
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA “Ministro Ralph Biasi”
Curso Superior de Tecnologia em Logística

Ailton Macedo Junior, Kauã Archanjo dos Santos

Sustentabilidade no Transporte Rodoviário: Uma Revisão da Literatura sobre a Redução da Emissão de CO₂ com Caminhões Elétricos e o Uso de Energia Solar

Americana, SP

2025

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA “MINISTRO RALPH BIASI”
Curso Superior de Tecnologia em Logística

Ailton Macedo Junior, Kauã Archanjo dos Santos

Sustentabilidade no Transporte Rodoviário: Uma Revisão da Literatura sobre a Redução da Emissão de CO₂ com Caminhões Elétricos e o Uso de Energia Solar

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido em cumprimento à exigência curricular do Curso Superior de Tecnologia em Logística sob a orientação da Profª. Dra. Karina Cenciani Rebelo.

Área de concentração: Logística

Americana, SP

2025

**FICHA CATALOGRÁFICA – Biblioteca Fatec Americana
Ministro Ralph Biasi- CEETEPS Dados Internacionais de
Catalogação-na-fonte**

MACEDO, Ailton

Sustentabilidade no Transporte Rodoviário: Uma Revisão da Literatura sobre a Redução da Emissão de CO₂ com Caminhões Elétricos e o Uso de Energia Solar . / Ailton Macedo, Kauã Archanjo – Americana, 2025.

23f.

Monografia (Curso Superior de Tecnologia em Logística) - - Faculdade de Tecnologia de Americana Ministro Ralph Biasi – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza

Orientadora: Profa. Dra. Karina Cenciani

1. Combustível fóssil 2. Meio ambiente 3. Transporte rodoviário. I. MACEDO, Ailton, II. ARCHANJO, Kauã III. CENCIANI, Karina IV. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Faculdade de Tecnologia de Americana Ministro Ralph Biasi

CDU: 551.2

504

656.1

Elaborada pelo autor por meio de sistema automático gerador de ficha catalográfica da Fatec de Americana Ministro Ralph Biasi.

Ailton Macedo Junior, Kauã Archanjo dos Santos

Sustentabilidade no Transporte Rodoviário: Uma Revisão da Literatura sobre a Redução da Emissão de CO₂ com Caminhões Elétricos e o Uso de Energia Solar

Trabalho de graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Logística pelo CEETEPS / Faculdade de Tecnologia de Americana “Ministro Ralph Biasi”.

Área de concentração: Logística

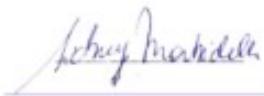
Americana, 01 de dezembro de 2025.

Banca Examinadora:

Karina Cenciani Rebelo
Karina Cenciani Rebelo (Presidente)
Doutorado
FATEC



Fernando Mirandola (Membro)
Especialista
FATEC



Sidney Morbidelli (Membro)
Doutorado
FATEC

AGRADECIMENTOS

Expresso minha sincera gratidão à minha orientadora, Prof.^a Dra. Karina Cenciani Rebelo pela paciência, dedicação e apoio em todas as etapas deste trabalho. Sua orientação foi essencial para o desenvolvimento deste projeto e para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Agradeço também ao coordenador do curso, Prof. João Francisco, por ter me ajudado a encontrar um orientador e por me incentivar a seguir em frente, mesmo diante das dificuldades. Sua atenção e disponibilidade foram fundamentais para que este trabalho se tornasse realidade.

Estendo meus agradecimentos aos professores do curso de Logística da FATEC Americana, os quais contribuíram com seus ensinamentos e experiências ao longo dessa jornada; e aos colegas e amigos que estiveram ao meu lado, compartilhando apoio, conhecimento e motivação.

RESUMO

Este trabalho analisou o impacto da utilização de caminhões elétricos e energia solar na redução das emissões de CO₂ no transporte rodoviário, tendo como exemplo a empresa Trans Kothe, do mercado de transporte brasileiro. A pesquisa foi realizada por meio das abordagens qualitativa e quantitativa. A abordagem qualitativa consistiu em uma pesquisa teórica com levantamento de estudos, artigos e relatórios sobre emissões de CO₂, sustentabilidade e inovação no transporte rodoviário, com o objetivo de contextualizar os desafios ambientais e as soluções tecnológicas do setor. A abordagem quantitativa envolveu um estudo de caso aprofundado sobre a frota elétrica da Trans Kothe, o uso de energia solar em suas operações e os impactos ambientais resultantes dessas iniciativas. A coleta de dados incluiu informações fornecidas pela empresa e por fontes oficiais, bem como entrevistas realizadas com especialistas da área, gestores da empresa, engenheiros ambientais e profissionais do setor logístico. O trabalho buscou identificar as principais fontes de emissões de CO₂ no transporte rodoviário de carga, comparar a eficiência energética e a pegada de carbono de caminhões elétricos em relação aos movidos a combustíveis fósseis; bem como estudar o impacto ambiental e econômico da transição para veículos elétricos alimentados por energia solar, avaliar as soluções sustentáveis adotadas pela Trans Kothe e outras empresas, examinar os desafios e oportunidades na adoção de tecnologias sustentáveis no setor. Os resultados evidenciaram que a adoção de caminhões elétricos e o aproveitamento de energia solar podem reduzir significativamente as emissões de CO₂, trazendo benefícios ambientais e econômicos relevantes; embora ainda existem barreiras estruturais e tecnológicas a serem superadas para a expansão dessas práticas no transporte rodoviário de cargas. Dados recentes reforçam essa constatação: caminhões elétricos movidos a bateria (BEVs) apresentam emissões médias de 22,1 g de CO₂/Km, o que representa uma redução de 81,1% em comparação com a média nacional de veículos a combustão: 117 g de CO₂/km. No que se refere à energia solar, o Brasil já evitou a emissão de mais de 50 milhões de toneladas de CO₂ desde a adoção dessa tecnologia, sendo que mais de 5,5 milhões de toneladas foram evitadas apenas no primeiro semestre de 2024. Esses dados evidenciam o potencial transformador das tecnologias sustentáveis na mitigação dos impactos ambientais do setor de transporte.

Palavras-chave: CO₂, Energia Solar, Transporte Rodoviário.

ABSTRACT

This study analyzed the impact of using electric trucks and solar energy on reducing CO₂ emissions in road transport, using the Brazilian transport company Trans Kothe as an example. The research was conducted using both qualitative and quantitative approaches. The qualitative approach consisted of a theoretical review of studies, articles, and reports on CO₂ emissions, sustainability, and innovation in road transport, aiming to contextualize the environmental challenges and technological solutions in the sector. The quantitative approach involved an in-depth case study of Trans Kothe's electric fleet, the use of solar energy in its operations, and the resulting environmental impacts of these initiatives. Data collection included information provided by the company and official sources, as well as interviews conducted with experts in the field, company managers, environmental engineers, and professionals in the logistics sector. The study aimed to identify the main sources of CO₂ emissions in road freight transport, compare the energy efficiency and carbon footprint of electric trucks versus those powered by fossil fuels; as well as study the environmental and economic impact of the transition to solar-powered electric vehicles, evaluate the sustainable solutions adopted by Trans Kothe and other companies, and examine the challenges and opportunities in adopting sustainable technologies in the sector. The results showed that the adoption of electric trucks and the use of solar energy can significantly reduce CO₂ emissions, bringing relevant environmental and economic benefits; although there are still structural and technological barriers to overcome for the expansion of these practices in road freight transport. Recent data reinforce this finding: battery electric trucks (BEVs) have average emissions of 22.1 g of CO₂/km, which represents an 81.1% reduction compared to the national average for combustion vehicles: 117 g of CO₂/km. Regarding solar energy, Brazil has already avoided the emission of more than 50 million tons of CO₂ since adopting this technology, with more than 5.5 million tons avoided in the first half of 2024 alone. These data highlight the transformative potential of sustainable technologies in mitigating the environmental impacts of the transport sector.

Keywords: CO₂, Solar Energy, Road Transportation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	09
1.1 Contextualização.....	09
1.2 Justificativa.....	09
1.3 Objetivos.....	09
1.4 Metodologia.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Fontes de Emissão no Transporte Rodoviário de Cargas.....	11
2.2 Eficiência Energética e Pegada de Carbono: Caminhões Elétricos x Convencionais.....	13
2.3 Impactos Ambientais e Econômicos da Transição para Veículos Elétricos...	15
2.4 Desafios e Oportunidades do Uso das Tecnologias Sustentáveis.....	17
3. ADOÇÃO DE CAMINHÕES ELÉTRICOS E ENERGIA SOLAR.....	19
3.1 Resultados e Benefícios Observados.....	20
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
REFERÊNCIAS.....	22

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O transporte rodoviário é uma das principais atividades responsáveis pela emissão de dióxido de carbono (CO_2), contribuindo de maneira significativa para os problemas ambientais globais, especialmente o aquecimento climático. Diante desse cenário, torna-se urgente o desenvolvimento de alternativas sustentáveis que reduzam o impacto ambiental sem comprometer a eficiência logística.

Dentro desse contexto, este trabalho apresenta como exemplo a empresa Trans Kothe, que vem adotando tecnologias inovadoras como caminhões elétricos e o uso de energia solar em suas operações, com o objetivo de minimizar ao máximo suas emissões de CO_2 . A crescente preocupação com a sustentabilidade e a necessidade de adaptação do setor de transportes às novas exigências ambientais fundamentam a escolha do tema, alinhando-se a uma tendência mundial de busca por soluções energeticamente eficientes e de baixo impacto ambiental.

1.2 Justificativa

O trabalho justifica-se pela necessidade de se ampliar o conhecimento sobre práticas sustentáveis aplicáveis ao setor, destacando a relevância de iniciativas que aliam inovação tecnológica e responsabilidade ambiental. A situação-problema reside na elevada emissão de CO_2 pelo transporte rodoviário tradicional e na busca por alternativas viáveis para mitigar seus efeitos.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste estudo foi analisar o impacto da utilização de caminhões elétricos e da energia solar na redução das emissões de CO_2 , tomando-se como referência a experiência da Trans Kothe.

Como objetivos específicos buscaram-se:

- Identificar as principais fontes de emissão no transporte rodoviário de carga;
- Comparar a eficiência energética e a pegada de carbono dos caminhões elétricos em relação aos veículos movidos a combustíveis fósseis;

- Estudar os impactos ambientais e econômicos da transição para veículos elétricos alimentados por energia solar;
- Avaliar as soluções adotadas pela empresa e examinar os desafios e oportunidades relacionados à adoção de tecnologias sustentáveis no setor.

Dessa forma, espera-se contribuir para a compreensão e o incentivo de práticas mais sustentáveis na logística de transporte rodoviário.

1.4 Metodologia

O desenvolvimento deste estudo baseou-se em abordagens: qualitativa e quantitativa. A abordagem qualitativa consistiu em uma pesquisa teórica, com levantamento de estudos, artigos e relatórios que tratam das emissões de CO₂, sustentabilidade e inovação tecnológica no setor de transporte rodoviário. O objetivo desta abordagem foi contextualizar os desafios ambientais e as soluções tecnológicas do setor.

Na abordagem quantitativa, foi realizado um estudo sobre a empresa Trans Kothe, sua frota elétrica, o uso de energia solar em suas operações e os impactos ambientais decorrentes dessas iniciativas. A coleta de dados envolveu a reunião de informações fornecidas pela própria empresa e por fontes oficiais, como órgãos ambientais e de transporte. Foram conduzidas entrevistas com especialistas, incluindo gestores da Trans Kothe, engenheiros ambientais e profissionais do setor logístico, a fim de se compreender melhor os benefícios, as dificuldades e as perspectivas relacionadas à adoção de práticas sustentáveis no transporte rodoviário.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O transporte rodoviário de cargas tem papel central na economia brasileira, sendo responsável por aproximadamente 65% da movimentação de mercadorias no país (Figura 01). Entretanto, esse protagonismo também o torna um dos principais emissores de gases de efeito estufa (GEE), especialmente o dióxido de carbono (CO_2), contribuindo significativamente para o agravamento das mudanças climáticas (CNT, 2024). A literatura recente tem abordado de forma crescente a relação entre transporte, emissões e tecnologias sustentáveis como caminhos para uma transição energética e ambientalmente responsável.

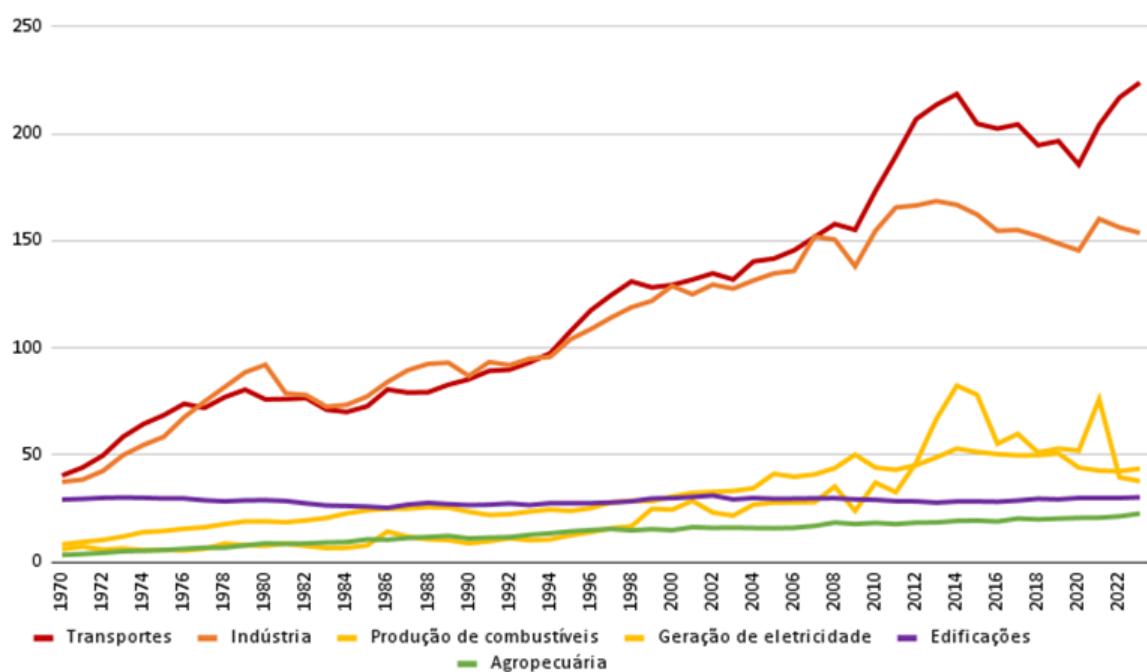


Figura 01 – Uso de combustíveis fósseis no Brasil entre 1970 a 2022. Fonte: <https://energiaeambiente.org.br/>

2.1 Fontes de Emissão no Transporte Rodoviário de Cargas

Segundo a ANTT (2023) as emissões de CO_2 no transporte rodoviário de carga têm como principal origem a combustão de combustíveis fósseis, como diesel e gasolina. De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), em 2022 o setor de transportes emitiu aproximadamente 204 milhões de toneladas de CO_2 equivalente (MtCO_2e), sendo que o modal rodoviário foi

responsável por mais de 90% desse total, ou seja, cerca de 185 MtCO₂e. Esse número expressivo está diretamente ligado à predominância do uso de combustíveis fósseis, à elevada dependência da matriz rodoviária para movimentação de cargas e passageiros, e à baixa eficiência energética da frota nacional (Figura 02).

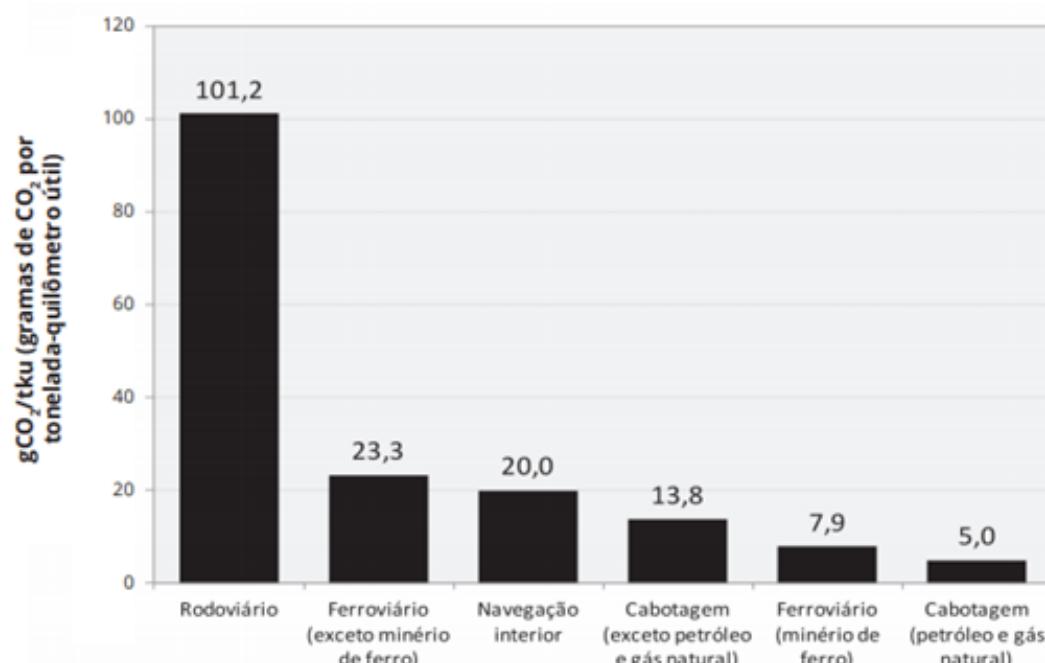


Figura 2 – Emissão específica de CO₂ por modo de transporte de carga no Brasil. Fonte: <https://www.mobilize.org.br/>.

A queima de diesel, amplamente utilizado em caminhões de médio e grande porte, libera em média 2,6 kg de CO₂ por litro. A eficiência energética desses motores a combustão é limitada, variando entre 30% e 40% (IEA, 2021), o que significa uma grande perda energética e aumento proporcional das emissões por quilômetro rodado.

O MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2023) destaca que o setor de transportes é um dos principais emissores de gases de efeito estufa no Brasil. Além da combustão fatores como idade da frota, sobrecarga, condições das vias e planejamento logístico ineficiente contribuem para o aumento das emissões. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2020), caminhões com mais de 20 anos de uso emitem até 25% mais CO₂ do que veículos novos. Já estradas em más condições podem elevar o consumo de combustível em até 13% (IPT, 2019).

A principal fonte de emissão de CO₂ no transporte rodoviário é o diesel, especialmente em veículos de carga e transporte coletivo, representando cerca de 66% das emissões do setor rodoviário. A gasolina, mais comum nos veículos de passeio, responde por aproximadamente 20% das emissões e libera cerca de 2,3 kg

de CO₂ por litro consumido. O etanol, embora classificado como biocombustível, também gera CO₂ durante a combustão – aproximadamente 1,5 kg por litro – porém com menor impacto líquido, devido à absorção de carbono pela cana-de-açúcar durante o crescimento. O gás natural veicular (GNV), utilizado em menor escala, emite em torno de 2,0 kg de CO₂ por metro cúbico.

As condições operacionais dos veículos também influenciam significativamente o volume de emissões. Fatores como congestionamentos urbanos, acelerações bruscas, freadas constantes, má utilização das marchas e excesso de carga contribuem para o aumento do consumo de combustível. Estudos do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) indicam que a má condução pode elevar o consumo de combustível em até 40%, enquanto a marcha lenta em congestionamentos pode representar um aumento de 30% no consumo. Além disso, veículos sobrecarregados podem consumir de 10 a 20% mais combustível do que o necessário em condições ideais de operação.

Outro fator crítico está relacionado às características da frota. O Brasil possui uma frota de veículos envelhecida: a idade média dos caminhões em circulação ultrapassa 20 anos, e a de automóveis é de aproximadamente 10 anos. Veículos mais antigos tendem a consumir mais combustível e apresentar tecnologias obsoletas de controle de emissões. De acordo com dados técnicos do setor, um veículo antigo pode consumir entre 15 e 25% mais combustível do que um veículo novo, em condições semelhantes. Além disso, veículos pesados emitem muito mais CO₂ por quilômetro rodado. Por exemplo, um caminhão médio pode emitir entre 800 a 1.200 gramas de CO₂ por quilômetro, enquanto um carro pequeno emite cerca de 100 a 150 g/km.

2.2 Eficiência Energética e Pegada de Carbono: Caminhões Elétricos x Convencionais

Para BATTISTI e GOMES (2023) a transição para veículos elétricos tem sido apresentada como uma das estratégias mais promissoras para se reduzir emissões no setor de transportes. Motores elétricos possuem eficiência energética superior a 90%, enquanto motores a diesel perdem a maior parte da energia na forma de calor (IEA, 2021). Isso significa que para a mesma quantidade de energia consumida, um caminhão elétrico percorre distâncias maiores com menor impacto ambiental.

Quanto à pegada de carbono, os caminhões convencionais emitem cerca de 1.040 g de CO₂ por quilômetro rodado, enquanto os veículos elétricos, por não utilizarem combustíveis fósseis diretamente, têm emissão zero durante a operação (ICCT, 2022). Mesmo considerando o ciclo completo (extração de matérias-primas, fabricação, uso e descarte), os caminhões elétricos apresentam, ao longo do tempo, uma redução de até 70% nas emissões totais de CO₂, especialmente quando carregados com energia de fontes renováveis (EMBARQ Brasil, 2021).

A eficiência energética diz respeito à capacidade de um veículo transformar energia em movimento. Nesse quesito, os caminhões elétricos apresentam uma vantagem expressiva. Motores elétricos operam com uma eficiência de conversão energética que pode ultrapassar 90%, enquanto motores a combustão interna (diesel) tem eficiência média entre 30% e 40%, considerando perdas por calor, atrito mecânico e escapamento. Isso significa que, para cada unidade de energia consumida, o caminhão elétrico aproveita mais energia útil para deslocamento, enquanto o veículo a diesel desperdiça grande parte dela (Figura 03).



Figura 03 – Caminhão elétrico da XCMG. Fonte: <https://insideevs.uol.com.br>

Essa diferença de eficiência se traduz em um menor consumo energético por quilômetro rodado. Por exemplo, estudos da Agência Internacional de Energia (IEA) mostram que um caminhão elétrico consome cerca de 0,8 a 1,2 kWh por quilômetro,

enquanto um caminhão convencional consome, em média, o equivalente a 2,2 a 2,6 kWh por quilômetro, considerando a energia contida no diesel. Portanto, além de mais eficiente, o caminhão elétrico tende a ser mais econômico em termos de custo operacional, especialmente quando combinado ao uso de energia renovável.

No que diz respeito à pegada de carbono, ou seja, a quantidade total de CO₂ emitida direta ou indiretamente durante a operação de um veículo, a diferença entre as tecnologias é ainda mais significativa. Um caminhão movido a diesel emite, em média, 2,6 kg de CO₂ por litro de combustível queimado. Considerando um consumo típico de 2,5 km por litro, isso equivale a aproximadamente 1.040 gramas de CO₂ por quilômetro rodado. Já os caminhões elétricos, durante a operação, não emitem CO₂ diretamente, o que os caracteriza como veículos de “emissão zero” no uso.

Entretanto, a pegada de carbono dos caminhões elétricos também depende da fonte de energia utilizada para carregamento das baterias. Se a eletricidade for gerada a partir de fontes renováveis, como a solar ou a eólica, as emissões associadas ao uso são praticamente nulas. No caso brasileiro, essa condição é bastante favorável: mais de 80% da matriz elétrica nacional provém de fontes renováveis, principalmente hidrelétricas, o que torna a operação dos caminhões elétricos ainda mais sustentável. Mesmo quando se considera o ciclo completo de vida (produção das baterias, extração de materiais, fabricação do veículo, descarte), os caminhões elétricos emitem, ao longo do tempo, de 30% a 70% menos CO₂ do que caminhões a diesel, dependendo do perfil operacional e da fonte energética utilizada.

2.3 Impactos Ambientais e Econômicos da Transição para Caminhões Elétricos

Para RIBEIRO e ALVES (2022) a adoção de caminhões elétricos alimentados por energia solar amplia os benefícios ambientais, ao eliminar praticamente todas as emissões associadas ao uso do veículo. No Brasil, esse cenário é ainda mais viável devido à matriz elétrica predominantemente renovável, cerca de 83% (EPE, 2023) e ao alto potencial de geração solar distribuída. Do ponto de vista econômico, embora o custo de aquisição de um caminhão elétrico seja até 2,5 vezes superior ao de um modelo convencional (ABVE, 2023), os custos operacionais são significativamente menores.

A eletricidade é mais barata que o diesel e os veículos elétricos requerem menos manutenção, por não possuírem sistemas de escapamento, embreagem ou

transmissão complexa. Estudos de viabilidade indicam que o payback de um caminhão elétrico alimentado por energia solar pode ocorrer em menos de 5 anos, dependendo do perfil operacional (RIBEIRO e ALVES, 2022).

A transição para veículos elétricos (VEs) no Brasil representa uma mudança significativa com impactos relevantes nos âmbitos ambiental e econômico (Figura 04). No que diz respeito ao meio ambiente, os VEs oferecem uma redução expressiva nas emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida do veículo. Estudos indicam que as emissões totais de um carro elétrico, considerando a produção e o uso, podem ser até 55,2% menores em comparação com um veículo a combustão interna. Essa diferença se deve principalmente à ausência de emissões diretas durante o uso do veículo e ao potencial de utilização de energia proveniente de fontes renováveis, como a hidrelétrica, amplamente utilizada no Brasil.

A ASCENSÃO DA MOBILIDADE ELÉTRICA

Frota e vendas anuais aceleraram no mundo na última década

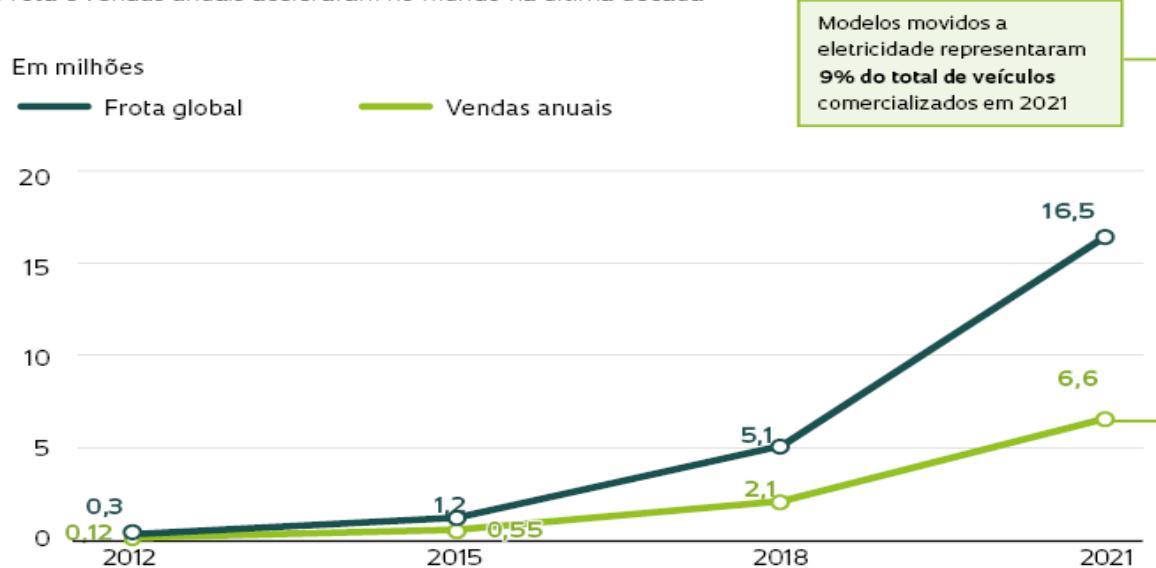


Figura 04 – Crescimento do uso de veículos VEs no Brasil. Fonte: <https://revistapesquisa.fapesp.br>.

Por outro lado, a fabricação de veículos elétricos ainda apresenta desafios ambientais consideráveis. A produção de baterias de íon-lítio, por exemplo, é intensiva em energia e recursos naturais como lítio, cobalto e níquel. Estima-se que essa etapa da produção possa gerar até 70% mais emissões de CO₂ em comparação com a fabricação de veículos convencionais, especialmente devido à mineração e ao processamento desses minerais. Além disso, a expansão da frota elétrica deverá

aumentar a demanda por eletricidade. Projeções apontam que, até 2030, essa demanda adicional poderá variar de 2.607 MWh/dia (cenário conservador) a 13.706 MWh/dia (cenário otimista), o que corresponde a aproximadamente 1,0% a 5,4% da capacidade total prevista do Sistema Interligado Nacional (SIN) para 2028.

No aspecto econômico, a adoção de veículos elétricos vem ganhando ritmo no país. Em 2024, as vendas internas ultrapassaram 177 mil unidades, com crescimento significativo nas importações, que superaram US\$ 1,6 bilhão, um aumento de mais de 100% em relação ao ano anterior. Esse crescimento tem impulsionado investimentos no setor e aponta para o surgimento de novas oportunidades de negócios e empregos.

Em um cenário de ampla eletrificação, estima-se a criação de cerca de 280 mil novos postos de trabalho entre 2021 e 2030, com uma geração de renda acumulada que pode alcançar R\$ 128,3 bilhões até 2050. Contudo, a transição ainda enfrenta barreiras importantes, como o alto custo de aquisição dos VEs, que podem custar entre 40% e 60% a mais do que veículos convencionais. A infraestrutura de recarga também é um ponto crítico, já que o Brasil possui pouco mais de 3.000 estações de carregamento, distribuídas de forma desigual e com maior concentração nas regiões Sul e Sudeste. Esses fatores limitam o acesso da população e atrasam a consolidação de uma mobilidade elétrica mais democrática e abrangente. Apesar dos desafios, os avanços na eletrificação da frota nacional indicam uma tendência clara de transformação no setor de transportes, com efeitos importantes para a sustentabilidade ambiental e o dinamismo econômico do país.

2.4 Desafios e Oportunidades do Uso das Tecnologias Sustentáveis

Empresas brasileiras vêm incorporando essas tecnologias como parte de estratégias ESG. Um exemplo relevante é a Trans Kothe, empresa que investiu na eletrificação da frota e instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica em suas bases operacionais (Figura 05). Com isso a empresa não apenas reduziu sua pegada de carbono, como também se destacou no setor logístico como referência em transporte de carga limpa e eficiente.

O uso de tecnologias sustentáveis no Brasil vem crescendo como resposta às preocupações com o meio ambiente, a economia e a qualidade de vida. Essa transição traz grandes oportunidades, mas também enfrenta desafios importantes. Porém um dos principais obstáculos ainda é o custo inicial dessas tecnologias.

Equipamentos como painéis solares, carros elétricos e sistemas de reaproveitamento de água ainda são caros, o que dificulta o acesso por famílias de baixa renda e pequenas empresas. Além disso, faltam profissionais qualificados e infraestrutura adequada para instalar e manter essas soluções, o que atrasa sua expansão e apoio técnico que tornem essas alternativas mais acessíveis e atrativas.



Figura 05 – Caminhão movido a energia solar. Fonte: <https://www.tecnologistica.com.br/>.

Outro desafio é a resistência à mudança. Muitas pessoas e empresas ainda preferem métodos tradicionais por desconhecimento ou medo de arriscar. Faltam políticas públicas mais fortes, incentivos financeiros. Por outro lado, as oportunidades são enormes. O Brasil tem um grande potencial para gerar energia limpa, como solar, eólica e biomassa. Investir nisso pode reduzir a poluição, criar empregos e tornar o país menos dependente de combustíveis fósseis. No transporte, por exemplo, o uso de veículos elétricos e sistemas mais inteligentes pode melhorar a mobilidade urbana e diminuir os impactos ambientais. Já na construção civil, materiais ecológicos e projetos mais eficientes ajudam a economizar energia e água.

Além de proteger o meio ambiente, as tecnologias sustentáveis também podem gerar renda, inovação e desenvolvimento. Com incentivos certos, parcerias entre

governo, empresas e universidades, e uma mudança de mentalidade, é possível transformar esses desafios em caminhos para um futuro mais justo e equilibrado para todos.

Apesar dos avanços, a adoção de caminhões elétricos em larga escala ainda enfrenta desafios significativos. Entre os principais estão o alto custo inicial dos veículos, a baixa autonomia das baterias, a escassez de infraestrutura de recarga rápida nas rodovias e a logística de descarte e reciclagem das baterias. Há também entraves regulatórios e fiscais que dificultam a competitividade dos veículos elétricos frente aos convencionais.

3. ADOÇÃO DE CAMINHÕES ELÉTRICOS E ENERGIA SOLAR

A VOLKSWAGEN (2024) aponta que a eletrificação da frota, quando combinada ao uso de energias renováveis, representa uma das estratégias mais eficazes para a redução de impactos ambientais. Estudos recentes indicam que empresas que utilizam caminhões elétricos apresentam ganhos expressivos em eficiência energética, devido ao melhor aproveitamento da energia e ao menor número de componentes mecânicos sujeitos a desgaste. Além disso, a integração da eletromobilidade com sistemas próprios de geração fotovoltaica tem sido destacada como uma alternativa economicamente viável no médio e longo prazo, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e mitigando a volatilidade dos preços de diesel.

No contexto da Trans Kothe, a literatura sobre logística sustentável aponta que empresas que adotam essa combinação tecnológica costumam implementar duas frentes principais: (i) renovação gradual da frota com veículos elétricos destinados, principalmente, a rotas curtas e médias, onde a autonomia é suficiente e o padrão de carregamento é previsível; e (ii) instalação de usinas solares ou sistemas fotovoltaicos distribuídos, permitindo que parte ou a totalidade da recarga da frota seja realizada com energia limpa e de baixo custo.

Pesquisadores da área ressaltam ainda que a adoção de caminhões elétricos é associada a uma mudança estratégica no modelo operacional das empresas, que passam a priorizar eficiência, digitalização e monitoramento em tempo real. Nesse cenário, o caso da Trans Kothe se alinha ao movimento global descrito na literatura, no qual empresas logísticas adotam frotas elétricas não apenas por motivação ambiental, mas também pela possibilidade de ganhos financeiros e competitivos, já

que a eletrificação proporciona redução de consumo energético, menor ruído, menos manutenção e maior controle da operação.

3.1 Resultados e Benefícios Esperados

A literatura especializada aponta uma série de benefícios associados à adoção de caminhões elétricos e energia solar. Um dos mais citados é a redução significativa das emissões de CO₂. Pesquisas demonstram que veículos elétricos podem reduzir entre 60% e 90% das emissões diretas quando comparados a caminhões movidos a diesel, especialmente quando a eletricidade utilizada provém de fontes renováveis, como a energia solar. Assim, empresas que adotam modelos híbridos de energia (rede + solar) tendem a maximizar o impacto ambiental positivo.

Além do aspecto ambiental, diversos estudos destacam vantagens econômicas importantes. Entre elas: diminuição dos custos de combustível, redução de despesa com manutenção preventiva e corretiva, maior eficiência energética (energia elétrica é mais barata e melhor aproveitada), e aumento da vida útil dos componentes mecânicos. A literatura também aponta que, com o avanço da tecnologia e a ampliação da infraestrutura de recarga, o custo total de propriedade (TCO) dos caminhões elétricos tende a diminuir progressivamente, tornando sua adoção ainda mais estratégica para empresas de transporte.

Outro ponto discutido pela literatura é o impacto interno nas organizações. Pesquisas relatam que empresas que adotam frotas elétricas e geram sua própria energia tendem a desenvolver uma cultura interna mais orientada à inovação, ampliando treinamento de equipes, incentivando pesquisa e desenvolvimento e fortalecendo o ecossistema organizacional voltado à sustentabilidade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como propósito analisar como o uso de caminhões elétricos e de energia solar pode contribuir para reduzir as emissões de CO₂ no transporte rodoviário de cargas, tomando como base a experiência da empresa Trans Kothe. A pesquisa mostrou que essas tecnologias trazem resultados muito positivos, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

Ficou evidente que os caminhões elétricos emitem muito menos poluentes que os veículos a diesel, e que o uso da energia solar nas operações torna o processo ainda mais sustentável. Além disso, a empresa estudada mostrou que é possível unir eficiência logística com responsabilidade ambiental, obtendo também economia com manutenção e combustível a longo prazo.

Por outro lado, ainda existem desafios importantes, como o alto custo de aquisição, a limitação da autonomia das baterias e a falta de infraestrutura adequada de recarga. Também se percebe a necessidade de mais incentivos governamentais, políticas públicas e investimentos em pesquisa e capacitação para que a adoção dessas tecnologias se torne mais acessível e abrangente.

De modo geral, o estudo atingiu seus objetivos e confirmou o potencial das práticas sustentáveis no setor de transporte. Para trabalhos futuros, recomenda-se aprofundar a análise econômica e operacional dos caminhões elétricos e investigar o impacto da expansão da energia solar na matriz logística nacional.

Conclui-se que tornar o transporte rodoviário mais sustentável é um desafio, mas também uma grande oportunidade de inovação, crescimento e compromisso com um futuro ambientalmente responsável.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). Relatório de Sustentabilidade do Transporte Rodoviário de Cargas 2023. Brasília: ANTT, 2023. Disponível em: <https://www.antt.gov.br>. Acesso em: 10 nov. 2025.

BATTISTI, A. M.; GOMES, D. F. A importância da sustentabilidade logística na redução das emissões de carbono. *Revista Científica de Logística e Meio Ambiente*, v. 9, n. 1, p. 58–76, 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Mudanças climáticas e emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes. Brasília: MMA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma>. Acesso em: 10 nov. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Pesquisa CNT de Transporte de Cargas 2024. Brasília: CNT, 2024. Disponível em: <https://www.cnt.org.br>. Acesso em: 10 nov. 2025.

NASCIMENTO, C. R.; LIMA, T. H. Energia Solar e sua Aplicação no Setor de Transporte Rodoviário. *Revista Energia & Sustentabilidade*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, p. 72–88, 2022.

RIBEIRO, S. K.; ALVES, M. A. Transporte Sustentável e Emissões de CO₂ no Brasil. *Revista Brasileira de Transporte Sustentável*, v. 8, n. 2, p. 45–67, 2022. DOI: 10.1590/rbts2022v8n2.

SILVA, J. P.; OLIVEIRA, F. L. Caminhões Elétricos: Desafios e Oportunidades para o Transporte Rodoviário de Cargas no Brasil. *Revista de Logística e Sustentabilidade*, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 23–39, 2023.

SILVEIRA, E. L.; MENDES, R. T. Energias Renováveis e o Setor de Transporte: um olhar sobre a energia solar. *Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade*, v. 6, n. 2, p. 14–30, 2022.

TRANSPORTE MODERNO. Adoção de Caminhões Elétricos no Brasil cresce em 2024. São Paulo: Portal Transporte Moderno, 2024. Disponível em: <https://www.transportemoderno.com.br>. Acesso em: 10 nov. 2025.

VOLKSWAGEN Caminhões e Ônibus. Relatório de Sustentabilidade: Caminhões Elétricos e e-Delivery. Resende: VWCO, 2024. Disponível em: <https://www.vwco.com.br>. Acesso em: 10 nov. 2025.