



Logística de Última Milha: O Desafio dos Custos Elevados e a Comparação de Modais de Entrega

ERIC M. A. DOS SANTO (Faculdade de Tecnologia - Fatec Guarulhos)

eric.santos46@fatec.sp.gov.br

LUIZ A. DE O. DE JESUS (Faculdade de Tecnologia - Fatec Guarulhos)

luiz.jesus12@fatec.sp.gov.br

PIERO A. C. AGUILAR (Faculdade de Tecnologia - Fatec Guarulhos)

piero.aguilard@fatec.sp.gov.br

Orientador

PROF. ME. ANDREZA S. FEITOZA (Faculdade de Tecnologia-Fatec Guarulhos)

andreza.feitoza@fatec.sp.gov.br

PROF. ME. EDISON DEMETRIO LEAL (Faculdade de Tecnologia-Fatec Guarulhos)

edson.leal01@fatec.sp.gov.br

PROF. ME. JACY FERREIRA BRAGA (Faculdade de Tecnologia-Fatec Guarulhos)

jacy.braga@fatec.sp.gov.br

Guarulhos – São Paulo

2025

RESUMO

A logística de última milha corresponde à etapa final da entrega de produtos ao consumidor, considerada a mais crítica e onerosa da cadeia de suprimentos, podendo representar entre 41% e 53% do custo logístico total. O objetivo deste trabalho é investigar o impacto dos custos na última milha e avaliar alternativas que possam mitigar esse problema. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica e uma simulação operacional no software ARENA, comparando três modais: drone, moto e veículo utilitário (Fiorino). Os resultados indicam que o drone apresenta o menor tempo médio por entrega, mas com limitações de alcance; a moto demonstrou melhor equilíbrio entre custo e agilidade; e a Fiorino, embora mais lenta, mostrou-se viável para entregas volumosas. Conclui-se que a adoção estratégica de diferentes modais, apoiada por inovações tecnológicas, pode reduzir custos e aumentar a eficiência na última milha.

PALAVRAS-CHAVE: Logística; Última milha; Custos; Inovação tecnológica.

ABSTRACT

Last-mile logistics represents the final stage of product delivery to the consumer and is considered the most critical and costly part of the supply chain, accounting for between 41% and 53% of the total logistics cost. The objective of this study is to investigate the impact of costs in last-mile logistics and evaluate alternatives to mitigate this problem. A literature review and an operational simulation using ARENA software were conducted, comparing three delivery modes: drone, motorcycle, and utility vehicle (Fiorino). The results indicate that drones present the shortest average delivery time but with limited range; motorcycles demonstrated the best balance between cost and agility; and the Fiorino, although slower, proved viable for larger deliveries. It is concluded that the strategic adoption of different delivery modes, supported by technological innovations, can reduce costs and increase efficiency in last-mile logistics.

KEYWORDS: Logistics; Last mile; Costs; Technological innovation.

1. INTRODUÇÃO

A logística de última milha refere-se ao transporte porta-a-porta, ou seja, a etapa final em que o produto sai do centro de distribuição e chega diretamente ao consumidor. Essa fase é a mais visível do processo logístico, pois representa o contato direto entre a empresa e o cliente, influenciando diretamente sua experiência de compra e satisfação.

Nos últimos anos, o crescimento acelerado do comércio eletrônico impulsionou a demanda por serviços de entrega, transformando a última milha em um dos maiores desafios logísticos. O consumidor atual busca cada vez mais comodidade, valorizando a possibilidade de receber os produtos em casa de forma rápida, rastreável e flexível. Esse cenário de aumento do consumo online também tem gerado impactos urbanos, como o crescimento no número de entregadores autônomos, maior tráfego de veículos de entrega nas vias, dificuldades relacionadas à infraestrutura das cidades e, consequentemente, aumento dos custos operacionais.

De acordo com estudos recentes da TOTVS (2024), cerca de 41% do custo logístico total está concentrado na etapa da última milha, tornando-a a parte mais cara e complexa de toda a cadeia de suprimentos. Esse dado evidencia a necessidade de desenvolver soluções inovadoras que equilibrem eficiência, redução de custos e sustentabilidade.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo investigar os custos da logística de última milha, analisando tendências e inovações tecnológicas, bem como apresentar os resultados de uma simulação operacional realizada no software ARENA, comparando os modais de entrega drone, moto e Fiorino.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A logística de última milha, também chamada de transporte porta-a-porta, é um dos temas mais discutidos na gestão da cadeia de suprimentos, principalmente devido ao crescimento acelerado do comércio eletrônico e às novas exigências dos consumidores. Essa etapa, que corresponde à entrega do produto diretamente ao cliente final, representa o ponto mais crítico da logística, tanto por seu peso nos custos quanto por seu impacto na experiência do consumidor.

Segundo Bowersox et al. (2013), a última milha possui papel estratégico dentro da cadeia logística, pois influencia diretamente indicadores como satisfação do cliente, tempo de ciclo do pedido e custo logístico total. Estudos apontam que essa etapa pode representar entre 41% e 53% do custo de toda a operação logística, configurando-se como o maior desafio a ser enfrentado pelas empresas.

Para estruturar e avaliar os processos logísticos, destaca-se o modelo **SCOR (Supply Chain Operations Reference)**, desenvolvido pelo Supply Chain Council. Esse modelo organiza a cadeia de suprimentos em cinco macroprocessos: **Planejar (Plan)**, **Comprar (Source)**, **Produzir (Make)**, **Entregar (Deliver)** e **Retornar (Return)**. A última milha está inserida no processo **Deliver**, em que se concentram as métricas relacionadas a prazos, custos, confiabilidade e flexibilidade da entrega. Dessa forma, o SCOR fornece um referencial teórico consistente para analisar as ineficiências da última milha e propor melhorias alinhadas à estratégia organizacional.

A evolução tecnológica tem sido outro fator determinante na transformação da última milha. Soluções como **veículos autônomos, drones, inteligência artificial e análise de big data** permitem otimizar rotas, prever demandas e aumentar a rastreabilidade das operações, promovendo maior agilidade e eficiência (Lee, 2020). Além disso, a **sustentabilidade** tem ganhado espaço, estimulando práticas de logística verde, como uso de veículos elétricos, planejamento de rotas com menor impacto ambiental e embalagens ecológicas (Leite, 2009; Moura, 2015).

Outro ponto central é o comportamento do consumidor moderno, caracterizado pela busca por conveniência, rapidez e personalização. Entre as principais exigências estão entregas rápidas, rastreamento em tempo real, opções flexíveis (lockers, retirada em loja, agendamento), além da valorização de práticas sustentáveis. De acordo com Gattorna (2015), a adaptação da cadeia de suprimentos a diferentes perfis de consumo é um fator competitivo essencial, pois possibilita alinhar eficiência logística à experiência do cliente.

Autores brasileiros também contribuem para esse debate. Novaes (2007) discute os impactos da distribuição urbana no trânsito e na qualidade de vida, Leite (2009) aborda a logística reversa e a sustentabilidade, e Moura (2015) propõe indicadores de desempenho voltados à realidade brasileira. Essas perspectivas reforçam que, além das inovações tecnológicas globais, é fundamental considerar as particularidades nacionais, como infraestrutura desigual, legislações municipais e crescimento dos entregadores autônomos.

Assim, a fundamentação teórica evidencia que a logística de última milha é uma etapa crítica, marcada por custos elevados e pela necessidade de equilibrar eficiência operacional, inovação tecnológica e sustentabilidade. O uso de referenciais como o SCOR, aliado à incorporação de novas tecnologias e estratégias adaptadas ao comportamento do consumidor, fornece o suporte conceitual para a análise e proposição de soluções para esse desafio.

2.1 Sustentabilidade e Logística Verde

A sustentabilidade na logística urbana tem ganhado relevância não apenas pela preocupação ambiental, mas também pela possibilidade de reduzir custos na última milha, etapa que pode representar mais de 40% do gasto logístico total. O uso de veículos elétricos ou híbridos, o planejamento de rotas mais eficientes e a consolidação de entregas contribuem para diminuir consumo de combustível e despesas operacionais.

Além disso, consumidores cada vez mais exigem práticas sustentáveis, estando dispostos a aceitar prazos maiores ou até pagar mais por entregas ecológicas, o que reduz a pressão pelas entregas ultrarrápidas — geralmente as mais caras. Da mesma forma, políticas públicas e incentivos fiscais favorecem

empresas que adotam modais menos poluentes, ajudando a equilibrar eficiência, custo e responsabilidade ambiental.

Assim, a logística verde se relaciona diretamente com o problema da pesquisa, pois apresenta alternativas para mitigar os altos custos da última milha ao mesmo tempo em que atende às novas expectativas do mercado.

2.2 Comportamento do Consumidor e Logística Customizada

Com a transformação digital e o avanço do e-commerce, o consumidor moderno tornou-se mais exigente, imediatista e consciente. Ele espera experiências de compra mais rápidas, transparentes e personalizadas — especialmente na etapa de entrega.

Entre as principais características do comportamento atual dos consumidores e que impacta diretamente a logística de Última Milha é possível apresentar:

- Valorização da entrega rápida e gratuita
- Rastreamento em tempo real do pedido
- Opções flexíveis de entrega (agendada, em lockers –, retirada em loja), retirada em loja)
- Sustentabilidade como fator decisivo de escolha
- Menor tolerância a falhas ou atrasos

Esse novo padrão força as empresas a adaptarem suas operações logísticas com mais agilidade, inteligência e empatia, especialmente na etapa mais : a última milha. Essas adaptações são direcionadas aos : a última milha. Essas adaptações são direcionadas aos **clientes finais**, que esperam receber os produtos de maneira rápida, eficiente e confiável. A importância dessas mudanças reside na **necessidade de atender às expectativas dos consumidores, aumentar a satisfação e fortalecer a competitividade da organização**. Conforme destacado por Bento (2020), a eficiência na gestão da última milha representa um diferencial estratégico para as empresas, refletindo diretamente na percepção de qualidade do serviço prestado e na fidelização dos clientes.

A personalização das entregas está diretamente relacionada ao comportamento do consumidor digital, que exige rapidez, rastreabilidade, flexibilidade de horário e conveniência. De acordo com Gattorna (2015), a adaptação da cadeia de suprimentos com base em perfis de consumo permite alinhar a oferta logística à demanda real do cliente. Estratégias como lockers, pontos de retirada, entrega e roteirização inteligente são respostas logísticas à crescente busca por experiência personalizada. O uso de dados comportamentais e algoritmos preditivos viabiliza essas soluções customizadas, aumentando a satisfação e fidelização do consumidor. e roteirização inteligente são respostas logísticas à crescente busca por experiência personalizada. O uso de dados comportamentais e algoritmos preditivos

viabiliza essas soluções customizadas, aumentando a satisfação e fidelização do consumidor.

Logística Customizada como Diferencial Competitivo

A logística customizada refere-se à capacidade da empresa em adaptar suas operações logísticas às preferências e necessidades do consumidor final, sem comprometer a eficiência e os custos.

Essa personalização pode ocorrer por meio de:

- Modelos de entrega múltiplos:

Same Day: entrega realizada no mesmo dia do pedido, indicada para produtos urgentes; exige alta agilidade e proximidade entre centros de distribuição e clientes.

Next Day: entrega no dia útil seguinte ao pedido, equilíbrio entre rapidez e custo operacional; comum em e-commerce.

Entrega Agendada: cliente escolhe data e/ou horário da entrega; utilizada para produtos que exigem disponibilidade do receptor, aumentando conveniência.

Pick-Up Points: retirada do produto em pontos físicos previamente definidos; reduz custos de entrega e oferece flexibilidade ao cliente.

- Ofertas diferenciadas por perfil ou localização do cliente
- Integração com marketplaces e aplicativos de entrega
- Comunicação ativa durante o processo de envio

Além de agregar valor à experiência, a customização logística ajuda a reduzir tentativas de entrega malsucedidas e a aumentar a fidelização do cliente.

Expectativas x Capacidade Logística

Ao analisar os níveis de expectativas do cliente, o que se observa é a existência de um desafio que está em equilibrar o que o consumidor deseja, com o que é operacionalmente e economicamente viável. Para garantir o atendimento a essa expectativa é necessário observar, entre outros, a criação dos seguintes requisitos:

- **Gestão de dados comportamentais e históricos de compra:** envolve a coleta e análise de informações sobre o comportamento do cliente e suas compras anteriores, permitindo decisões logísticas mais precisas e personalizadas.

- **Previsão de demanda baseada em IA:** utiliza algoritmos de inteligência artificial para antecipar a demanda por produtos, otimizando estoques, planejamento de rotas e evitando faltas ou excessos.

- **Flexibilização da cadeia logística:** adapta a operação logística para responder rapidamente a mudanças no mercado, demandas sazonais ou imprevistos, garantindo eficiência e continuidade do serviço.

- **Parcerias estratégicas com operadores logísticos locais:** consiste em colaborar com transportadoras ou distribuidores regionais para ampliar a capilaridade, reduzir custos e melhorar a velocidade e confiabilidade das entregas.

A adaptação de rotas de entrega aos horários preferenciais dos clientes e o uso de bicicletas em bairros com restrições a veículos pesados exemplificam a aplicação prática de pilares da logística moderna. A **gestão de dados comportamentais** permite planejar rotas conforme as preferências dos consumidores, enquanto a **previsão de demanda baseada em IA** antecipa necessidades específicas. A **flexibilização da cadeia logística** possibilita ajustes rápidos às condições locais, e as **parcerias com operadores logísticos locais** garantem entregas mais ágeis e eficientes, tornando a operação centrada no cliente.

Estratégias Logísticas Adaptadas ao Consumidor

As empresas líderes têm adotado as seguintes estratégias para alinhar suas entregas às expectativas dos clientes:

- **Entrega programada:** permite ao cliente escolher data e horário, reduzindo reentregas e otimizando rotas, o que contribui para a **redução de custos da última milha**.
- **Lockers inteligentes:** oferecem praticidade e autonomia ao consumidor, diminuindo tentativas de entrega fracassadas e gastos operacionais.
- **Rastreamento ativo via app:** proporciona transparência e segurança, permitindo o gerenciamento proativo de atrasos e falhas, reduzindo custos adicionais.
- **Uso de dados para personalizar opções de entrega:** permite ajustar horários e modalidades conforme o perfil do cliente, aumentando a assertividade e diminuindo reentregas.
- **Chatbots e notificações automáticas:** melhoram comunicação e suporte, reduzindo falhas de informação e otimizando processos na última milha.

- Essas estratégias contribuem diretamente para **eficiência logística e satisfação do cliente**, atacando o desafio dos **altos custos operacionais** e auxiliando na escolha de **modais mais adequados**.

Consumidor como Agente de Sustentabilidade

Além de buscar conveniência, muitos consumidores demonstram disposição para pagar mais por entregas sustentáveis ou aceitar prazos mais longos em troca de menor impacto ambiental. Esse comportamento permite que as empresas adotem estratégias de logística verde, conciliando **eficiência operacional, redução de custos na última milha e sustentabilidade ambiental**. Entre as principais práticas destacam-se:

- **Consolidação de entregas:** agrupar múltiplos pedidos em uma mesma rota para reduzir viagens e emissões de carbono.
- **Modalidades de entrega ecológica:** utilização de bicicletas ou veículos elétricos, equilibrando eficiência logística e menor impacto ambiental.
- **Uso de pontos de retirada:** direcionar clientes para lockers ou lojas parceiras, diminuindo entregas porta a porta e otimizando rotas e recursos.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Levantamento da literatura sobre o tema.

A logística da cadeia de suprimentos abrange o controle da produção, transporte e distribuição de produtos em toda a cadeia de suprimentos de uma empresa. Ela engloba logística de entrada (como os materiais e suprimentos são trazidos para uma empresa) e logística de saída (como os produtos resultantes da empresa chegam aos varejistas e consumidores).

Ela é essencial para garantir o funcionamento harmonioso das empresas e da economia global, ao apoiar a circulação de mercadorias em escala mundial. A implementação de logística eficaz pode ajudar as empresas a criar resiliência em meio à volatilidade global e obter uma vantagem competitiva.

De acordo com McGrath (2023), o gerenciamento de logística envolve a coordenação de atividades relacionadas à obtenção, compra e movimentação de matérias-primas para as fábricas; transformação desses materiais em produtos finais; e entrega dos produtos aos varejistas e clientes. Inclui uma variedade de problemas, como gestão de estoque, armazenamento, transporte e distribuição, bem como o gerenciamento de devoluções e serviço ao cliente.

3.2. Última Milha

É uma das etapas que mais pesa nos custos de entrega, essa última milha costuma também ser um dos únicos (e, por isso, mais preciosos) pontos de contato entre uma marca e seus clientes. Ou seja, prezar por essa etapa é importante, pois pode impactar diretamente a experiência do cliente e sua lucratividade.

Ao aplicar as técnicas de otimização corretas, é possível colher muitos benefícios, como:

- **Redução de custos:** o investimento em controle, visibilidade e integração de dados e processos permite planejar rotas, consolidar entregas e ajustar operações em tempo real. Dessa forma, os recursos são utilizados de maneira mais eficiente, evitando retrabalhos e despesas desnecessárias na última milha;
- **Melhor eficiência operacional:** A última etapa da entrega, sendo o fechamento do processo de envio, é complexa e decisiva para o desempenho logístico. Um plano de envio bem estruturado e otimizado pode reduzir atrasos, retrabalhos e custos, impactando diretamente nos resultados da operação;
- **Maior satisfação do cliente:** com a logística last mile otimizada, é possível se conectar aos seus clientes de maneira mais rápida, entregando mercadorias com eficiência e se destacando dos concorrentes.

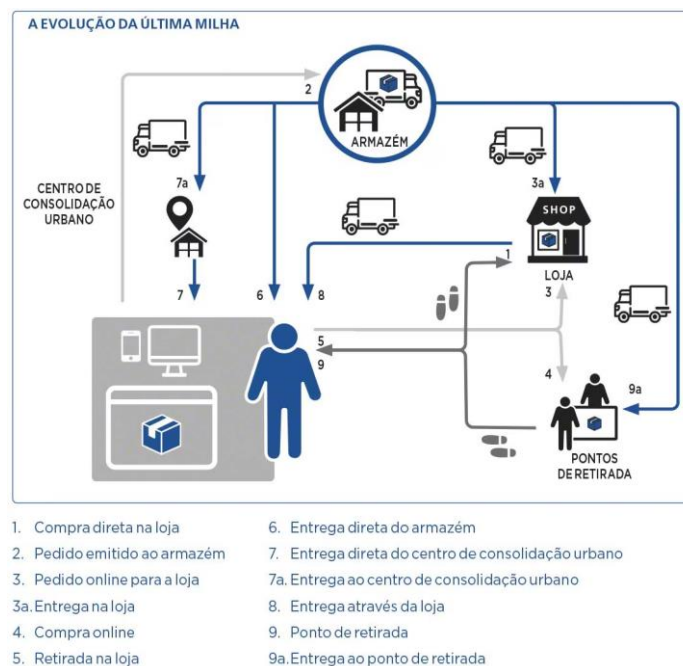
Por se tratar de um processo tão complexo, o last mile delivery também acompanha alguns desafios bem evidentes — e que as empresas tentam, a todo custo, ultrapassar.

- **Tráfego intenso:** aumenta o tempo de deslocamento, gerando atrasos e maior consumo de combustível.
- **Obras nas estradas:** reduzem a velocidade média e obrigam desvios, afetando a pontualidade das entregas.
- **Pedágios em rodovias:** elevam os custos operacionais e podem gerar atrasos dependendo da fila de passagem.
- **Ausência dos motoristas:** provoca atrasos e necessidade de reorganizar rotas, comprometendo a eficiência.
- **Problemas com os veículos:** falhas mecânicas ou panes atrasam entregas e aumentam custos de manutenção.

- **Mau tempo (chuva, neblina, vento, gelo):** reduz a segurança e a velocidade das viagens, impactando prazos e aumentando riscos operacionais.

De acordo com Totvs (2024), uma forma de resolver isso é contar com um bom sistema de roteirização, que leva em conta as condições das vias em tempo real para criar e adaptar as rotas definidas, flexibilizando o envio de mercadorias.

Figura 1: A evolução da última milha.



Fonte: Mecalux (2020).

3.3. Inovações Tecnológicas

Algumas empresas usam a tecnologia para ajudar nos desafios da gestão da cadeia de suprimentos. As tecnologias avançadas oferecem maneiras novas e poderosas de trabalhar com a análise da cadeia de suprimentos, além de melhorar a visibilidade e transparência da cadeia de suprimentos. MacGrath (2023) destaca as seguintes tecnologias:

Rastreamento e monitoramento: Sensores, GPS e dispositivos de Internet das Coisas (IoT) podem fornecer uma riqueza de informações em tempo real sobre a localização e a condição dos produtos em todas as etapas da cadeia de suprimentos. Os dados da cadeia de suprimentos coletados de vários pontos podem impulsionar a otimização, fornecendo insights sobre eficiências operacionais, riscos potenciais e áreas para melhoria.

Automação: As tecnologias de automação em armazéns, como os Sistemas Automatizados de Armazenamento e Recuperação (ASRS) e os sistemas robóticos de separação, têm aumentado significativamente a eficiência operacional. Esses sistemas reduzem a dependência de trabalho manual, minimizam erros e aceleram os processos de classificação, armazenamento e recuperação de mercadorias. Na logística de transporte, a automação permite otimizar o planejamento de cargas e a programação de veículos, garantindo entregas mais rápidas e confiáveis. No contexto da última milha, essa eficiência se traduz em **redução de custos operacionais e melhor utilização dos recursos**, enfrentando diretamente o desafio do alto custo de entrega e impactando positivamente a competitividade da empresa.

Blockchain: Funciona como um registro imutável e de fácil acesso, que permite aumentar a transparência e a rastreabilidade em toda a cadeia de suprimentos. Essa tecnologia facilita a verificação da autenticidade dos produtos e o monitoramento da movimentação das mercadorias em tempo real, reduzindo riscos de fraudes e perdas. Na logística de última milha, a blockchain contribui para **uma operação mais confiável e segura**, permitindo identificar e solucionar rapidamente problemas que poderiam gerar custos adicionais, atrasos ou falhas na entrega. Dessa forma, a aplicação da blockchain auxilia na mitigação de riscos e no controle eficiente das operações, diretamente relacionada ao problema de pesquisa.

Inteligência artificial: Algoritmos de inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquina (ML) podem analisar grandes quantidades de dados para identificar as rotas de transporte mais eficientes, destacar possíveis interrupções ou inconsistências e obter informações sobre o impacto ambiental. O software de simulação pode auxiliar na modelagem de potenciais cenários para prever riscos e desenvolver planos de contingência, tornando as operações logísticas mais proativas e menos reativas.

Computação em nuvem: Permite o armazenamento e compartilhamento de dados em tempo real, integrando setores e melhorando a coordenação entre armazéns, centros de distribuição e veículos de entrega. Na última milha, isso contribui para **reduzir custos, otimizar rotas e gerenciar entregas com maior eficiência**, enfrentando diretamente o desafio dos altos custos logísticos.

3.4. Simulação Operacional com Diferentes Modais de Entrega

Com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e operacional de tecnologias emergentes na logística de última milha, foi realizada uma simulação comparativa com três modalidades de entrega: moto, carro utilitário (Fiorino) e drone.

A simulação seguiu as premissas típicas do software Arena Simulation e considerou um raio urbano de operação de até 30 km ao redor de um centro de distribuição (CD).

Abaixo estão os parâmetros operacionais considerados:

- Moto: capacidade de até 40 encomendas pequenas, peso máximo de 20 kg, raio de 30 km.
- Fiorino: capacidade de até 60 encomendas pequenas ou 20 grandes, peso máximo de 500 kg, raio de 30 km.
- Drone: capacidade de até 5 encomendas pequenas com peso total de até 5 kg, raio operacional de 5 km.

A lógica de alocação obedeceu à seguinte ordem:

1. Se a encomenda for leve (≤ 5 kg) e o destino estiver a até 5 km, será entregue por drone.
2. Caso contrário, se for pequena e o raio for até 30 km, será alocada à moto.
3. Encomendas maiores ou fora dos critérios anteriores foram entregues pela Fiorino.

A simulação demonstrou que, embora o drone apresente o menor tempo médio por entrega, sua limitação de alcance reduz o volume de entregas possíveis.

A moto se mostrou o modal mais eficiente em termos de equilíbrio entre agilidade e cobertura urbana.

Já a Fiorino apresentou maior tempo médio de entrega, sendo recomendada para cargas volumosas e agrupadas.

A seguir, apresenta-se o gráfico comparativo de desempenho entre os modais.

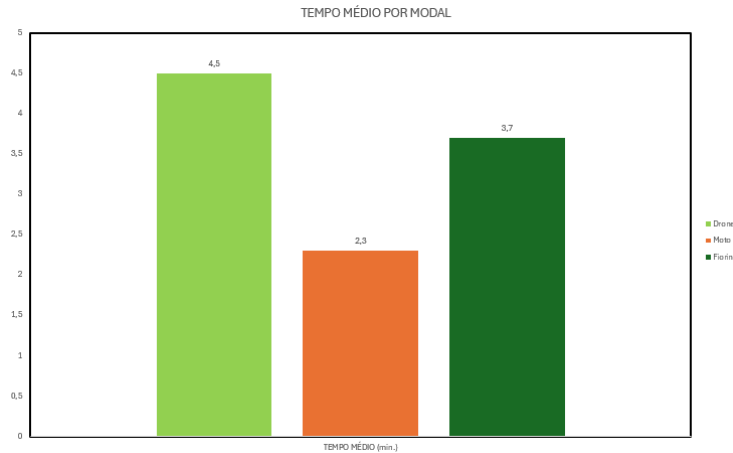


Fig 2: Gráfico do Tempo Médio por Modal. Fonte: Os Autores, 2025.

Legislação Aplicada a Logística de Última Milha

No Brasil, não existe ainda uma legislação federal única só para “logística de última milha”, mas há diversas leis, decretos e normas que afetam a operação. Algumas das principais áreas envolvidas são:

Regulamentação de Transporte Urbano: municípios definem circulação de veículos de entrega, horários e zonas de carga/descarga, como a ZMRC em São Paulo e horários específicos no Rio de Janeiro, impactando rotas, planejamento e custos da última milha.

- **Normas Ambientais e de Emissões:** veículos devem atender padrões como o PROCONVE, e há incentivos ao uso de modais sustentáveis (bicicletas, triciclos e veículos elétricos), influenciando a escolha do modal e os custos operacionais.
- **Legislação Trabalhista:** motoristas, entregadores e operadores seguem a CLT ou regulamentações para autônomos/MEI, afetando gastos com pessoal e compliance.
- **Regulamentação de Plataformas Digitais:** projetos de lei, como os relacionados a iFood, Rappi e Loggi, definem condições de trabalho, segurança e remuneração, impactando custos e gestão operacional.
- **Normas de Segurança e Trânsito:** o CTB estabelece regras sobre carga e descarga, equipamentos obrigatórios e restrições de estacionamento, condicionando a logística urbana.
- **Exemplos de Projetos e Normas Recentes:** PL 1665/2020 garante proteção a entregadores durante a pandemia de Covid-19, refletindo diretamente em planejamento, custos e operação da última milha.

4. RESULTADO E DISCUSSÕES

Programas municipais incentivando “hubs urbanos” ou “minicentros de distribuição” para otimizar a última milha.

4.1. Situação Atual no Brasil

O uso de drones para entregas já é permitido, mas super-regulamentado. As principais regras são da:

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil): regula aeronaves não tripuladas.

DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo): cuida da autorização de voo no espaço aéreo.

ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações): regula o uso das frequências de rádio dos drones.

Para usar drone comercialmente, a empresa precisa de licença da ANAC + autorização de voo do DECEA + homologação do drone pela ANATEL.

4.2. Principais Normas da ANAC

Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E) nº 94: Regras gerais para uso de drones.

Para entregas:

Drones devem ser categoria Classe 1 (peso acima de 150 kg) ou Classe 2 (de 25 a 150 kg) se forem grandes entregas.

Se o drone voar além da linha de visão (BVLOS – Beyond Visual Line of Sight), precisa de autorização especial.

Seguro obrigatório contra danos a terceiros (seguro de responsabilidade civil).

4.3 Aplicações na Logística de Última Milha

A logística de última milha engloba diversas operações essenciais para garantir que o produto chegue de forma rápida e eficiente ao consumidor final. Entre suas aplicações destacam-se:

- **Entrega de pequenas encomendas em áreas urbanas ou rurais:** este tipo de entrega é crucial para o comércio eletrônico e empresas de serviços, pois

permite que produtos sejam distribuídos diretamente ao consumidor final. A operação demanda planejamento eficiente de rotas e veículos, considerando fatores como densidade populacional, restrições urbanas e características da região rural. A escolha do modal adequado, seja veículo leve, bicicleta elétrica ou drones, influencia diretamente os custos e a agilidade da entrega, conectando-se diretamente ao problema de pesquisa.

- **Redução do tempo e custo de entrega para locais de difícil acesso:** regiões com ruas estreitas, zonas rurais ou bairros irregulares apresentam desafios logísticos significativos. Estratégias como rotas otimizadas, utilização de veículos compactos ou modais alternativos, como drones e bicicletas, podem reduzir custos de combustível, retrabalho e tempo de deslocamento. A adoção desses métodos evidencia como a logística de última milha enfrenta o desafio de equilibrar eficiência operacional e custos elevados.
- **Entregas rápidas de produtos urgentes (ex.: medicamentos, alimentos perecíveis):** produtos com alto valor ou perecibilidade exigem entregas prioritárias e monitoramento constante. Esse tipo de operação pressiona toda a cadeia logística, demandando integração entre armazéns, transporte e sistemas de rastreamento, aumentando o investimento em tecnologia e planejamento. O uso de modais ágeis e rotas otimizadas é essencial para reduzir o tempo de entrega sem elevar excessivamente os custos, refletindo diretamente no problema de pesquisa.

Exemplos no Brasil: empresas como iFood, Speedbird Aero e os Correios têm realizado testes e projetos-piloto com drones homologados, demonstrando como a inovação tecnológica pode facilitar entregas em áreas de difícil acesso e reduzir custos de operação, embora ainda existam desafios de regulamentação e aceitação pública.

4.4 Desafios atuais na Infraestrutura

A adoção de tecnologias avançadas, como drones, ainda enfrenta desafios estruturais significativos:

- **Faltam corredores aéreos urbanos para drones:** a integração segura de drones no espaço aéreo urbano é limitada, exigindo regulamentação e planejamento de rotas específicas. Isso impacta a eficiência e aumenta os custos operacionais da última milha.
- **Segurança:** drones e outros modais alternativos estão sujeitos a riscos de colisão, falhas técnicas e interferência de sinal, o que pode gerar atrasos, danos às mercadorias e custos adicionais.

- **Responsabilidade jurídica:** acidentes envolvendo drones ou veículos autônomos levantam questões sobre responsabilidade civil e seguro, adicionando complexidade ao planejamento logístico e ao controle de custos.
- **Aceitação pública:** barulho, privacidade e percepção de segurança influenciam a implementação de novas tecnologias, exigindo investimentos em comunicação e conscientização do público, o que também impacta o custo da operação.

4.5 Desafios da Logística de Última Milha

4.5.1 Custo elevado

A última milha pode representar até 53% do custo total da entrega, devido a fatores como trânsito, entregas em áreas de difícil acesso e tentativas malsucedidas. Esses custos refletem diretamente no problema de pesquisa, mostrando a necessidade de estratégias de otimização de rotas, modais alternativos e automação para reduzir despesas e aumentar a eficiência.

4.5.2 Trânsito e infraestrutura urbana

Congestionamentos, ruas estreitas e falta de áreas para carga e descarga dificultam a operação, aumentando o tempo de entrega e o consumo de combustível. Restrições de circulação em centros urbanos, como horários para caminhões e zonas restritas, exigem planejamento detalhado e adaptação de modais, influenciando diretamente os custos e a eficiência da última milha.

4.5.3 Expectativas de entrega rápida

O cliente moderno espera entregas em 24 horas ou no mesmo dia, pressionando toda a cadeia logística. Atender a essas expectativas sem elevar excessivamente os custos requer integração de sistemas, rotas otimizadas, uso de tecnologia e modais ágeis, conectando-se diretamente ao problema da pesquisa.

4.5.4 Sustentabilidade

A necessidade de muitas entregas individuais aumenta a emissão de CO₂, pressionando as empresas a adotarem soluções verdes, como drones, bicicletas elétricas e veículos menores. A implementação de práticas de logística verde deve equilibrar custos, eficiência e impacto ambiental, refletindo um desafio central do estudo.

4.5.5 Problemas com endereçamento

Endereços incorretos ou incompletos, especialmente em zonas rurais ou comunidades, atrasam ou inviabilizam entregas. Esse problema aumenta os custos operacionais e exige soluções tecnológicas de rastreamento e geolocalização.

4.5.6 Segurança

Risco de roubo de cargas e assaltos a entregadores em áreas urbanas aumenta os custos com seguros, protocolos de segurança e treinamento, impactando a eficiência e os recursos disponíveis para a última milha.

4.5.7 Tentativas de entrega sem sucesso

Quando o cliente não está disponível, é necessária uma segunda tentativa ou devolução, elevando custos e atrasando outras entregas. Estratégias como entregas programadas, lockers inteligentes e comunicação via aplicativos ajudam a mitigar esse problema.

4.5.8 Tecnologia e rastreabilidade

Sistemas integrados de rastreamento, otimização de rotas em tempo real e comunicação com o cliente exigem alto investimento em TI e automação, mas são essenciais para reduzir custos, aumentar a eficiência e atender às expectativas de entrega rápida.

4.5.9 Diversidade de entregas

Entregas de produtos variados exigem adaptação de veículos, embalagens e operações. Veículos leves, bicicletas ou drones são mais adequados para pequenos pacotes, enquanto móveis e eletrodomésticos exigem caminhões e planejamento diferenciado. Essa diversidade impacta diretamente os custos e a escolha de modais, tema central do problema de pesquisa.

Sustentabilidade e Eficiência nas Entregas

A crescente preocupação com questões ambientais tem levado as empresas a buscarem soluções mais sustentáveis, como o uso de veículos elétricos, otimização de rotas para reduzir combustível e incentivo ao uso de embalagens ecológicas. A eficiência operacional também é fundamental, pois contribui para redução de custos, melhora da experiência do cliente e atendimento às expectativas de entregas rápidas. Assim, ao integrar sustentabilidade, tecnologia e planejamento

estratégico, as empresas conseguem enfrentar os desafios de altos custos e complexidade da última milha, que constituem o foco do estudo.

Desafios na Implementação de Novas Tecnologias

Embora as inovações tragam benefícios, a implementação dessas tecnologias também apresenta desafios. Entre os principais obstáculos estão os altos custos iniciais, a regulamentação governamental e a resistência à mudança por parte de empresas tradicionais. Além disso, questões de segurança e privacidade em relação ao uso de drones e veículos autônomos também são fontes de preocupação.

A logística de última milha está passando por uma transformação acelerada, impulsionada por inovações tecnológicas e pela necessidade de adaptação às novas exigências dos consumidores. As empresas estão investindo em soluções como veículos autônomos, drones e inteligência artificial, buscando não só aumentar a eficiência, mas também atender à crescente demanda por entregas rápidas e sustentáveis. Contudo, os desafios relacionados aos custos de implementação, regulamentação e segurança ainda são barreiras importantes que precisam ser superadas. Com o tempo, espera-se que essas tecnologias se tornem mais acessíveis e integradas, permitindo uma evolução ainda mais significativa na logística de última milha.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi o de desenvolver estudos teóricos e empíricos para elucidar o problema da última milha e contribuir para a melhoria dos processos de gestão do processo logístico da cadeia de suprimentos. O levantamento da literatura sobre o tema foi realizado, assim como a pesquisa empírica realizada com a utilização do software ARENA na simulação para identificar o tempo médio de entrega entre os modais: drone, moto e fiorino. Os resultados indicam que as tendências mais relevantes incluem o uso de veículos autônomos, drones, inteligência artificial e a crescente personalização das entregas.

Os Autores consideram o presente artigo como o relato de um estudo preliminar que deverá ser aprofundado o sentido de aproximar o foco para um ramo de atividade econômica de forma a construir um estudo de caso específico.

6. REFERÊNCIAS

Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B. (2013). Logistics Management and Strategy: Competing Through the Supply Chain. Pearson Education.

BRASIL. Projeto de Lei nº 1665, de 2020. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/151132>. Acesso em: 15 abril 2025.

BRASIL. Código de trânsito brasileiro. (1997). Disponível em: < <https://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/70315>>. Acesso em: 10 abril 2025.

Equipe TOTVS. Last mile: o que é, como funciona e como otimizar. (26/09/2024). Disponível em: <<https://www.totvs.com/blog/gestao-logistica/last-mile/#:~:text=Na%20gest%C3%A3o%20log%C3%ADstica%2C%20o%20last,a%20satisfa%C3%A7%C3%A3o%20de%20seus%20consumidores>>. Acesso em: 20 abril 2025.

Gattorna, J. (2015). Dynamic Supply Chain Management: Competitive Strategy in the Supply Chain*. Pearson Education.

Lee, K. (2020). Artificial Intelligence in Last-Mile Delivery: A New Frontier for ECommerce Logistics. International Journal of Logistics Technology, 25(1), 76-88.

McGRATH, Amanda; JONKER, Alexandra. O que é a Logística da cadeia de suprimentos? (02/12/2023). Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/topics/supply-chain-logistics>>. Acesso em: 25 abril 2025.

MECALUX. A gestão da Last mile ou última milha logística começa no armazém. (22/06/2020). Disponível em: < <https://www.mecalux.com.br/blog/last-mile-logistica>>. Acesso em: 20 abril 2025.

Rodrigues, L. (2022). Inovações na Logística de Última Milha: Como as Tecnologias Estão Transformando o Setor. Journal of Logistics Innovation, 18(2), 45-60.

Silva, M. A., & Costa, R. L. (2021). A Logística de Última Milha e o Comércio Eletrônico: Tendências e Desafios. Revista Brasileira de Logística, 13(4), 134-147.

Declaro, para os devidos fins, que este trabalho é original e que todas as fontes utilizadas foram devidamente referenciadas