

Desenvolvimento de uma Plataforma de Otimização de Rotas com Análise de Emissões de CO₂ para Transporte Urbano e Logística de Pequeno Porte

Development of a Route Optimization Platform with CO₂ Emission Analysis for Urban Transport and Small-Scale Logistics

André Roberto da Silva ^{1, i}
Maurício Falvo ^{2, ii}
Paulo José Rodolpho ^{3, iii}
Sophia Vendramini Piovezan ^{4, iv}
Tony Emerson Marim ^{5, v}

RESUMO

As transformações recentes nos padrões de mobilidade urbana e na dinâmica da logística de pequeno porte têm acentuado os desafios relacionados às emissões atmosféricas, especialmente de dióxido de carbono (CO₂), nas cidades brasileiras. Estudos como os de Guimarães *et al.* (2015) e Silva (2011) evidenciam que a concentração do transporte rodoviário na matriz nacional, associado ao crescimento do tráfego urbano, intensifica os impactos ambientais, sociais e energéticos. Diante desse cenário, a integração de soluções tecnológicas que combinem otimização logística com critérios ambientais surge como uma estratégia promissora para mitigar tais efeitos. Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma plataforma web voltada à roteirização urbana, capaz de considerar variáveis como distância, tempo de percurso e emissões de CO₂ associadas a diferentes tipos de veículos e combustíveis.

Palavras-chave: Otimização de Rotas; Transporte Urbano; Emissões de CO₂; Logística de Pequeno Porte; Aplicações Web.

ABSTRACT

Recent changes in urban mobility patterns and in the dynamics of small-scale logistics have intensified the challenges related to atmospheric emissions, especially carbon dioxide (CO₂), in Brazilian cities. Studies such as those by Guimarães *et al.* (2015) and Silva (2011) show that the concentration of road transport in the national matrix, combined with the growth of urban traffic, heightens environmental, social, and energy-related impacts. In this scenario, the integration of technological solutions that combine logistics optimization with environmental criteria emerges as a promising strategy to mitigate such effects. This study proposes the development of a web-based platform for urban routing, capable of considering variables such as distance, travel time, and CO₂ emissions associated with different types of vehicles and fuels.

¹ Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: andre.silva@sp.senai.br

² Doutor em Física Aplicada pela Universidade de São Paulo (USP) e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: mauricio.falvo@sp.senai.br

³ Mestre em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP) e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: paulo.rodolpho@sp.senai.br

⁴ Graduanda em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: vendraminisophia@gmail.com

⁵ Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: tony.marin@sp.senai.br

Keywords: Route Optimization; Urban Transport; CO₂ Emissions; Small-Scale Logistics; Web Applications.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das cidades e a popularização do comércio eletrônico têm ampliado significativamente a demanda por serviços de entrega e transporte urbano de pequeno porte. Esse cenário, embora traga praticidade para consumidores e empresas, gera um aumento expressivo no tráfego urbano e, conseqüentemente, nas emissões de dióxido de carbono (CO₂), um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa. Diante das metas globais de redução de emissões e das políticas de sustentabilidade adotadas em diversas regiões, torna-se essencial buscar soluções tecnológicas que promovam eficiência logística sem comprometer o meio ambiente. Neste contexto, ferramentas digitais de roteirização, aliadas a métodos de análise ambiental, surgem como alternativas promissoras para otimizar trajetos, reduzir custos operacionais e contribuir para a mitigação de impactos ambientais. Contudo, observa-se uma carência de plataformas acessíveis que integrem dados de rotas, consumo energético e emissões de poluentes voltadas para pequenas empresas e cooperativas urbanas, especialmente no contexto brasileiro. É nesse ponto que se insere a presente pesquisa, ao propor o desenvolvimento de uma plataforma web dedicada à otimização de rotas com análise de emissões de CO₂ para transporte urbano e logística de pequeno porte.

1.1 Problema de pesquisa

A crescente demanda por entregas urbanas tem intensificado o tráfego e aumentado significativamente as emissões de CO₂, elevando o impacto ambiental e comprometendo a qualidade de vida nas cidades. Apesar da urgência em adotar práticas logísticas mais sustentáveis, observa-se uma carência de sistemas acessíveis e economicamente viáveis para pequenas empresas, que são responsáveis por uma parcela importante dessas entregas. Essa lacuna tecnológica dificulta a implementação de soluções eficientes e ambientalmente conscientes, limitando o potencial de redução das emissões e a melhoria da mobilidade urbana.

1.2 Objetivo(s)

Desenvolver uma plataforma web que otimize rotas urbanas com base em tempo, distância e emissão de CO₂, oferecendo alternativas mais sustentáveis para transporte e logística de pequeno porte.

1.3 Justificativa

A escassez de ferramentas específicas que integrem roteirização e análise das emissões de dióxido de carbono (CO₂) limita a tomada de decisão sustentável em empresas de pequeno porte e cooperativas de entrega. Ao propor uma solução acessível, o trabalho busca contribuir para a mobilidade urbana sustentável e para a mitigação dos impactos ambientais relacionados à qualidade do ar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A preocupação com os impactos ambientais do transporte urbano tem sido amplamente discutida na literatura nacional, especialmente devido à relevância das emissões de dióxido de carbono (CO₂) na matriz de transporte brasileira. Estudos como o de Guimarães *et al.* (2015) analisam a matriz de transporte do Brasil e evidenciam que a predominância do modal rodoviário contribui para elevados índices de consumo energético e de emissões de gases de efeito estufa, reforçando a necessidade de políticas e tecnologias voltadas para a mitigação desses impactos. Diversas pesquisas exploram alternativas para otimização do transporte e redução de emissões. Ribeiro *et al.* (2020), por exemplo, destacam o potencial do transporte ferroviário como alternativa sustentável, apresentando cenários em que a mudança modal resulta em reduções expressivas de CO₂. Corroborando essa perspectiva, trabalhos apresentados em congressos de transporte, como os da ANPET (2011), analisam o uso de diferentes tecnologias e estratégias para otimização logística em centros urbanos, considerando fatores como custo, tempo de deslocamento e impacto ambiental.

No contexto da logística urbana de pequeno porte, estudos publicados em periódicos brasileiros, como a *Journal of Transport Literature* (2023), abordam o uso de algoritmos e sistemas de informação geográfica (SIG) para roteirização de entregas, apontando ganhos significativos em eficiência e redução da pegada de carbono. Essas soluções incluem a integração com APIs de mapas e métodos de cálculo de emissões baseados no tipo de combustível e carga transportada, aspectos diretamente relacionados ao escopo da presente pesquisa.

A análise conjunta dessas referências evidencia uma lacuna relevante, embora existam modelos e estudos sobre emissões e otimização logística, este estudo tem apurado que poucos trabalhos propõem ferramentas acessíveis e customizáveis para pequenas empresas e cooperativas de entrega no contexto urbano brasileiro. É nesse cenário que se insere o presente estudo, ao propor o desenvolvimento de uma plataforma web que unifique roteirização e análise de emissões de CO₂, contribuindo para a mobilidade sustentável e para a tomada de decisão ambientalmente responsável.

É nesse cenário que se insere o presente estudo, ao propor o desenvolvimento de uma plataforma web que unifique roteirização e análise de emissões de CO₂, contribuindo para a mobilidade sustentável e para a tomada de decisão ambientalmente responsável. e o papel do modal rodoviário na matriz brasileira (GUIMARÃES *et al.*, 2015; SILVA, 2011). Estudos como os de RIBEIRO *et al.* (2020) propõem alternativas modais, como o ferroviário, para mitigar tais impactos. Trabalhos da ANPET (2011) e da *Journal of Transport Literature* (2023) exploram estratégias de roteirização e uso de SIGs para melhorar eficiência e reduzir pegada de carbono.

Apesar das contribuições, observa-se uma lacuna, poucos estudos propõem ferramentas acessíveis e customizáveis para pequenas empresas urbanas. Este trabalho se propõe a preencher essa lacuna com o desenvolvimento de uma plataforma web que integre roteirização e cálculo de emissões, voltada para pequenos transportadores.

3 METODOLOGIA

Este projeto adota uma abordagem exploratória e aplicada, combinando métodos qualitativos e quantitativos, estruturada em cinco etapas principais para

desenvolvimento da plataforma web de roteirização urbana sustentável.

- a. Revisão Teórica e Técnica: Realiza-se um levantamento bibliográfico sobre os impactos ambientais do transporte urbano, especialmente as emissões de dióxido de carbono (CO₂), e as metodologias para cálculo dessas emissões. Além disso, são revisadas tecnologias existentes de roteirização, análise ambiental e visualização de dados, com foco em soluções de código aberto e acessível para micro e pequenas empresas.
- b. Coleta de Dados Qualitativos: Serão conduzidas entrevistas semiestruturadas e questionários com pequenos transportadores urbanos, cooperativas e gestores de frotas, com o objetivo de compreender suas necessidades, práticas logísticas, limitações e expectativas em relação ao uso de ferramentas digitais para otimização de rotas e controle de emissões.
- c. Modelagem da Solução: Com base nos dados coletados e nas referências técnicas, define-se a arquitetura da plataforma, incluindo os dados de entrada (como tipos de veículos, combustível, distância e tempo), os cálculos para estimativa das emissões de CO₂, e a estrutura dos relatórios e visualizações. Nessa etapa, são elaborados protótipos das interfaces para facilitar a interação do usuário.
- d. Desenvolvimento da Plataforma Web: O desenvolvimento será dividido entre *backend* e *frontend*. O *backend* será implementado em Python, incorporando APIs para geolocalização, roteirização, cálculo automático de emissões e gerenciamento do banco de dados. O *frontend* contará com uma interface responsiva, mapas interativos e dashboards visuais, visando facilidade de uso e acessibilidade para o público-alvo.
- e. Validação com Usuários Reais: A plataforma será submetida a testes práticos com pequenos transportadores e cooperativas, para avaliar a usabilidade, funcionalidade e aderência às necessidades reais. Os feedbacks coletados orientarão ajustes finais, garantindo que a solução seja efetiva, acessível e adequada ao contexto brasileiro de logística urbana de pequeno porte.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta fase inicial da pesquisa, foram realizadas revisões bibliográficas e análises de pesquisas efetuadas pela Confederação Nacional do Transporte, permitindo a identificação preliminar de importantes lacunas no uso de tecnologias acessíveis para roteirização sustentável. Os dados quantitativos indicam que a maioria das transportadoras e cooperativas não dispõe de ferramentas digitais específicas para otimização de rotas com consideração das emissões de CO₂, o que dificulta a tomada de decisão orientada à sustentabilidade.

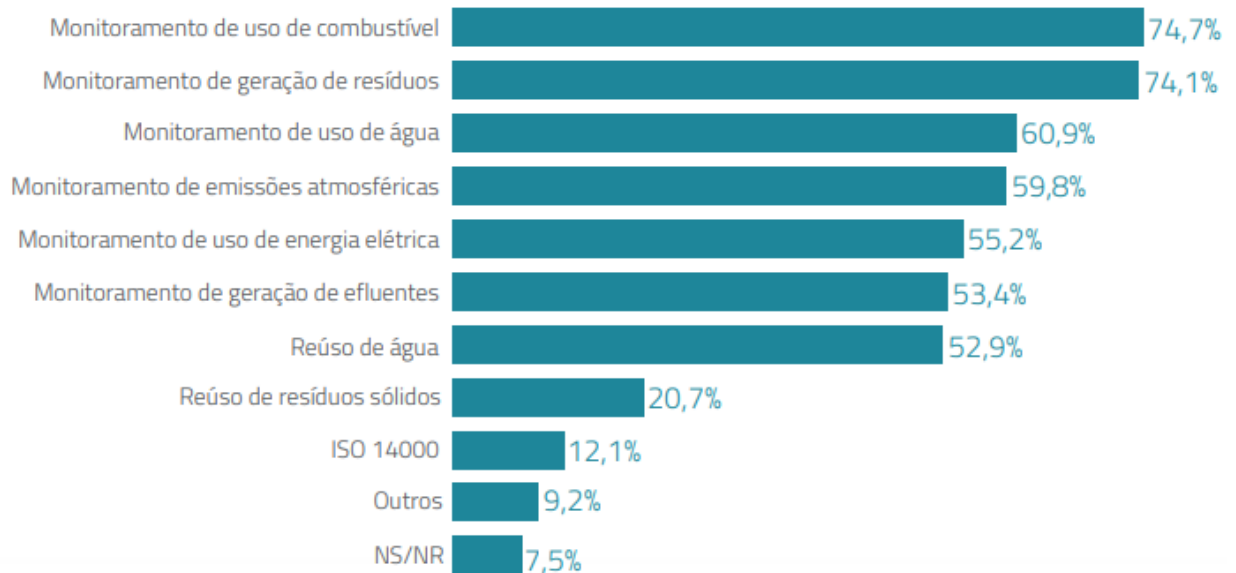
Adicionalmente, o levantamento teórico tem identificado a predominância do modal rodoviário e o impacto significativo do transporte urbano nas emissões de gases de efeito estufa no Brasil, conforme apontado por Guimarães *et al.* (2015) e Silva (2011). A análise das tecnologias existentes tem mostrado que, embora haja soluções robustas de roteirização e cálculo ambiental, poucas são adaptadas ou financeiramente acessíveis para micro e pequenas empresas, especialmente no contexto brasileiro.

Os resultados preliminares evidenciam a importância de desenvolver uma plataforma web que una a roteirização otimizada ao cálculo automático de emissões, direcionada ao público-alvo da pesquisa. Espera-se que essa solução contribua para a redução

da pegada de carbono nas operações urbanas de pequeno porte, ao mesmo tempo em que favoreça ganhos de eficiência logística e diminuição dos custos operacionais. Conforme apontado pela Pesquisa CNT Perfil Empresarial 2023, observa-se no Gráfico 1 o percentual de transportadoras que já implementam ações ambientais.

Gráfico 1 – Ações ambientais implementadas pelas transportadoras

Ações ambientais implementadas



PERGUNTA: Sua empresa possui alguma(s) das seguintes ações ambientais implementadas?

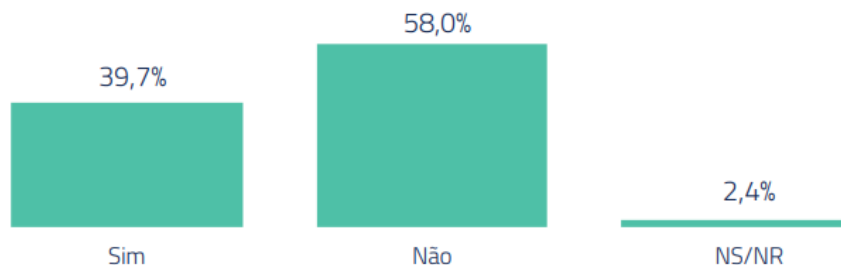
NOTA: As empresas puderam citar mais de uma ação ambiental implementada.

Fonte: CNT. Pesquisa CNT Perfil Empresarial 2023. Brasília: CNT, 2023.

Da mesma forma, no Gráfico 2, é possível observar a limitada adoção de softwares de roteirização como apoio à definição de rotas mais eficientes.

Gráfico 2 – Utilização de software de roteirização pelas transportadoras

Utilização de software de roteirização



NOTA: A soma dos valores indicados no gráfico não corresponde a 100,0% – mas a 100,1% – devido ao critério adotado para o arredondamento das casas decimais.

PERGUNTA: Sua empresa utiliza algum software de roteirização?

Fonte: CNT. Pesquisa CNT Perfil Empresarial 2023. Brasília: CNT, 2023.

A continuidade do estudo seguirá com a modelagem da solução tecnológica, alinhada aos requisitos levantados, e a posterior implementação para testes práticos, possibilitando validar o potencial da ferramenta no contexto real de uso.

5 CONCLUSÃO

Até o momento, o estudo avançou na compreensão do contexto ambiental e tecnológico relacionado à logística urbana de pequeno porte, por meio de revisões bibliográficas e entrevistas com atores do setor. Foi possível identificar a escassez de ferramentas digitais acessíveis e específicas que integrem otimização de rotas e análise de emissões de CO₂ para pequenas empresas e cooperativas, o que evidencia uma lacuna significativa no mercado brasileiro. A predominância do modal rodoviário e seus impactos ambientais reforçam a necessidade de soluções que aliem eficiência logística à sustentabilidade.

Esses achados preliminares fundamentam o desenvolvimento da plataforma proposta, cuja modelagem será orientada pelos requisitos levantados junto à usuários reais. O próximo passo será a implementação da solução tecnológica e sua validação prática, visando oferecer uma ferramenta acessível, de baixo custo e adaptada às necessidades do público-alvo, capaz de contribuir efetivamente para a redução das emissões e a melhoria da gestão logística urbana.

REFERÊNCIAS

ANPET – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. **Estudos em planejamento e logística de transporte**. Revista ANPET, 2018. Disponível em: <https://anpet.emnuvens.com.br/anpet/article/view/2415>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BRASILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT. **Tecnologias para otimização logística em ambientes urbanos**. Brazilian Journals, 2024. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/54363>. Acesso em: 3 abr. 2025.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT Perfil Empresarial 2023**. Brasília: CNT, 2023. Disponível em: <https://cnt.org.br>. Acesso em: 15 set. 2025.

GUIMARÃES, V. de A. *et al.* **Análise da matriz de transporte brasileira: consumo de energia e emissão de CO₂**. ResearchGate, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/285913128>. Acesso em: 20 fev. 2025.

BARTHOLOMEU, D. B.; PÉRA, T. G.; CAIXETA-FILHO, J. V. Logística sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO₂ no transporte rodoviário de cargas. **Journal of Transport Literature**, v. 10, n. 3, p. 15–19, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v10n3a3> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jtl/a/hmCRKy5mgYswyFvrKRCTzvG/>. Acesso em: 7 jan. 2025.

RIBEIRO, R. *et al.* **Potencial de redução de emissão de CO₂ pelo uso de transporte ferroviário: um estudo de caso no Brasil**. ResearchGate, 2020.

Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/344083804> . Acesso em: 5 mar. 2025.

SILVA, A. L. **Transporte e emissões no Brasil: análise e perspectivas**. ANPEC – Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia, 2011.

Disponível em: <https://necat.ufsc.br/files/2012/09/ArtAndre-Lauro-ANPEC-2011-TRANSPORTES.pdf> . Acesso em: 15 fev. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Estudos sobre emissões e matriz de transporte brasileira. Repositório Institucional UFC**, 2023. Disponível em:

<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/79221> . Acesso em: 3 abr. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Logística e emissões no transporte urbano. Repositório Institucional UFSC**, 2023. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/189321> . Acesso em: 7 mar. 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Faculdade SENAI e ao professor orientador que contribuiu com o desenvolvimento deste trabalho.

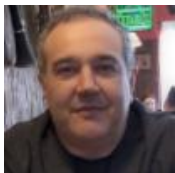
SOBRE O(S)AUTOR(ES)

i ANDRÉ ROBERTO DA SILVA



Mestre em Ciência da Computação pela UFSCar, pós-graduado em Indústria 4.0, pós-graduado em Automação da Manufatura e graduado em Licenciatura em Ciências Exatas com habilitação em Física pela USP. Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <http://lattes.cnpq.br/1738208783371178> Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5969-245X>

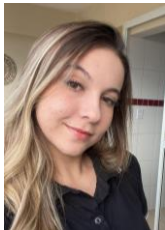
ii MAURÍCIO FALVO



Graduado em Análise de Sistema, PUC-Campinas. Mestre em Ciências da Computação e Matemática Computacional, USP. Doutor em Física Aplicada, USP. Professor de Ensino Superior na Faculdade de Tecnologia do SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <http://lattes.cnpq.br/1457433896521556>.

iii PAULO JOSÉ RODOLPHO

Possui graduação em Ciência da Computação pelo Centro Universitário Central Paulista (2001), Especialização em Formação Pedagógica para Educação Profissional pela Universidade Metodista de Piracicaba (2004) e Mestrado em Ciências pelo programa de Engenharia Mecânica na Escola de Engenharia de São Carlos (USP - 2013). Atualmente é Professor de Educação Superior na Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe de São Carlos. CV: <http://lattes.cnpq.br/3915529378619804> Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-3234-0620>

iv SOPHIA VENDRAMINI PIOVEZAN

Graduanda em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. Participa de projetos acadêmicos voltados ao desenvolvimento de soluções tecnológicas aplicadas à logística e sustentabilidade. Atuou em trabalhos de prototipagem de sistemas com foco em eficiência operacional e já desenvolveu projetos que envolvem inteligência artificial, contagem e detecção de objetos em ambientes industriais e visualização de dados em *dashboards*.

v TONY EMERSON MARIM

Possui graduação em Automação Industrial pela Universidade Paulista (UNIP) e Licenciatura plena em Pedagogia pela UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, além de mestrado em Engenharia pela UFSCar – Universidade Federal de São Carlos. Atualmente, ocupa o cargo de Professor de ensino Superior na Faculdade de Tecnologia do SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <https://lattes.cnpq.br/2215850363897403> Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-8802-239X>