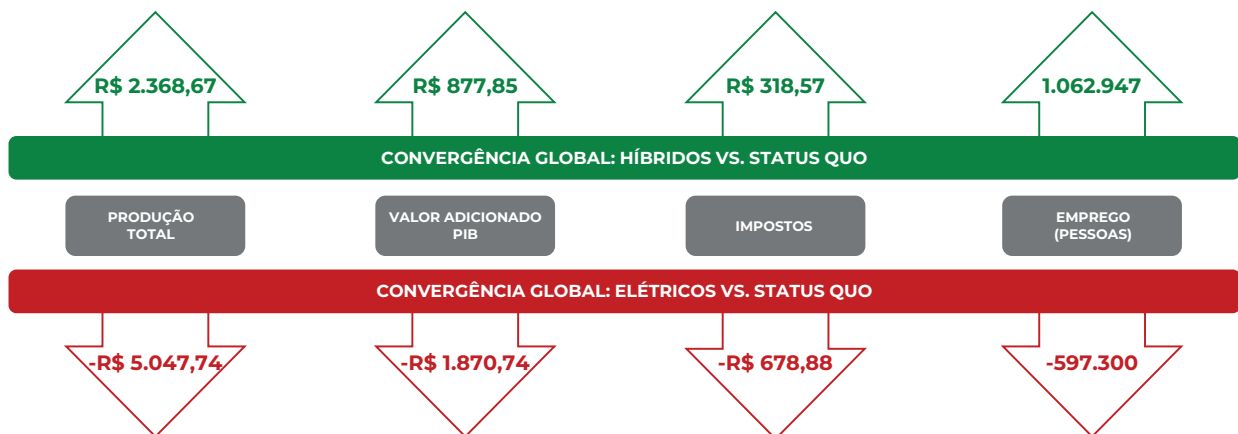
Fonte: LCA, com dados Anfavea, Abraciclo, Montadoras. Elaboração: LCA Consultores

**Gráfico 12 – Emprego (Milhões de Trabalhadores)**



Fonte: LCA, com dados Anfavea, Abraciclo, Montadoras. Elaboração: LCA Consultores

**Figura 2 - Síntese dos Impactos Econômicos Acumulados (2020 a 2050)**



Fonte/elaboração: LCA Consultores.

Os impactos socioeconômicos serão distintos dependendo de qual rota tecnológica prevalecer. Caso a eletrificação da frota veicular brasileira se dê predominantemente por meio dos veículos híbridos (veículos HEV, cenário Convergência Global: Híbridos), nossas análises mostram impactos positivos significativos. Por outro lado, caso predominem os veículos BEV (Convergência Global: BEV), as análises indicam perdas potenciais para a economia brasileira.

Os resultados positivos verificados no cenário de Convergência Global: Híbridos, decorrem principalmente de um alto índice de conteúdo local na fabricação dos veículos HEV e do seu maior valor médio em relação aos veículos IC.

Porém, os veículos híbridos possuem percentual de conteúdo local relativamente menor do que os atuais níveis dos veículos a combustão, devido aos componentes relacionados à propulsão elétrica – especialmente a bateria. No futuro, é possível que a eventual nacionalização da produção dos insumos e componentes da bateria – cadeia de mineração e refino de metais e de fabricação das células de energia para posterior montagem da bateria – aumente os efeitos positivos verificados no cenário de Convergência Global: Híbridos.

Já as perdas econômicas do cenário de Convergência Global: Elétricos a Bateria, BEV decorrem do menor conteúdo local atual dos veículos dessa categoria quando comparados aos veículos a combustão, predominantes no cenário Status Quo. Isto se deve, especificamente, à ausência de uma cadeia produtiva para fabricação das baterias, e ademais, à exclusão do motor a combustão e da caixa-de-cambio, equipamentos intensivos em insumos básicos, componentes, partes e peças.

Notamos que tais efeitos são observados mesmo considerando-se que os veículos elétricos BEV possuem o maior valor médio dentre todos os tipos de motorização analisados. Entretanto, é fundamental enfatizar que nossas estimativas e cenários levam em conta tão somente os processos produtivos correntes.

Por limitação metodológica, não é possível incorporar à presente análise a evolução tecnológica nos sistemas de manufatura que deverá ser induzida pelos novos padrões de motorização, nem, principalmente, o possível aumento do conteúdo local dos veículos elétricos BEV, em especial a fabricação das células componentes das baterias – que representam entre 50% e 80% do valor total das baterias e entre 25% e 40% do valor do veículo, a depender do modelo e potência.

Portanto, caso a fabricação das células de energia e montagem das baterias seja crescentemente localizada no Brasil, esperamos que o impacto econômico negativo associado aos veículos BEV seja parcialmente mitigado. Esta mitigação poderá ser mais relevante se houver desenvolvimento de toda cadeia produtiva à montante, inclusive a mineração, processamento e refino dos metais necessários.

## Recomendações de políticas públicas

Com base numa avaliação das políticas em discussão ou já em vigor e em simulações sobre a evolução da motorização no Brasil e seus impactos sobre as **emissões de GEEs e sobre as condições sociais e econômicas**, destacamos temas relevantes de política pública e pontos de aperfeiçoamento, com vistas a acelerar a descarbonização e consolidar o desenvolvimento socioeconômico ambientalmente sustentável.

Este estudo preza pela neutralidade das ações e definições das políticas públicas, o que implica não discriminar ou privilegiar setores específicos, mas, almejar **reduzir as emissões de GEEs e gerar vetores de desenvolvimento econômico e tecnológico para o Brasil**. Apontamos a seguir as principais ações alinhadas a esses objetivos.

Desde logo, é necessário que haja harmonia técnica e abrangência regulatória, para que leis e regulamentos sejam consistentes e convergentes entre si.

Nesse sentido, recomendamos ampliar o paradigma de cálculo das emissões de GEEs para incluir etapas como mineração; beneficiamento e produção de baterias; agropecuária e mudanças no uso da terra (etapas à montante); descarte, reutilização e reciclagem das partes, peças e materiais (etapas à jusante) - adotando-se o conceito de Berço ao Túmulo. Visando reduzir as emissões de GEE, espera-se que a legislação incentive investimentos em descarbonização em todas as etapas do ciclo de vida dos produtos que participam da cadeia da mobilidade, com vantagens às rotas tecnológicas de cadeias que gerem o menor o impacto ao meio ambiente.

Há matérias regulatórias que podem afetar negativamente a evolução de soluções já consolidadas e interferir nas condições de competitividade dos biocombustíveis. Tal é o caso do PROCONVE: desenhado para regular os limites de emissão de poluentes por montadora ao longo do tempo, a introdução da 8ª Fase do Programa para veículos leves (L8) a partir de 2025 irá afetar negativamente os veículos

movidos a etanol devido a um padrão excessivamente rígido em relação às emissões de gases orgânicos não metano (NMOG) – que tendem a ser maiores no etanol relativamente à gasolina pelo critério de medição utilizado, o que obrigaria à realização de investimentos vultuosos que poderiam inviabilizar os motores a etanol, incluindo híbridos.

Assim, deve-se alinhar as políticas automotivas que objetivam reduzir as emissões de poluentes do Proconve com as políticas voltadas à redução das emissões de GEEs considerando seus impactos ambientais, econômicos e sociais na cadeia produtiva.

Matérias que tratam de eficiência veicular – em particular, o MOVER – consideram de forma genérica os veículos híbridos como uma categoria única, sem os diferenciar por níveis de eficiência. Qualquer que seja a capacidade do sistema elétrico envolvido e a eficiência efetiva do sistema, todos os modelos da categoria “híbridos” recebem o mesmo tratamento. Dada a aprovação recente da MP 45 (Reforma Tributária), será necessário assegurar que os benefícios de redução do IPI sejam mantidos no novo regime, **mas preferencialmente na forma de alíquotas diferenciadas conforme o ganho de eficiência efetiva trazida pelas novas motorizações.**

Necessário, ademais, assegurar a competitividade dos biocombustíveis e do hidrogênio de baixa emissão de carbono em todo o território nacional, suplantando gargalos logísticos e implementando de modo automático a manutenção de regime fiscal favorecido e estimular o consumo de etanol em mercados em que hoje seu custo ultrapassa o dos combustíveis fósseis.

Ainda concernente aos veículos leves, deve-se assegurar o equilíbrio entre as alternativas de motorização disponíveis e que os benefícios de redução ou isenção do IPVA sejam concedidos a veículos classificados como de baixa emissão de GEEs pelo Inmetro (conceito AEA).

Da mesma forma, como estabelecido para veículos leves, é necessário firmar uma base de dados e um método para a medição das emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos pesados, cujas especificidades exigem um conjunto de parâmetros heterogêneos, não sendo possível estimar as emissões com base em médias. Nessa direção, deve-se construir um calendário de implementação do **Vecto** no Brasil, visando à correta medição das emissões de CO<sub>2</sub> de veículos pesados no âmbito do RenovaBio

É também recomendável atualizar a regulamentação de pesos e dimensões dos veículos pesados em linha com objetivos de descarbonização, permitindo que sejam contempladas novas tecnologias de baixo carbono que requeiram aumento do peso permitido no eixo dianteiro. São exemplos: facilitar a motorização a biometano com permissão para 7 toneladas no eixo dianteiro e no caso do motor elétrico, permissão de 9 toneladas. Neste caso, será necessário um plano de revisão das concessões rodoviárias para contemplar reforços de investimento de tal forma que o pavimento não venha a influenciar negativamente as emissões de GEE.

Ainda em relação aos veículos pesados, é preciso criar **linhas de financiamento especiais para a renovação da frota de caminhões e máquinas pesadas** (agrícolas e de construção), além da garantia de troca dos modelos antigos por novos de emissão mínima, sob gestão dos órgãos regulação ambiental e supervisão do MDIC. Políticas de apoio à renovação da frota tendem a acelerar e antecipar os efeitos da descarbonização.

Em relação à cadeia dos biocombustíveis, em particular aqueles a base da cana-de-açúcar, tem ficado claro o potencial do Brasil se tornar um produtor global de uma gama de produtos-chave à descarbonização da cadeia de transporte: dos veículos leves (etanol) aos pesados (a biometano, diesel verde e, em particular o HVO; hidrogênio de baixa emissão de carbono e amônia), incluindo as máquinas agrícolas e de construção pesada (biometano, amônia), além da aviação (SAF); navegação (metanol verde) e transporte ferroviário (amônia e metanol).

O regime de incentivo previsto no RenovaBio com os CBios tem se mostrado importante para expansão da produção dos biocombustíveis e tem viabilizado avanços notáveis de produtividade a partir de novas tecnologias mapeadas por seus centros P&D (CTC e EMBRAPA). Há, porém, questões relevantes que precisam de atenção, tais como:

- i. Assegurar a aprovação das emendas ao PL 4.516/2023 relativas ao **Programa Nacional do Biometano**, fundamentais para dotar o mercado de segurança regulatória e garantir investimentos que elevem a oferta de forma concomitante ao crescimento da demanda;
- ii. Apoiar **investimentos em ramais secundários de gasodutos** que interliguem os locais de produção de biocombustíveis e hidrogênio de baixo carbono aos ramais já existentes (TAG, TBG, TSB, GOM e NTS);

- iii. Assegurar **reforços de materiais apropriados** para que os gasodutos comportem uma quantidade significativa de hidrogênio de baixo carbono (H2BC) em sua malha e **incentivar o desenvolvimento de “etanoldutos”**, em particular do duto central de Minas Gerais à região Centro-Oeste;
- iv. **Assegurar linhas de financiamento especiais** (BNDES, Fundo Clima, Plano Safra) por meio de funding específico voltado à transição energética para **investimentos voltados à produção de biocombustíveis (biodiesel, biometano, SAF, HVO etc.), hidrogênio de baixa emissão de carbono, montagem e customização de baterias e de células de baterias;**
- v. Criar mecanismos de certificação da disponibilidade e conformidade de biocombustíveis que assegurem a emissão de **Selos Verdes**, de modo que agentes de qualquer local possam bancar o gás que poderá ser utilizado em locais em que haja escoamento;
- vi. **Estender programas de financiamento especiais destinados aos ônibus elétricos aos seus congêneres** movidos a biometano (ou GNV, como combustível transitório), etanol ou hidrogênio de baixa emissão, híbridos ou não; e
- vii. Inserção na Lei Geral de Licitações de dispositivo que consagre a sustentabilidade como critério para compras de combustíveis ou que reserve percentual mínimo de aquisição de biocombustíveis pela administração pública;
- viii. **Reforçar programas de desenvolvimento científico-tecnológico** entre Universidades, ICTs e empresas privadas, por meio das linhas da FINEP e do BNDES, para projetos avançados em biocombustíveis: hidrogênio de baixa emissão de carbono, célula-combustível, SAF, bunker-verde, beneficiamento mineral e produção de células de bateria, desenvolvimento de softwares automotivos de gestão de sistemas, automação e direção autônoma, e processos limpos de reciclagem de novos materiais utilizados na mobilidade, com destaque para as baterias.”

## Ficha técnica

Estudo de Avaliação de Trajetórias Tecnológicas mais Eficientes para a Descarbonização da Mobilidade

Elaborado pela LCA Consultores e MTempo Capital



**Março 2024**

### Equipe técnica

**Prof. Luciano Coutinho,**  
sócio MTempo Capital

**Fernando Camargo,**  
diretor-sócio, LCA Consultores

**Bruno Assunção,**  
economista, LCA Consultores

**João Queiroz,**  
economista, LCA Consultores

[www.lcaconsultores.com.br](http://www.lcaconsultores.com.br)

A pedido do



[www.mbcbrasil.com.br](http://www.mbcbrasil.com.br)

**Instagram:** [instagram.com/mbcbrasil\\_](https://www.instagram.com/mbcbrasil_)

**LinkedIn:** [linkedin.com/company/mbcbrasil/](https://www.linkedin.com/company/mbcbrasil/)





**MBCB**  
MOBILIDADE DE BAIXO CARBONO PARA O BRASIL