

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega de última milha utilizando microhubs em paradas de transporte público



Isabela Kopperschmidt de Oliveira

Universidade del Estado de Río de Janeiro, Instituto Cordial. Río de Janeiro, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-3818-1938>

Leise Kelli de Oliveira

Universidade Federal de Río Grande del Sur. Porto Alegre, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-4756-4183>

Jorge Luiz dos Santos Junior

Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-5797-6504>

Recibido: 08.03.2024. Aceptado: 05.06.2025.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo avaliar uma alternativa sustentável de entrega de última milha, usando *microhubs* em estações de transporte público, para integrar terminais de transporte público coletivo e de armazenagem de mercadorias, com o intuito de fomentar a adoção de alternativas mais sustentáveis para entregas de última milha. Com base no número de entregas, os pontos de parada do transporte público, o potencial de emissões de CO_{2eq} e o potencial de empregabilidade, foram simulados três cenários de entregas de última milha, a saber (i) entregas realizadas por van a diesel, (ii) entregas realizadas por motocicletas; e (iii) entregas realizadas por bicicletas. A abordagem de pesquisa é baseada na localização ideal do *microhub* e nas respectivas rotas para a distribuição das mercadorias, considerando a entrega por motocicleta e bicicleta. Com base em dados operacionais, os resultados indicaram que a entrega de encomendas em *microhubs* usando bicicletas de carga (iii) é a melhor alternativa tanto por ter maiores benefícios econômicos quanto por possuir potencial de empregabilidade maior. Com base nos resultados, as autoridades municipais poderiam explorar essa solução no plano de mobilidade urbana e incentivar ou subsidiar testes piloto para comprovação de conceito.

PALAVRAS-CHAVE: TRANSPORTE URBANO DE CARGA. COMPARTILHAMENTO DE RECURSOS. AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL. MICROHUBS. CROWDSIPPING.

Sustainable assessment of last-mile delivery scenarios using microhubs in public transport stops

Abstract

The aim of this paper is to evaluate a sustainable last-mile delivery alternative, using microhubs in public transport stations, by integrating public transport and goods storage terminals, with the aim of encouraging the adoption of more sustainable alternatives for last-mile

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

deliveries. Based on the number of deliveries, the public transport stops, the potential for CO_{2eq} emissions and the potential for employability, three last-mile delivery scenarios were simulated, namely (i) deliveries made by diesel van, (ii) deliveries made by motorbike; and (iii) deliveries made by bicycle. The research approach is based on the ideal location of the microhub and the respective routes for the distribution of goods, considering delivery by motorbike and bicycle. Based on operational data, the results indicated that delivering parcels to microhubs using cargo bikes (scenario iii) is the best alternative due to economic and social benefits. Based on the results, city authorities could explore this solution in the urban mobility plan and encourage or subsidise pilot tests for proof of concept.

KEYWORDS: URBAN FREIGHT TRANSPORT. SHARED RESOURCES. SUSTAINABLE EVALUATION. MICROHUBS. CROWDSIPPING.

Introdução

O setor de transporte foi responsável por 37% das emissões de CO₂ em 2021 no mundo (IEA, 2022). Iniciativas como a diversificação da matriz modal de transportes, o aumento de veículos elétricos e o incentivo a iniciativas integrando carga e pessoas têm contribuído para a redução das emissões de CO₂ em 2% nos países europeus (SLOCAT, 2022). No entanto, em outros lugares, como no Brasil, as ações para reduzir as emissões de gases estufa (GHG) ainda são consideradas insuficientes (CAT, 2023). Nos países onde as iniciativas para redução das emissões são limitadas, é necessário explorar alternativas para a mobilidade de mercadorias e pessoas que sejam eficazes para a agenda ambiental.

O transporte urbano de carga tem contribuído negativamente para a agenda ambiental, principalmente em razão do aumento do comércio eletrônico na última década. Grande parte dos produtos comprados no comércio eletrônico é entregue por veículos a diesel ou por motocicletas (Oliveira *et al.*, 2021). Para redução das emissões associadas à essa modalidade de entrega, é crucial que opções mais sustentáveis de entregas domiciliares sejam implementadas. Embora alguns pesquisadores tenham investigado a importância de destinos alternativos de entrega, como pontos de retirada (Oliveira *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2019) ou a utilização de bicicletas de carga (Nascimento *et al.*, 2020), a implementação de tais iniciativas ainda não são tão difundidas no Brasil.

Recentemente, a integração do transporte de carga e pessoas tem sido investigada por alguns pesquisadores. As iniciativas envolvendo a integração dos sistemas de transporte de carga e pessoas consideram os desafios de ambos os sistemas, como o crescimento do comércio eletrônico e a redução da demanda de transporte público (Elbert & Rentschler, 2021). Dentre as iniciativas de integração, pode-se citar o *crowdsipping*, sistemas de micromobilidade e o transporte público como alternativas para tornar as entregas provenientes do comércio eletrônico para o consumidor mais sustentáveis (Oliveira *et al.*, 2022). No entanto, a maioria dessas soluções tem sido considerada em países Europeus, Norte Americanos e Asiáticos, onde o transporte de carga já está incluído em Planos de Mobilidade Urbana Sustentáveis. No Brasil, o transporte de carga tem sido considerado apenas superficialmente na lei que instituiu a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Brasil, 2012; Oliveira, 2019). Apesar de incluir o transporte de carga como parte do sistema de mobilidade urbana, as soluções focam na delimitação de áreas de estacionamento em vias públicas e medidas de restrição de circulação de veículos de carga. Uma vez que a demanda por serviços de transporte público está

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

diminuindo (Rabay *et al.*, 2021), enquanto as entregas de comércio eletrônico estão aumentando (Sousa *et al.*, 2023), investigar iniciativas sustentáveis para integrar ambos os sistemas torna-se interessante e urgente para o cenário brasileiro.

Este artigo aborda a seguinte questão de pesquisa: “Considerando a integração entre o transporte de cargas e pessoas, qual é a alternativa mais sustentável a entrega de última milha?” Para tanto, foram considerados os pilares social e ambiental para identificar a alternativa de entrega de última milha mais sustentável dentre os cenários analisados. A análise foi baseada na operação atual de uma empresa de transporte na região central de Belo Horizonte, onde as entregas de última milha são feitas, majoritariamente, por veículos a diesel. A avaliação sustentável da operação atual foi comparada com outras duas análises: (i) um *microhub* em uma parada de transporte público e utilização de motocicleta como veículo de entrega; e (ii) um *microhub* em uma parada de transporte público e utilização de bicicleta de carga como veículo de entrega. O *microhub* é um tipo de centro de distribuição próximo do destino da entrega e que atende a uma pequena área de serviço. O conceito de *microhubs* requer o uso de veículos ecológicos ou menos poluentes; no entanto, este artigo também considerou o uso da motocicleta, amplamente utilizada para entrega de última milha no Brasil. Baseado no exposto, este artigo tem como objetivo identificar a alternativa mais sustentável de entrega de última milha, explorando os princípios de integração da mobilidade de carga e pessoas.

A contribuição deste artigo é tripla. Primeiramente, os resultados mostraram que os *microhubs* melhoram a avaliação sustentável dos cenários analisados. Ainda, os resultados indicam que as motocicletas proporcionam benefícios econômicos enquanto motocicletas e bicicletas oferecem benefícios sociais. Por fim, a localização do *microhub* em pontos de parada de transporte público oferece benefícios sociais e ambientais para o sistema de transporte pessoas e de carga. Com base nos resultados, as autoridades municipais poderiam incluir essa solução no plano de mobilidade urbana e incentivar testes piloto para comprovação de conceito.

Este artigo tem 5 seções. Após esta seção introdutória, na seção 2 são apresentados os trabalhos relacionados. Na seção 3 é descrito o método de pesquisa, cujos resultados são apresentados na seção 4. As considerações finais são apresentadas na seção 5.

Trabalhos relacionados

As recentes discussões sobre alternativas para o transporte urbano de carga estão caminhando em direção à soluções baseadas na multidão (tradução livre do inglês *crowd-based solutions*) (Sampaio *et al.*, 2019). Serviços de *crowd-logistics* referem-se a serviços utilizando indivíduos independentes, que participam voluntariamente, oferecendo tempo livre em troca de remuneração para realizar atividades relacionadas ao transporte de mercadorias (Sampaio *et al.*, 2019).

Para introduzir serviços de *crowd-logistics* em áreas urbanas, a operação de entrega de mercadorias deve ser reorganizada, conforme proposto por Sampaio *et al.* (2019). Inicialmente, a localização do centro de distribuição e a operação de transporte devem ser remodeladas usando veículos de transporte público com capacidade ociosa. O segundo quesito que merece atenção refere-se aos entregadores que podem ser ocasionais ou

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

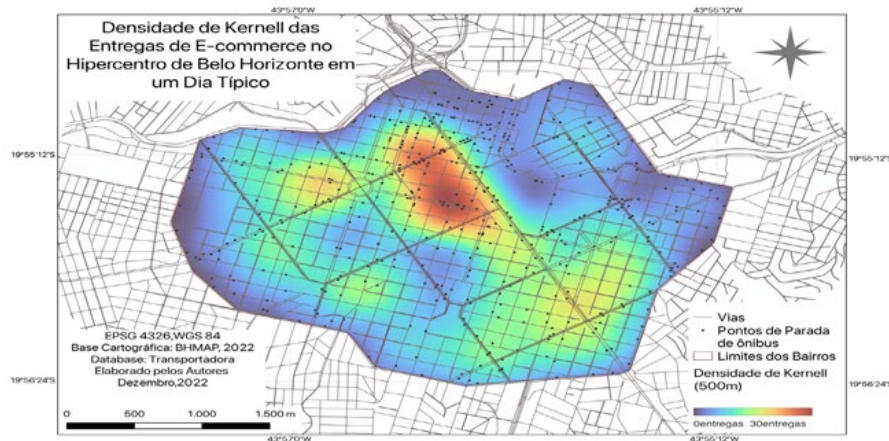


Figura 1. Área de estudo: Região central de Belo Horizonte. Fonte: Os Autores

profissionais. Qualquer indivíduo pode realizar entregas ocasionais em seu trajeto usual, especialmente as de última milha, usando o modo comumente utilizado para os deslocamentos diários, no conceito do *crowdshipping*. A produtividade das entregas realizadas por profissionais pode aumentar usando a tecnologia. O compartilhamento de bicicletas também desempenha um papel indispensável, já que mensageiros ocasionais podem usar tal sistema para realizar entregas em troca de descontos. Alternativamente, o transporte público pode ser uma alternativa de entrega para o *crowdshipping*. Por fim, instalar infraestruturas compartilhadas, como armários automatizados de entregas ou *pick-up points*, e permitir que os vizinhos recebam temporariamente pacotes são essenciais para reduzir entregas não realizadas e otimizar os serviços de *crowdshipping*.

Há poucos trabalhos sobre serviços de *crowdshipping* integrando o transporte de pessoas e de carga. Zhang *et al.* (2023) exploraram os serviços *crowd-logistics* no sistema de transporte público em Singapura, comparando o desempenho de uma empresa de comércio eletrônico. Os resultados mostraram que as entregas realizadas por meio de *crowdshipping* reduziu em 17% a distância percorrida por cada veículo quando comparado com o sistema de entregas tradicionalmente utilizado e em 29% o custo de entrega por pacote. Por sua vez, Oliveira *et al.* (2022) demonstraram como criar uma rede de *microhubs* com *lockers*, com localização nos pontos de parada do transporte público para promover a integração dos sistemas de transporte de carga e pessoas.

Em relação à mão-de-obra potencial para *crowdshipping*, Fessler *et al.* (2023), identificaram que indivíduos mais jovens, estudantes e autônomos são aqueles com maior probabilidade de se tornarem força de trabalho para tais entregas. A proximidade entre a origem e destino da carga, o modo de transporte (Giuffrida *et al.*, 2021), a remuneração e a forma de pagamento são fatores relatados como cruciais para que o *crowdshipping* se torne um serviço atrativo, e conseqüentemente viável de ser implantado (Gatta *et al.*, 2019; Serafini *et al.*, 2018).

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

Método de pesquisa

Área de estudo

A área de estudo foi a região central de Belo Horizonte (Figura 1), que possui 8,66 km² e uma alta concentração de domicílios e estabelecimentos comerciais. Além disso, essa região tem uma alta concentração de oportunidades de emprego, por concentrar atividades comerciais e de serviços do município. Dados de um dia-tipo em maio de 2022 indicaram que 336 pacotes foram entregues diariamente nesta região, com uma densidade média de 39 entregas/km²/dia. A partir da análise de densidade destas entregas (densidade de Kernel), ao estabelecer um raio de análise de 500m, constatou-se que tais entregas estão relativamente dispersas na região, no entanto, existe uma área em que tais entregas ocorrem de maneira mais intensa (representado pela cor vermelha na Figura 1).

Na Figura 1 também é ilustrada a localização dos pontos de ônibus. Observa-se que a região em que ocorreu o maior número de entregas é a mesma que concentra o maior número de paradas de ônibus. Nesse estudo, os pontos de ônibus foram considerados como pontos candidatos a localização de microhubs.

Cenários analisados

Neste estudo foram considerados três cenários, conforme ilustrado na Figura 2. No Cenário I é considerada a situação atual, em que veículos movidos a diesel realizam as entregas partindo de um centro de distribuição até a residência dos consumidores. No Cenário II é considerada a existência do *microhub* (cuja localização foi definida na Etapa 1) na região de estudo. Logo, neste cenário, os pacotes devem ser transferidos do

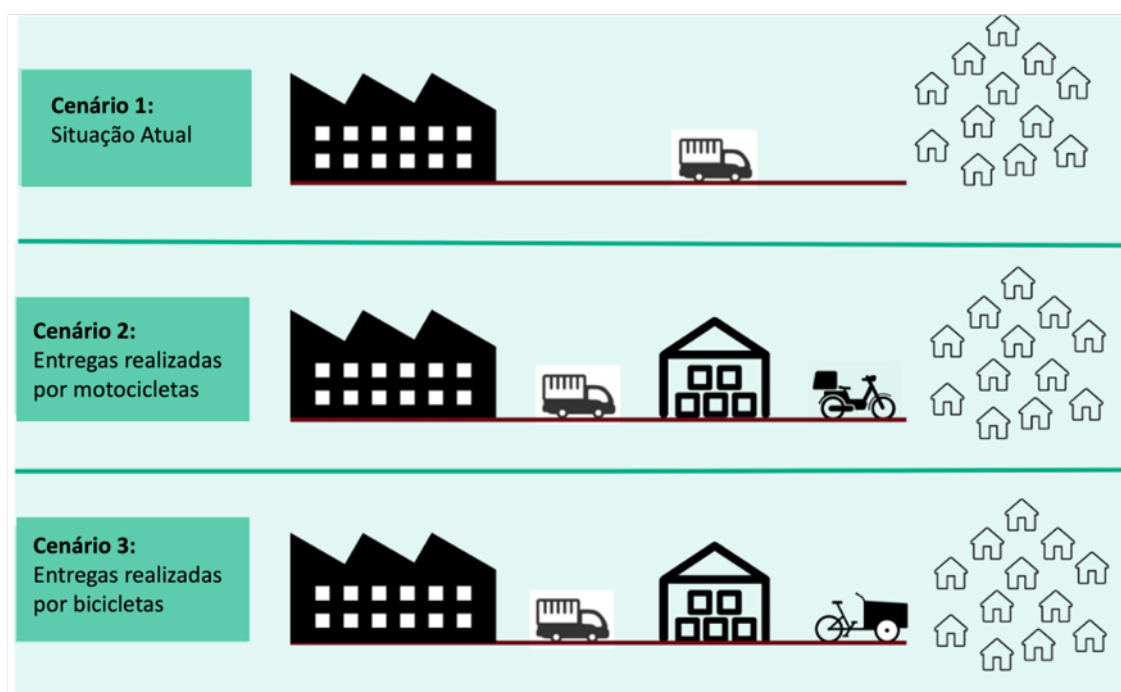


Figura 2. Cenários avaliados. Fonte: Os Autores.

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

centro de distribuição da empresa (distante em média, 20 km da área de estudo) para o microhub e, posteriormente, transferidos para o destino final utilizando, entregadores (profissionais ou não) realizam as entregas porta-a-porta utilizando motocicletas. Este cenário se justifica pela importância da motocicleta para as entregas urbanas no contexto brasileiro (Oliveira *et al.*, 2021). No Cenário III é considerada a mesma configuração do Cenário II, no entanto, as entregas são realizadas por bicicletas. Na região de estudo existe alguma infraestrutura cicloviária, limitada a algumas vias principais. Desta forma, considerou-se que as bicicletas compartilham a pista de rolamento com os veículos motorizados.

Neste estudo foi considerado que o veículo a diesel tem capacidade de 2.000 kg e permite transportar até 500 pacotes (dados operacionais obtidos com empresa parceira). Como a quantidade de entregas é inferior a este limite, todos os cenários necessitam de apenas um veículo a diesel tanto para a situação atual (cenário 1) quanto para a transferência dos pacotes do centro de distribuição até o *microhub* (cenários 2 e 3).

Procedimento metodológico

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas com diferentes cenários, conforme mostrado na Figura 3. Na etapa 1 é resolvido um problema de localização de facilidades para determinar a localização do microhub na região em estudo. O resultado desta etapa é considerado na etapa 2 para definir as rotas de entrega, que por sua vez, são consideradas na avaliação dos pilares sociais e ambientais da sustentabilidade, na etapa 3.

Para resolver o problema de localização de facilidades na Etapa 1, o procedimento realizado foi inspirado em Oliveira *et al.* (2022), resolvendo-se o problema de p-mediana para localizar microhubs considerando a interação de terminais para o transporte público coletivo e o transporte de mercadorias. Para a realização da rotina foram utilizados os seguintes dados: candidatos potenciais para localização da facilidade; (ii) peso para ponderação; e (iii) limiar de distância entre as facilidades. Desta maneira, os potenciais candidatos para localizar os potenciais microhub são os pontos de parada de ônibus na área de estudo, pois o objetivo é criar uma integração de terminais de transporte público coletivo e transporte de mercadorias. A escolha do local do microhubs foi ponderado pela quantidade de entregas realizadas na área de estudo. Foi adotado limiar de distâncias entre microhubs fosse equivalente ao deslocamento por 10 minutos em bicicleta, para que assim, tornasse viável a utilização de bicicletas como alternativa para a última-última milha.

Na Etapa 2 resolveu-se o problema de roteamento de veículos para determinação das rotas de entrega para os cenários descritos na seção anterior. As rotas foram definidas utilizando o pacote Nextmv (Nextvm, 2023) no ambiente R (R Core Team, 2021). Este pacote resolve o problema de roteamento de veículos capacitado. Para tanto, é necessário conhecer a capacidade do veículo utilizado no roteamento, o ponto de origem e os pontos de parada, que neste artigo, são representados pelo centro de distribuição e o pelo destino das entregas do comércio eletrônico, ambos fornecido pelas coordenadas geográficas (latitude/longitude). Neste artigo foi considerado como premissa que: (i) cada pacote tem 1 kg; (ii) veículos a diesel possuem capacidade de até 2.000kg; (iii) motocicletas possuem capacidade de até 15kg; (iv) bicicletas possuem capacidade de até 10kg.

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

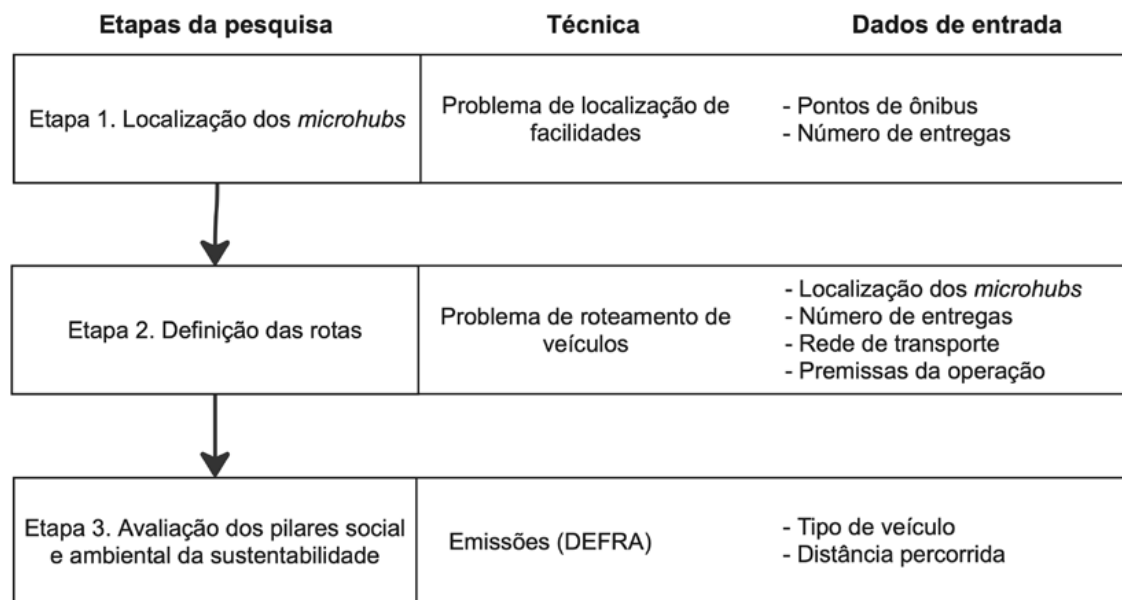


Figura 3. Etapas do procedimento metodológico. Fonte: Os Autores.

Na Etapa 3 foi realizada a avaliação de sustentabilidade de cada um dos cenários, considerando os aspectos social e ambiental. No aspecto social foi considerado potencial de empregabilidade, sendo que quanto maior o número de pessoas envolvidas na entrega, maior o seu potencial social, por representar uma maior distribuição dos proventos oriundos do transporte de carga. No pilar ambiental foi avaliado as emissões de CO_{2eq} , utilizando os parâmetros de emissão sugeridos pelo manual DEFRA (United Kingdom, 2022), cuja relação está descrita na Equação 1, em que o fator de emissão refere-se ao modo de transporte específico em CO_{2eq}/km e a distância percorrida. Para o veículo a diesel foi considerado o fator de emissão de $0,68 g.CO_2eq$, o fator de emissão para motocicleta foi de $0,40 g.CO_2eq$ e o fator de emissão para bicicleta foi de $0,11 g.CO_2eq$. As variáveis utilizadas neste estudo estão descritas na Tabela 1

Tabela 1. Variáveis utilizadas no estudo

Variável	Descrição	Fonte	Objetivo	Etapa
Pontos de parada de ônibus	Localização dos pontos de parada de ônibus	Base dados da prefeitura	Localização dos <i>microhubs</i> – potencial localização dos <i>microhubs</i>	Etapa 1
Entregas de e-commerce	Entregas agregadas em um grid de 100 x 100m	Base de dados da transportadora	Localização dos <i>microhubs</i> – definir o peso de cada ponto de localização potencial dos <i>microhubs</i>	Etapa 1
Limiar de deslocamento	Distância média percorrida em 10 min de deslocamento de bicicleta	Calculado a partir da velocidade média que um ciclista circula	Localização dos <i>microhubs</i> – definir a distância entre <i>microhubs</i>	Etapa 1

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

Variável	Descrição	Fonte	Objetivo	Etapa
Localização das entregas de e-commerce	Localização de cada entrega	Base de dados da transportadora	Indicar os pontos de parada em cada rota	Etapa 2
Capacidade do veículo de entrega	Número de unidades que podem ser entregues por cada veículo	Premissa do estudo	Indicar qual o número máximo de mercadorias o modo pode carregar	Etapa 2
Velocidade média do veículo de entrega	Velocidade média de cada veículo de entrega	Premissa do estudo	Indicar quanto tempo cada modo levará para percorrer a rota planejada	Etapa 2
Fator de emissão	Fator multiplicador para cada modo de transporte, que equivale a quanto de CO ₂ _{eq} é emitido por km percorrido	Manual DEFRA	Cálculo das emissões	Etapa 3
Distância percorrida	Distância total percorrida em cada cenário	Calculado	Cálculo das emissões	Etapa 3
Mão de obra	Força de trabalho necessária para cada cenário	Calculado	Cálculo da mão de obra utilizada	Etapa 3

Limitações metodológicas

O desenvolvimento deste estudo tem algumas limitações que merecem ser destacadas. Apenas alguns elementos foram analisados nos pilares ambiental e social, devido a disponibilidade de dados. Por exemplo, no pilar social, não foi considerado o risco da atividade, imposto ao entregador utilizado motocicleta ou bicicleta, que tem impacto

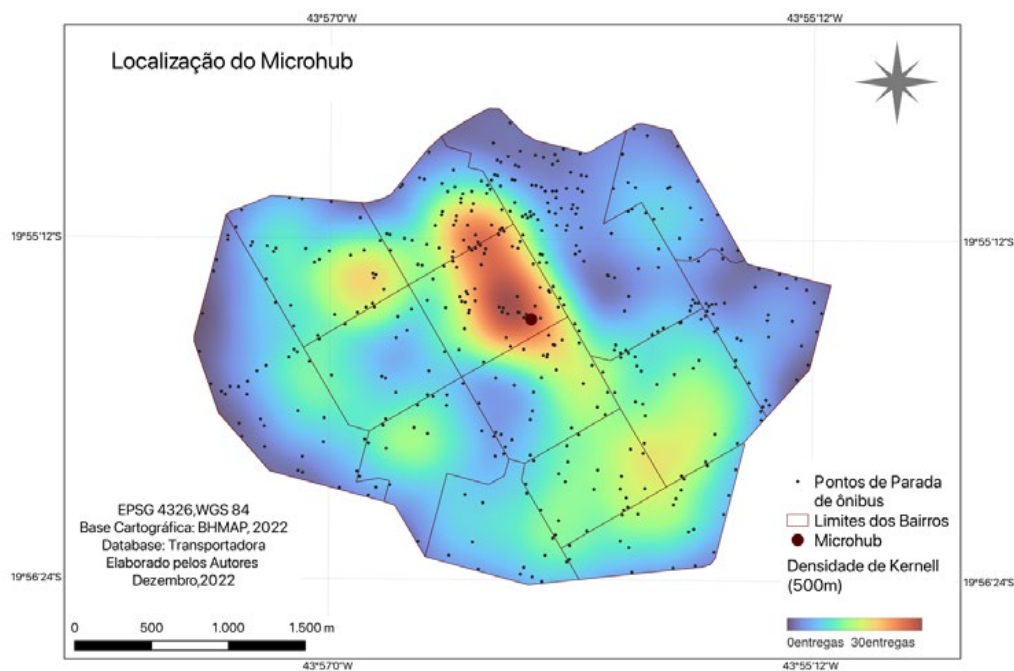


Figura 4. Localização do microhub. Fonte: Os Autores.

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

falta de dados que permitissem uma aferição real dos custos envolvidos nos cenários analisados. Também, não foi considerada capacidade de armazenagem e área para carga e descarga necessária no microhubs, podendo ser objeto de análise de estudos futuros. No entanto, tais limitações não diminuem o valor ou as contribuições deste estudo. Ao contrário, abrem espaço para futuros estudos e apontam a importância de dados abertos para testes de comprovação de conceito.

Resultados

Descrição da localização do microhub

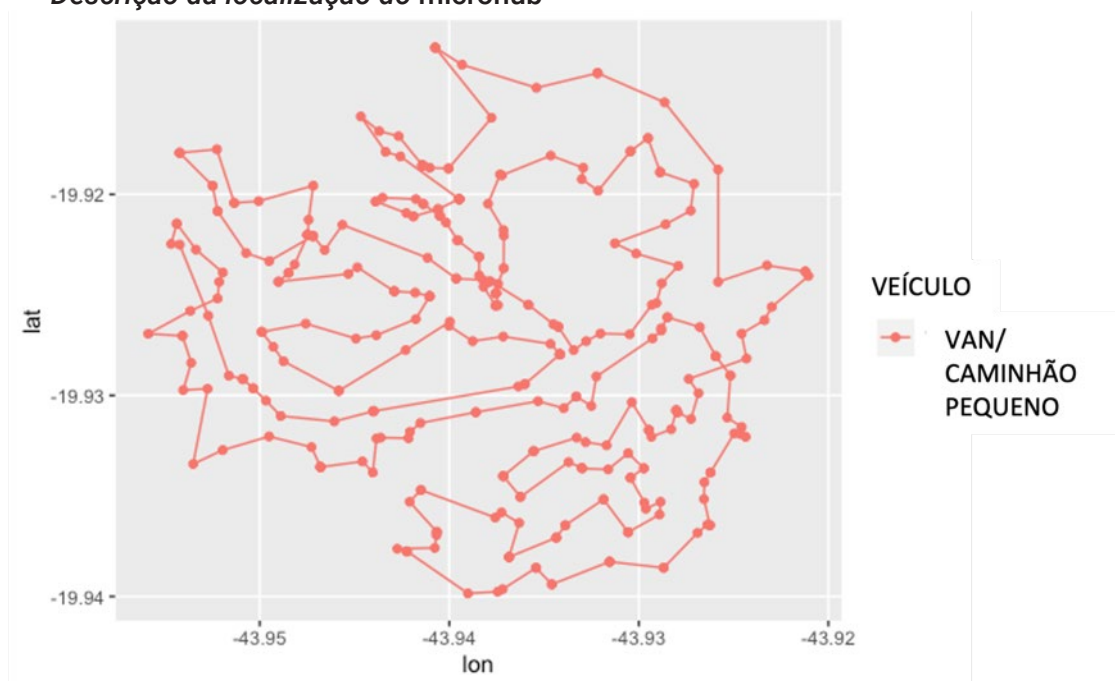


Figura 5. Cenário I: Rota otimizada pelo veículo movido a diesel. Fonte: Os Autores

Após realização da rotina de p-mediana, observou-se que apenas 1 (um) microhub seria necessário para cobrir, espacialmente, a região de estudo. Na Figura 4 é ilustrada a localização do *microhub*, selecionado na etapa 1 do procedimento metodológico. Sua localização coincidiu com a concentração de entregas. O *microhub* localiza-se a 20,4km centro de distribuição de origem das mercadorias. O microhub foi localizado na região em que ocorrem mais entregas e possui maior concentração de pontos de parada de ônibus.

Descrição das rotas

Na Figura 5 é ilustrada a representação vetorial da rota para o cenário I. Note que a imagem é uma representação e não retrata o traçado real das vias, que foram considerados durante a rotina. Para este cenário, a distância total percorrida é de 56,5km.

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

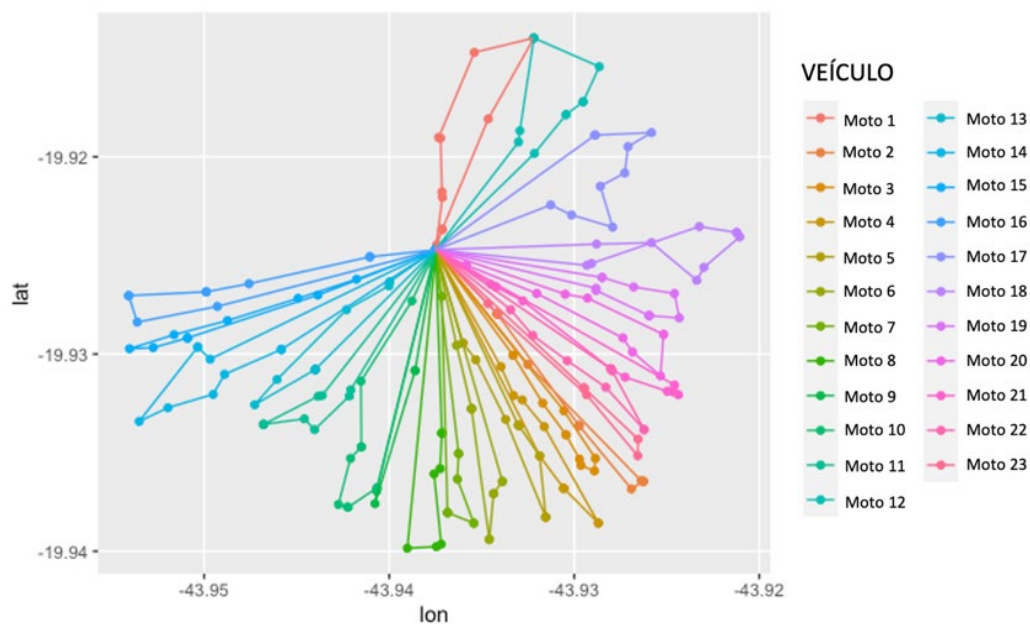


Figura 6. Cenário II: Rotas otimizadas para motocicleta. Fonte: Os Autores.

Ainda, o número de entregas pode ser realizado por 2 colaboradores e cada entrega emite $38,55 \text{ g.CO}_{2\text{eq}}$.

No cenário II é considerado a motocicleta, um veículo comumente usado para realizar entregas de última milha no Brasil, principalmente em áreas congestionadas. Muitas empresas relatam que esse veículo é utilizado devido a benefícios econômicos, como consumo de combustível e tempo de entrega. Como mostrado na Figura 6, o Cenário II requer 23 motocicletas para entregar todos os pacotes. Cada rota tem, em média, 3km com 15 pacotes (capacidade da motocicleta).

Do ponto de vista social, além dos dois membros da equipe para transferir os pacotes do centro de distribuição para o *microhub*, o cenário II poderia proporcionar mais oportunidades de emprego, sendo necessário até 23 entregadores (sendo que cada entregador fica responsável por uma rota com 15 entregas). Ainda, usar um entregador para cada rota implica em reduzir o tempo total de entrega, aumentando o nível de serviço, visto que as rotas poderiam ser concluídas em até duas horas devido ao número de pacotes e à distância percorrida.

Se optasse por reduzir o número de entregadores, um entregador profissional poderia realizar até quatro rotas diárias, reduzindo a equipe necessária para dez membros. Em relação à avaliação ambiental, a emissão seria de $38,63 \text{ g.CO}_{2\text{eq}}$ por pacote, um aumento de $0,3 \text{ kg.CO}_{2\text{eq}}$ (5.3%) por pacote em comparação com o cenário I. Desta forma, o cenário de um microhubs utilizando motocicleta para a entrega urbana é atrativo considerando os pilares econômicos e sociais.

O cenário III representa uma tendência global no uso de bicicletas para entregas de última milha. Por ser um veículo de menor capacidade de carga, mais rotas são necessárias, conforme ilustrado na Figura 7. Cada uma das 34 rotas tem uma distância

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

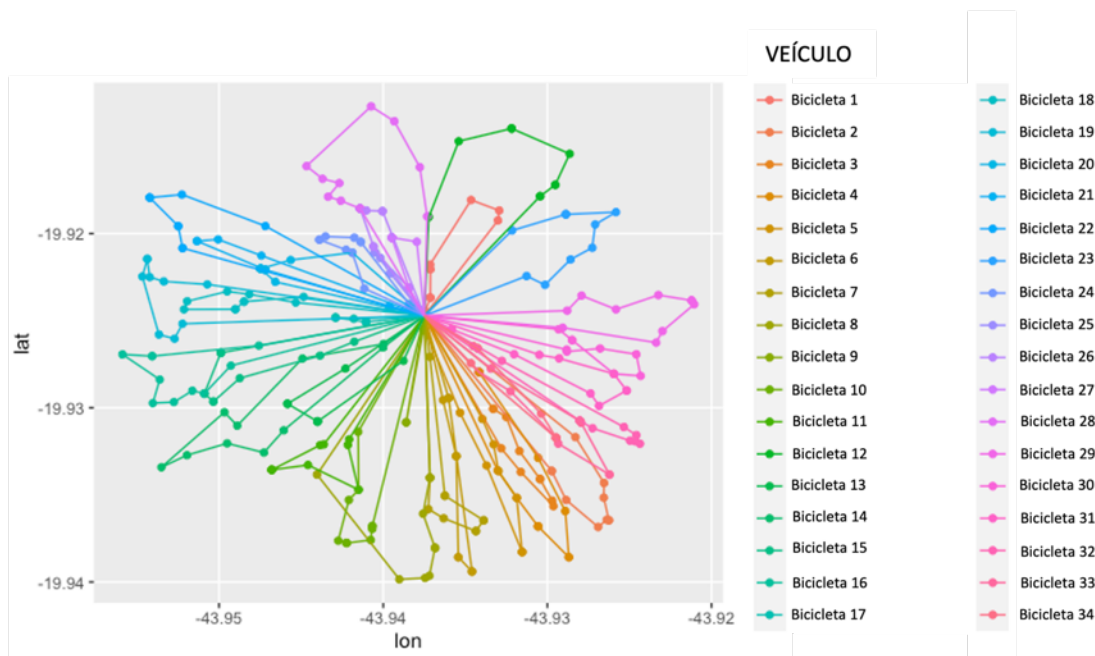


Figura 7. Cenário III: Rotas otimizadas por bicicletas. Fonte: Os Autores.

média de 2,9 km, com a entrega de dez pacotes. No entanto, essa quantidade poderia aumentar dependendo do tipo de bicicleta de carga utilizada. Por exemplo, uma bicicleta de carga de duas rodas tem uma capacidade máxima de carga de 80 kg na caixa. De acordo com a experiência observada de uma empresa de entregas de bicicleta de carga, 60 pacotes poderiam ser entregues em 2 horas usando bicicletas de carga elétricas no Brasil. Portanto, este cenário tem o potencial de otimização em termos de extensão de rota, se tornando economicamente mais sustentável, a depender de investimentos em ergonomia e segurança nas bicicletas utilizadas para tal fim.

Na Tabela 2 é apresentado o resumo da avaliação de sustentabilidade. O cenário III (bicicletas) é o que mais contribui para os pilares social e ambiental, oferecendo mais oportunidades de emprego e emitindo menos CO₂eq. O cenário II é um cenário intermediário, com maior emissão de CO₂eq entre todos os cenários e menor número de colaboradores, quando comparado ao cenário III. Por fim, o cenário I tem o menor número de colaboradores com a quantidade de emissão de CO₂eq por pacote muito próxima do cenário II. Desta forma, o estímulo do uso da motocicleta para a última milha pode até gerar mais agilidade na entrega, no entanto, é vantajoso apenas quando fatores ambientais não são incluídos na análise. Com base na avaliação geral de sustentabilidade, o cenário III é mais sustentável, enquanto a operação atual se mostra menos sustentável quando comparada aos demais cenários, especialmente sob os pilares social e ambiental.

Os resultados mostram a viabilidade operacional e sustentável do transporte de cargas integrado ao transporte de pessoas. No entanto, existem desafios para que esse modelo seja escalado no Brasil. Primeiro, a colaboração e o engajamento das partes interessadas são fatores estratégicos para o processo de tomada de decisão (Rubini & Lucia, 2018). Não apenas é necessário o envolvimento da administração pública na regulação e promoção do uso dos microhubs, mas também é necessário com que haja engajamento

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

Tabela 2. Resumo dos resultados da avaliação de sustentabilidade. Fonte: Os Autores

Pilar	Descritivo	Cenário I	Cenário II	Cenário III
Social	Número de colaboradores	1 motorista 1 ajudante	1 motorista 1 ajudante 23 entregadores	1 motorista 1 ajudante 34 entregadores
	Total	2 colaboradores	25 colaboradores	36 colaboradores
	Classificação	3°	2°	1°
Ambiental	Distância até a área ou <i>microhub</i>	19,2km	20,4km	20,4km
	Distância a partir do <i>microhub</i>	37,3km	3,3km por rota, totalizando 75,5km	2,9km por rota, totalizando 98,8km
	Distância total	56,5km	96,5km	119,0km
	Emissão por pacote	38,55 g.CO ₂ eq	38,63 g.CO ₂ eq	13,93 g.CO ₂ eq
	Total	14,11 kg.CO₂eq	14,14 kg.CO₂eq	5,10 kg.CO₂eq
	Classificação	3°	2°	1°
Classificação final		3°	2°	1°

da sociedade civil em optar por este tipo de entrega. Além disso, é necessário que as transportadoras utilizem os *microhubs* de maneira compartilhada, a fim de se otimizar o uso do espaço público, o que requer compartilhamento de informações para melhor gestão dos espaços de armazenagem e de área de carga e descarga.

As autoridades municipais devem indicar os pontos de parada de transporte público mais adequados para implementar *microhubs*, fato não considerado neste estudo. Esses pontos de parada devem estar conectados com a rede viária e cicloviária. Por sua vez, o sistema de transporte público pode ser usado para realizar as entregas, substituindo a bicicleta ou motocicleta. Dessa forma, o uso de serviços de *crowdshipping* poderia contribuir para o aumento da demanda, especialmente fora do horário de pico (Galkin *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2022).

Além disso, as autoridades municipais podem subsidiar as adaptações do espaço público usado pelos *microhubs*. Este subsídio possibilita a redução dos investimentos iniciais para a mudança da operação e permite que as empresas de transporte de carga testem diferentes operações até encontrar a operação com o melhor equilíbrio sustentável. Tal estratégia foi utilizada em cidades francesas, como Paris e Nantes, para a instalação de *microhubs*, cujo valor de aluguel foi reduzido para teste operacional. Como demonstrado na literatura, os resultados foram promissores e podem inspirar autoridades brasileiras na promoção de alternativas para o transporte urbano de carga (Buldeo Rai *et al.*, 2022; Janjevic & Ndiaye, 2014; Savall-Mañó & Ribas, 2024).

No Brasil, a baixa densidade de ciclovias pode afetar as operações de bicicletas de carga. De acordo Nascimento and Oliveira (2023), operadores logísticos relatam a falta de ciclovias como uma barreira para o uso de bicicletas de carga no Brasil. Portanto, embora a rede cicloviária faça parte da agenda do Plano de Mobilidade Urbana Sustentável com regulamentações específicas no Brasil, a ausência ou baixa densidade da rede cicloviária representa uma barreira para a viabilidade da iniciativa explorada neste artigo. A promoção de uma rede cicloviária beneficiaria não apenas para o transporte

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

de pessoas, como também para o transporte de carga (sendo uma das formas possíveis de integração entre estes sistemas), além de promover uma segurança para os entregadores que utilizassem a bicicleta como veículo de entrega.

Conclusão

Neste artigo foi avaliado uma alternativa de entrega sustentável de última milha integrando o transporte de carga e pessoas. O uso de *microhubs* em pontos de parada de transporte público proporciona uma melhor avaliação ambiental do que a operação atual, onde os pacotes são entregues usando veículos movidos a diesel. Além disso, uma bicicleta de carga tem mais vantagens sustentáveis do que uma motocicleta para entregas de última milha. Assim, a realização das entregas por bicicletas a partir de um *microhub* tem benefícios sociais e ambientais. Respondendo à questão de pesquisa proposta neste artigo, o uso de *microhubs* em pontos de parada de transporte público e a entrega da última milha por meio de bicicletas de carga proporcionam um transporte de carga sustentável. Os benefícios sustentáveis abordam os pilares sociais e ambientais.

Nos últimos anos, as empresas de transporte de carga têm se preocupado em tornar as entregas mais rápidas e eficientes. Por outro lado, devido à Agenda 2030 e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, o setor de transporte tornou-se mais envolvido em se tornar mais sustentável. No entanto, o transporte de carga sustentável inclui aspectos sociais e econômicos e preocupações ambientais. As preocupações com a sustentabilidade estão mais disseminadas entre as empresas de transporte no hemisfério norte global, o que ainda é um assunto desconhecido para muitos no hemisfério sul global. Portanto, os resultados relatados neste artigo inspiram as empresas de transporte de carga a repensar suas operações de forma sustentável.

Estudo considerou algumas premissas que podem ser objeto de investigação em futuros estudos. Os pontos de ônibus foram considerados como candidatos para a localização do *microhub*. No entanto, não foi avaliado se o local escolhido pelo modelo tem capacidade para receber tal infraestrutura. Desta forma, futuros estudos devem analisar a capacidade operacional do local escolhido para a instalação de *microhub*, visto que nem todo local ótimo pode ter capacidade operacional para a operação. A análise não abrangeu o custo operacional, que é essencial no desenvolvimento do projeto. Para pesquisas futuras, sugere-se uma análise de viabilidade econômica. Além disso, sugere-se investigar os principais fatores de sucesso para a participação das partes interessadas em medidas de transporte de carga em transporte público, além do impacto da segurança pública e viária na operação.

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

Referências

- » Brasil. (2012, January 3). *Lei nº 12.587*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm
- » Buldeo Rai, H., Kang, S., Sakai, T., Tejada, C., Yuan, Q. (Jack), Conway, A., & Dablanc, L. (2022). 'Proximity logistics': Characterizing the development of logistics facilities in dense, mixed-use urban areas around the world. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 166, 41–61. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.10.007>
- » CAT. (2023). *Climate Action Tracker—Brazil*. <https://climateactiontracker.org/countries/brazil/policies-action/>
- » Elbert, R., & Rentschler, J. (2021). Freight on urban public transportation: A systematic literature review. *Research in Transportation Business & Management*, 100679. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100679>
- » Fessler, A., Cash, P., Thorhauge, M., & Haustein, S. (2023). A public transport based crowdshipping concept: Results of a field test in Denmark. *Transport Policy*, 134, 106–118. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.02.014>
- » Galkin, A., Schlosser, T., Galkina, O., Hodáková, D., & Cápayová, S. (2019). Investigating using Urban Public Transport For Freight Deliveries. *Transportation Research Procedia*, 39, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.008>
- » Gatta, V., Marcucci, E., Nigro, M., & Serafini, S. (2019). Sustainable urban freight transport adopting public transport-based crowdshipping for B2C deliveries. *European Transport Research Review*, 11(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0352-x>
- » Giuffrida, N., Pira, M. L., Fazio, M., Inturri, G., & Ignaccolo, M. (2021). On the spatial feasibility of crowdshipping services in university communities. *Transportation Research Procedia*, 52, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.004>
- » IEA. (2022). *Transport – Topics*. IEA. <https://www.iea.org/topics/transport>
- » Janjevic, M., & Ndiaye, A. B. (2014). Development and Application of a Transferability Framework for Micro-consolidation Schemes in Urban Freight Transport. *Eighth International Conference on City Logistics 17-19 June 2013, Bali, Indonesia*, 125, 284–296. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1474>
- » Li, F., Guo, X., Zhou, L., Wu, J., & Li, T. (2022). A capacity matching model in a collaborative urban public transport system: Integrating passenger and freight transportation. *International Journal of Production Research*, 60(20), 6303–6328. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1991021>
- » Nascimento, C. de O. L., Rigatto, I. B., & Oliveira, L. K. (2020). Characterization and analysis of the economic viability of cycle logistics transport in Brazil. *Transportation Research Procedia*, 46, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.180>
- » Nascimento, C. O. L., & Oliveira, L. K. (2023). Analysing the potential use of bicycles for last-mile deliveries by logistics operators in Brazil. *Future Transportation*, 3(1), 296–310. <https://doi.org/10.3390/futuretransp3010018>

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

- » Nextvm. (2023). *Route planning, logistics, optimization API & SDK | Nextmv*. <https://www.nextmv.io/>
- » Oliveira, I. K. de, Oliveira, L. K. de, Nascimento, C. de O. L., Meira, L. H., Marcucci, E., & Gatta, V. (2022). PROPOSIÇÃO DE MODELO CONCEITUAL E PILARES PARA INTEGRAÇÃO DO TRANSPORTE DE CARGAS E PESSOAS EM CENTROS URBANOS BRASILEIROS. *Anais Do Congresso de Pesquisa e Ensino Em Transportes*. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Fortaleza. <https://proceedings.science/anpet-2022/trabalhos/proposicao-de-modelo-conceitual-e-pilares-para-integracao-do-transporte-de-carga?lang=pt-br>
- » Oliveira, L. K. de, Morganti, E., Dablanc, L., & Oliveira, R. L. M. de. (2017). Analysis of the potential demand of automated delivery stations for e-commerce deliveries in Belo Horizonte, Brazil. *Research in Transportation Economics*, 65, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.09.003>
- » Oliveira, L. K. de, Oliveira, I. K. de, Caliar, P. H. C., Mello, C. A. de, & Maia, M. L. A. (2021). Influence of demographic and socioeconomic factors on motorcycle usage in Brazil. *Case Studies on Transport Policy*, 9(4), 1757–1769. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.08.013>
- » Oliveira, L. K. de, Oliveira, I. K. de, França, J. G. da C. B., Balieiro, G. W. N., Cardoso, J. F., Bogo, T., Bogo, D., & Littig, M. A. (2022). Integrating Freight and Public Transport Terminals Infrastructure by Locating Lockers: Analysing a Feasible Solution for a Medium-Sized Brazilian Cities. *Sustainability*, 14(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/su141710853>
- » Oliveira, L. K. (ed). (2019). *A logística urbana no Brasil: A inserção do transporte urbano de mercadorias nas políticas públicas*. Editora PoD. <https://podeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/04/Livro-A-logistica-urbana-no-Brasil-site.pdf>
- » Oliveira, L. K., Oliveira, I. K., Nascimento, C. O. L., Cordeiro, C. H. O. L., Meira, L. H., Rabay, L., & Silva, F. G. F. (2021). Identification of factors to improve the productivity and working conditions of motorcycle couriers in Belo Horizonte, Brazil. *Case Studies on Transport Policy*, 9(4), 1737–1745. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.09.003>
- » Oliveira, L. K., Oliveira, R. L. M. D., Sousa, L. T. M., Caliar, I. de P., & Nascimento, C. de O. L. (2019). Analysis of accessibility from collection and delivery points: Towards the sustainability of the e-commerce delivery Analysis of accessibility from collection and delivery points: Towards the sustainability of the e-commerce delivery. *Urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana*, 11. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20190048>
- » R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing* [Computer software]. <https://www.R-project.org/>
- » Rabay, L., Meira, L. H., Andrade, M. O. de, & Oliveira, L. K. de. (2021). A portrait of the crisis in the Brazilian urban bus system: An analysis of factors influencing the reduction in usage. *Case Studies on Transport Policy*, 9(4), 1879–1887. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.10.009>
- » Rubini, L., & Lucia, L. D. (2018). Governance and the stakeholders' engagement in city logistics: The SULPiTER methodology and the Bologna application. *EURO Mini Conference on 'Advances in Freight Transportation and Logistics'*, 30, 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.09.028>
- » Sampaio, A., Savelsbergh, M., Veelenturf, L., & van Woensel, T. (2019). Crowd-Based City Logistics. In *Sustainable Transportation and Smart Logistics* (pp. 381–400). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814242-4.00015-6>

Avaliação da sustentabilidade de cenários de entrega...

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA, LEISE KELLI DE OLIVEIRA E JORGE LUIZ DOS SANTOS JUNIOR

- » Savall-Mañó, M., & Ribas, I. (2024). Assessing the viability of parking slot utilization as transshipment points for parcel carriers: A case study in Barcelona. *Central European Journal of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10100-024-00925-0>
- » Serafini, S., Nigro, M., Gatta, V., & Marcucci, E. (2018). Sustainable crowdshipping using public transport: A case study evaluation in Rome. *EURO Mini Conference on 'Advances in Freight Transportation and Logistics'*, 30, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.09.012>
- » SLOCAT. (2022). *SLOCAT Transport and Climate Change Global Status Report—2nd Edition*. SLOCAT Transport and Climate Change Global Status Report. <https://tcc-gsr.com/>
- » Sousa, L. T. M., Oliveira, L. K., Santos Junior, J. L., Bertoncini, B. V., Isler, C. A., & Larranaga, A. M. (2023). Influence of neighborhood characteristics on e-commerce deliveries: The case of Belo Horizonte, Brazil. *Research in Transportation Economics*, 100, 101329. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2023.101329>
- » United Kingdom. (2022). *Government conversion factors for company reporting of greenhouse gas emissions*. GOV.UK. <https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting>
- » Zhang, M., Cheah, L., & Courcoubetis, C. (2023). Exploring the Potential Impact of Crowdshipping Using Public Transport in Singapore. *Transportation Research Record*, 2677(2), 173–189. <https://doi.org/10.1177/03611981221123246>

Isabela Kopperschmidt de Oliveira / isa.kopper@gmail.com

Doctora en Ingeniería Civil por la Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), con una trayectoria consolidada en planificación del transporte, logística urbana y seguridad vial. Es máster y licenciada por la Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), y cuenta con especializaciones en logística y en planificación ambiental urbana. Fue profesora sustituta en el curso de Ingeniería Urbana de la Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Actualmente se desempeña como investigadora de movilidad en el Instituto Cordial, donde participa en proyectos de seguridad vial con motociclistas, y como coordinadora ejecutiva del proyecto Tarifa Zero e Saúde del Laboratório de Vida Ativa en la Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Leise Kelli de Oliveira / leise.oliveira@ufrgs.br

Profesora titular del Departamento de Ingeniería de Producción y Transportes de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Máster y doctora en Ingeniería de Producción por la Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), fue profesora durante dieciséis años en la Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Con una trayectoria consolidada en planificación del transporte de carga y logística urbana, es investigadora de productividad del CNPq.

Jorge Luiz dos Santos Junior / jorgelsjunior@gmail.com

Máster en Transportes por la Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).