

ANÁLISE DO USO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO TRANSPORTE URBANO DE CARGAS NA ÚLTIMA MILHA, SOB AS ÓTICAS DA TECNOLOGIA E DA SUSTENTABILIDADE

Data de submissão: 29/04/2024

Data de aceite: 02/05/2024

Pedro Magalhães de Souza

Universidade Federal de Goiás -
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Discente da graduação em Engenharia de
Transportes
Aparecida de Goiânia - Goiás
<https://lattes.cnpq.br/8094554999032962>

Carlos Eduardo Sanches de Andrade

Universidade Federal de Goiás -
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Docente das graduações em Engenharia
de Transportes e Engenharia Civil
Aparecida de Goiânia - Goiás
<http://lattes.cnpq.br/2536969910869609>

Cintia Isabel de Campos

Universidade Federal de Goiás -
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Docente da graduação em Engenharia de
Transportes
Aparecida de Goiânia - Goiás
<http://lattes.cnpq.br/5315960172655542>

RESUMO: O transporte de cargas nas áreas urbanas representa um grande desafio devido ao aumento do tráfego, poluição do ar e emissões de gases poluentes. Com o intuito de melhorar e otimizar ainda mais esta etapa crucial da cadeia logística, dada

a necessidade de adaptações e mudanças em relação aos modelos atualmente em prática, estão emergindo novas tecnologias a fim de substituir os modelos tradicionais de veículos movidos a combustíveis fósseis. O objetivo deste trabalho é analisar os impactos, tanto positivos quanto negativos, do uso de veículos elétricos existentes empregado no transporte de cargas na última milha, nas três esferas da sustentabilidade: econômica, ambiental e social. Os resultados mostram que, se por um lado, os veículos elétricos representam uma solução promissora para esses problemas, por outro existem grandes desafios e barreiras a serem superados.

PALAVRAS-CHAVE: Última milha. Tecnologia. Sustentabilidade. Transporte urbano de cargas. Veículos elétricos.

ANALYSIS OF THE USE OF ELECTRIC VEHICLES IN URBAN CARGO TRANSPORT IN THE LAST MILE, FROM THE PERSPECTIVE OF TECHNOLOGY AND SUSTAINABILITY

ABSTRACT: Cargo transportation in urban areas represents a major challenge due to increased traffic, air pollution and polluting

gas emissions. In order to further improve and optimize this crucial stage of the logistics chain, given the need for adaptations and changes in relation to the models currently in practice, new technologies are emerging in order to replace traditional vehicle models powered by fossil fuels. The objective of this work is to analyse the impacts, both positive and negative, of the use of existing electric vehicles used in last-mile freight transport, in the three spheres of sustainability: economic, environmental and social. The results show that, while on the one hand, electric vehicles represent a promising solution to these problems, on the other hand, there are major challenges and barriers to be overcome.

KEYWORDS: Last mile. Technology. Sustainability. Urban freight transport. Electric vehicles.

INTRODUÇÃO

O conceito de última milha vem sendo discutido com o passar dos anos e ganhando cada vez mais espaço e importância no mundo globalizado atual. A última milha, do inglês *last-mile*, está diretamente relacionado ao transporte urbano de cargas e caracteriza-se por ser a etapa final da cadeia de distribuição, ou seja, o processo de entrega do centro de distribuição até o consumidor final, sendo considerada a fase mais importante do processo logístico visto que impacta diretamente na experiência do cliente e representa uma variedade de desafios que englobam essa etapa.

Diante disso, a última milha é considerada como uma das partes mais caras, menos eficientes e mais poluentes de toda a cadeia de abastecimento (Manerba *et al.*, 2018). Como mostra Carvalho (2011), o setor de transportes corresponde a cerca de 20% das emissões globais de dióxido de carbono - CO₂, que é um dos principais gases causadores do efeito estufa, desconsiderando outros poluentes atmosféricos também nocivos ao meio ambiente. Também, é nessa etapa que ocorre o maior custo com transporte de cargas para a maioria das empresas. No Brasil, cerca de 12,37% dos custos das empresas brasileiras são com logística, segundo um estudo da Fundação Dom Cabral (FDC, 2018), onde 63,5% do custo logístico total corresponde ao transporte. De acordo com Mesquita e Etcheverry (2018), o custo com a última milha pode variar entre 28% e 53% do custo total da cadeia de abastecimento e correlacionado a isso, segundo Joeress *et al.* (2016), o custo da entrega na última milha aumentou a uma taxa de crescimento de 10% ao ano.

A fim de aprimorar e maximizar cada vez mais essa importante etapa da cadeia logística, visto a necessidade de adequações e a ruptura quanto aos modelos praticados atualmente, novas tecnologias vêm surgindo e colaborando com esse processo. Segundo Alice e Ertrac (2015), o relatório *Urban Freight Research Roadmap* relata que o panorama futuro do transporte de cargas na última milha será moldado pela introdução de novas tecnologias. Isso implica na utilização de uma variedade de métodos, veículos e tecnologias nas atividades de transporte de mercadorias no trecho final da cadeia, resultando em distintos efeitos nos âmbitos econômico, ambiental e social.

Portanto, visto a imensidão de veículos e tecnologias que são empregadas no transporte realizado da última milha, busca-se analisar o uso de veículos elétricos no transporte de cargas nessa etapa crucial da cadeia logística. Os objetivos do trabalho são de realizar uma abordagem sistêmica acerca dos diferentes tipos de veículos elétricos utilizados no transporte urbano de carga na última milha. Esta análise visa avaliar os efeitos, tanto positivos quanto negativos, nas dimensões da tecnologia e nas áreas da sustentabilidade: econômico, ambiental e social.

RESULTADOS

Nos últimos anos, a busca por soluções de transporte mais sustentáveis tem ganhado destaque, especialmente em áreas urbanas onde a poluição, o congestionamento e os desafios logísticos são cada vez mais evidentes. Nesse contexto, a utilização de veículos elétricos na chamada “última milha” tem despertado considerável interesse e vem sendo explorada como uma alternativa promissora para a solução desses problemas.

Tradicionalmente, os veículos movidos a combustíveis fósseis têm sido predominantemente empregados nesse cenário de “última milha” do transporte urbano de cargas, contribuindo com aumento do número de congestionamento de tráfego, ruído, poluentes e emissões, bem como maior risco de acidentes de trânsito (Shibao e Santos, 2021), além de aumentar os custos operacionais devido à volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis e sua manutenção. Neste contexto, os veículos elétricos surgem como uma alternativa promissora e alinhada aos objetivos de sustentabilidade ambiental, econômica e social.

Segundo Souza et al. (2024), os veículos elétricos (VEs) são definidos como veículos que utilizam um ou mais motores elétricos alimentados por baterias recarregáveis, eliminando assim a dependência de combustíveis fósseis e não emitindo poluentes diretamente durante seu funcionamento. Suas principais características são a baixa emissão de gases poluentes, não necessitam de aquecimento prévio e seu desempenho é superior aos veículos de combustão interna (Shibao e Santos, 2021). Pode-se citar alguns exemplos desses veículos, como as bicicletas, vans e motos elétricas, que são utilizadas por diversas empresas para a entrega de mercadorias na última milha.

Os veículos elétricos podem ser classificados de acordo com duas categorias: os veículos puramente elétricos (VPE) e os veículos híbridos (VH). A distinção entre esses modelos reside na fonte de energia elétrica utilizada. Nos VPEs, a energia é fornecida diretamente pela bateria, enquanto nos VHs, a energia elétrica é gerada pela bateria, que por sua vez é recarregada por um motor de combustão interna (Castro e Ferreira, 2010). Na figura 1 são apresentadas as características dessas 2 classificações de veículos elétricos.

Tipos	Veículo Puramente Elétrico (VPE)	Veículo Híbrido (VH)
Propulsão	<ul style="list-style-type: none"> • Motor elétrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Motor elétrico • Maquinário de combustão interna
Sistema de energia	<ul style="list-style-type: none"> • Bateria • Ultracapacitor 	<ul style="list-style-type: none"> • Bateria • Ultracapacitor • Unidade de geração por maquinário de combustão interna
Fonte de energia e infraestrutura	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidades de carregamento por <i>grid</i> elétrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Postos de gasolina • Facilidades de carregamento por <i>grid</i> elétrico (para os <i>plugin</i>)
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Zero emissões • Alta eficiência energética • Independência de combustíveis fósseis • Baixa autonomia • Alto custo inicial • Disponibilidade comercial 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões muito baixas • Elevada economia de combustível quando comparado ao veículo de combustão interna (VCI) • Alta autonomia • Dependência de combustíveis (exceto para os <i>plugin</i>) • Elevado custo quando comparado ao VCI • Comercialmente disponível

Figura 1: Característica dos veículos puramente elétricos (VPE) e veículo híbrido (VH)

Fonte: Adaptado de Shiba e Santos (2021)

Os veículos elétricos na última milha apresentam uma série de vantagens ambientais, econômicas e operacionais. Em primeiro lugar, destacam-se os benefícios ambientais, uma vez que esses veículos apresentam uma redução de poluentes atmosféricos locais e regionais, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), dióxido de enxofre (SO₂), hidrocarbonetos, dioxinas e benzeno, assim como material particulado - cádmio, zinco, níquel, platina e cromo (Iwan *et al.*, 2021), visto que operam sob eletricidade. Ao utilizar energia elétrica como fonte de propulsão, esses veículos reduzem significativamente as emissões de poluentes locais, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e para a mitigação das mudanças climáticas. Segundo Patella *et al.* (2020), a eletrificação é procurada uma vez que a eficiência dos motores elétricos é superior à dos motores movidos a combustíveis fósseis devido à travagem regenerativa. A difusão desse tipo de tecnologia pode ampliar ainda mais a atratividade dos veículos elétricos na logística de última milha, tanto em termos de viabilidade econômica quanto de impacto ambiental positivo.

De acordo com Oliveira *et al.* (2022), com dados do estudo realizado pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), até o ano de 2035, prevê-se que mais de 60% dos veículos no Brasil serão elétricos. No entanto, esses veículos representarão apenas 1,5% do total de energia produzida no país, indicando que o novo modelo não deve ser encarado como uma ameaça significativa para a geração de energia. Além disso, o autor diz que o estudo revela que o veículo elétrico consome 90% da eficiência energética disponível, tornando-se altamente eficiente quando comparado a eficiência do motor a combustão, que consome cerca de apenas 30% a 40%. Outro ponto favorável

para os veículos elétricos é sua manutenção, onde o desgaste das peças é bem menor e os gastos com manutenção ficam em torno de 20% a 30% mais baratos em relação a um veículo convencional movido a combustão.

Diante desse movimento de eletrificação da rota na última milha, grandes empresas estão viabilizando e explorando diversas opções de veículos elétricos em todos os setores de transporte, inclusive nessa etapa. Isso, segundo Oliveira *et al.* (2022), é tanto uma estratégia para diminuir os custos quanto uma resposta à crescente demanda do mercado por parceiros comprometidos com a sustentabilidade. De acordo com Rezgui *et al.* (2019) e Verma (2018), empresas como Mercado Livre, FedEx, General Electric e Coca-Cola já utilizam modelos de veículos elétricos na entrega na última milha. No Brasil, o Correios finalizou experimentos utilizando duas bicicletas elétricas e um triciclo elétrico na cidade de Brasília (DF), em colaboração com a empresa EcoStart. Um dos modelos testados também foi o furgão BYD T3, como mostra a figura 2, tendo capacidade para transportar até 800 kg de mercadorias e pode acomodar até dois ocupantes.



Figura 2: Furgão BYD T3, movido a eletricidade, utilizado pelos Correios de Brasília

Fonte: Oliveira *et al.* (2022)

DISCUSSÃO

Apesar das muitas vantagens, a adoção de veículos elétricos na última milha não está isenta de desafios e limitações significativas. Essas desvantagens podem impactar tanto a viabilidade econômica quanto a eficácia operacional desses veículos em contextos urbanos de entrega de mercadorias. Um dos principais obstáculos enfrentados pelos veículos elétricos na última milha é a questão da autonomia limitada das baterias. Para

Iwan (2021), embora os veículos elétricos demonstrem eficiência e versatilidade no consumo de energia, também apresentam algumas fraquezas notáveis, como a menor densidade energética das baterias em comparação com os combustíveis utilizados pelos veículos com motor de combustão interna, o tempo de recarga das baterias dos veículos elétricos em comparação com o processo de abastecimento de tanques nos veículos a combustão interna é consideravelmente mais longo, além também da escassez de estações de carregamento público e/ou privado para veículos elétricos, representando um desafio significativo para esse tipo de tecnologia. Além disso, segundo o autor, a operação de veículos elétricos resulta em uma demanda adicional na produção de energia, e quando essa energia é gerada a partir da queima de recursos fósseis convencionais, isso contribui para um aumento da poluição atmosférica, evidenciando que a substituição do veículo de combustão interna pelo elétrico não elimina por completo o desgaste ambiental, já que como nesse processo de produção de energia, na fase de produção dos automóveis pode haver também um aumento na emissão de poluentes (Teixeira e Sodré, 2015).

Outra preocupação é o custo inicial mais elevado dos veículos elétricos em comparação com os veículos tradicionais movidos a combustíveis fósseis. Embora os custos operacionais possam ser menores a longo prazo devido à redução do consumo de combustível e à manutenção simplificada, o investimento inicial pode representar um obstáculo significativo para muitas empresas de transporte. Ideia essa confirmada por Taef *et al.* (2017), quando relata que os custos de aquisição de veículos elétricos ainda são considerados uma barreira substancial à sua utilização generalizada. De acordo com Patella *et al.* (2020), assim como os veículos, o alto custo das baterias ainda representa um grande obstáculo para a popularização dos veículos elétricos, e incentivos são essenciais para assegurar sua competitividade econômica. Por fim, uma desvantagem associada ao uso de veículos elétricos é o potencial aumento da distância percorrida, como evidenciado por diversos autores. O aumento dos quilômetros percorridos por esses veículos pode contribuir para o aumento do número de congestionamento do tráfego e suas consequências negativas adicionais, indo contra o pensamento sustentável para o setor da última milha (Patella *et al.*, 2020).

No entanto, apesar dos benefícios evidentes, a adoção em larga escala de veículos elétricos na última milha ainda enfrenta desafios significativos, como a autonomia das baterias, a infraestrutura de recarga e os custos iniciais mais elevados. Portanto, é fundamental analisar de forma crítica o papel dos veículos elétricos nesse contexto, considerando tanto os seus benefícios potenciais quanto os desafios e barreiras a serem superados.

Apesar de suas limitações, segundo Iwan (2021), os veículos elétricos estão se posicionando como o futuro tecnológico dos sistemas de transporte de passageiros e cargas nas cidades, principalmente no que engloba o setor da última milha. De acordo com Giordano *et al.* (2017), a adoção em larga escala de veículos elétricos tem um impacto significativo

nos aspectos socioeconômicos e ambientais da operação urbana. Isso é evidente dado o contínuo desenvolvimento da tecnologia atualmente empregada, que promete melhorar ainda mais o desempenho e a praticidade desses veículos. Essa evolução tem o potencial de reduzir significativamente as emissões de gases do efeito estufa e de outros poluentes atmosféricos, principalmente ao aumentar a eficiência dos veículos e também por meio do desenvolvimento de sistemas de geração de energia baseados em fontes renováveis. Autoridades estão implementando uma variedade de iniciativas para incentivar as empresas de transporte a substituir suas frotas movidas a diesel por tecnologias alternativas, como veículos elétricos. O exemplo de uma política pública, segundo Boysen *et al.* (2020), que impacta diretamente as entregas de última milha é, por exemplo, que algumas regiões do mundo, como a Colúmbia Britânica, província localizada no Canadá, permitem que veículos elétricos utilizem faixas exclusivas, que normalmente são reservadas para o transporte coletivo. Tal política poderia ser um incentivo para que os serviços de correio eletrifiquem sua frota, a fim de realizarem mais rapidamente suas entregas, facilitando o escoamento para as áreas da cidade através dessas faixas.

Segundo Patella *et al.* (2020), uma questão central na formulação de políticas para a logística de transporte urbano é encontrar métodos que auxiliem os tomadores de decisão na avaliação antecipada de possíveis soluções alternativas, levando em consideração os interesses e preferências de todas as partes interessadas envolvidas. Para o autor, a integração e coordenação de diversos intervenores, tanto públicos quanto privados, são fundamentais para a melhoria da logística de transporte urbano, resultando na redução de custos e externalidades ambientais negativas. Como destacado por Cleophas *et al.* (2019), o principal desafio para o desenvolvimento da logística urbana sustentável é promover a colaboração entre empresas, provedores de serviços logísticos, cidadãos e o setor público. Enquanto, para as barreiras quanto à eletrificação da frota, Oliveira *et al.* (2022) diz que a melhor solução seria estimular o uso de fontes de energia renovável para carregar e recarregar as baterias dos veículos elétricos. Isso deve ser realizado por meio de políticas públicas e parcerias com o setor privado, visando expandir a cobertura das rotas atendidas em termos de distância. Segundo o autor, a preocupação dos proprietários das empresas em relação à disponibilidade de estações de carregamento dentro da autonomia dos veículos é um desafio significativo. Essa preocupação pode dificultar a disseminação de veículos elétricos. Além disso, é essencial garantir a compatibilidade das estações de carregamento, dado que há diversos modelos de carros elétricos no mercado, cada um com sua própria infraestrutura de recarga, sendo crucial expandir a infraestrutura de recarga para impulsionar a adoção de veículos elétricos (LI *et al.*, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste trabalho foi examinar os veículos elétricos empregados no transporte urbano de cargas na última milha. Os resultados abrangem uma síntese e análise dos veículos elétricos, especialmente aqueles utilizados na etapa final da cadeia logística. Foi realizada uma análise dos impactos, tanto positivos quanto negativos, que esses veículos têm sobre os aspectos da tecnologia e da sustentabilidade - econômicos, ambientais e sociais.

Por um lado, os veículos elétricos representam uma solução promissora para reduzir as emissões de poluentes, melhorar a qualidade do ar nas cidades e mitigar os impactos das mudanças climáticas. Sua tecnologia oferece eficiência energética, custos operacionais mais baixos e uma alternativa mais limpa em comparação com os veículos movidos a combustíveis fósseis.

No entanto, existem desafios significativos a serem superados. A autonomia limitada das baterias, a falta de infraestrutura de recarga adequada e os custos elevados ainda representam obstáculos para uma adoção mais ampla e eficaz dos veículos elétricos na última milha. Além disso, a necessidade de integração e coordenação entre diferentes partes envolvidas, incluindo as empresas de transporte, autoridades e fornecedores de energia, é fundamental para garantir o sucesso e a sustentabilidade dessa transição.

Diante desse contexto, é essencial que políticas públicas incentivem o uso de fontes renováveis de energia para carregar e recarregar as baterias dos veículos elétricos, além de promover parcerias com o setor privado para expandir a rede de recarga. A colaboração entre empresas, prestadores de serviços logísticos, cidadãos e o setor público também é crucial para superar os desafios e aproveitar ao máximo os benefícios dos veículos elétricos no transporte urbano de cargas na última milha.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e a Universidade Federal de Goiás - UFG pelo suporte técnico e operacional concedido. O primeiro autor agradece pelo suporte financeiro recebido para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

Boysen, N.; Fedtke, S.; Schwerdfeger, S. (2020) *Last-mile Delivery concepts: a Survey from an Operational Research Perspective*. OR Spectrum, v. 43, n. 1.

Carvalho, C. R. (2011). Emissões relativas de poluentes do transporte público. IPEA - boletim regional, urbano e ambiental. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5574/1/BRU_n05_emiss%C3%B5es.pdf>. Acesso em: 20 abril 2024.

Castro, B. H. R. D.; Ferreira, T. T. (2010). Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. BNDES Setorial, n. 32, p. 267-310.

Cleophas, C.; Cottrill, C.; Ehmke, J.F.; Tierney, K. (2019) *Collaborative urban transportation: Recent advances in theory and practice*. Eur. J. Oper. Res., n. 273, p. 801-816.

Giordano, A., Fischbeck, P., & Scott, M. H. (2017). *Environmental and economic comparison of diesel and battery electric delivery vans to inform city logistics fleet replacement strategies*. Transportation Research Part D: Transport and Environment.

Iwan, S. *et al.* (2021) *Efficiency of light electric vehicles in last mile deliveries – Szczecin case study*. Sustainable Cities and Society, v. 74, p. 103-167.

LI, S. *et al.* (2017) *The Market for Electric Vehicles: Indirect Network Effects and Policy Design*. Journal of the Association of Environmental and Resource Economists, v. 4, n. 1.

Oliveira, D.; Bucker, J.; Carneiro, L. A. P.; Cremonese, R. L.; Chaves, T. O. (2022) Estudo de caso: estudo sobre a utilização de veículos elétricos nas operações de last mile para entregas, coletas e substituição de máquinas de cartão de crédito e débito, junto aos comerciantes nas cidades de Brasília e Recife. 73f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Negócio) - Fundação Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, Florianópolis.

Patella, S. M. *et al.* (2020) *The Adoption of Green Vehicles in Last Mile Logistics: A Systematic Review*. Sustainability, v. 13, n. 1, p. 6.

Rezgui, D.; Siala, J. C.; Aggoune-Mtalaa, W.; Bouziri, H. (2019) *Application of a variable neighborhood search algorithm to a fleet size and mix vehicle routing problem with electric modular vehicles*. Computers & Industrial Engineering, v. 130, p. 537-550.

Souza, P. M.; Andrade, C. E. S.; Campos, C. I. (2024). Avaliação do uso de diferentes veículos de transporte urbano de carga na última milha, sob as óticas da tecnologia e da sustentabilidade. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar, 5(2), e514854.

Taef, T. T.; Stütz, S.; Fink, A. (2017). *Assessing the cost-optimal mileage of medium-duty electric vehicles with a numeric simulation approach*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, v.56, p. 271–285.

Teixeira, A.C.R.; Sodré, J. R. (2015) Comparação das emissões de CO2 e consumo de energia de um veículo elétrico e um veículo com motor de combustão interna. SAE International.

Verma, A. (2018) *Electric vehicle routing problem with time windows, recharging stations and battery swapping stations*. Research Societies (EURO), v.7.