



Uso de modelagem de simulação baseado em agente no processo de escolha de veículos no setor de E-commerce

Marcos Vinicius Moreira Reis

Departamento de Engenharia Mecânica e Produção (DEMEP)

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei

E-mail: mvmric@gmail.com

Leandro Reis Muniz

Departamento de Engenharia Mecânica e Produção (DEMEP)

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei

E-mail: leandro.reis@ufsj.edu.br

RESUMO

Diante do aumento significativo do comércio eletrônico no Brasil, em que o consumo de produtos se consolidou graças ao acesso ampliado às tecnologias de comunicação, que se tornaram mais populares. Nesse contexto, tem crescido a preocupação com os recursos usados na fase final da entrega (conhecida como "última milha") e com o aumento da utilização de áreas urbanas para a operação de veículos de entrega, tornando imperativa a busca por novas soluções para reduzir os custos e impactos da última milha. No entanto, a implementação e testes de novos projetos para resolver esses problemas geralmente acarretam custos consideráveis. Para mitigar esses custos de teste, os profissionais envolvidos em projetos de logística da última milha começaram a adotar ferramentas de simulação. Dentre essas ferramentas, a simulação baseada em agentes tem se destacado como eficiente na resolução de desafios relacionados à última milha. Isso ocorre devido à variedade de partes interessadas (stakeholders) envolvidas nesse cenário complexo, incluindo a comunidade local, os clientes, as transportadoras, as lojas, as plataformas de vendas, entre outros, cada um com seus próprios objetivos e metas. Vale ressaltar que a escolha do veículo mais adequado para cada situação no sistema de entrega pode variar. O artigo em questão utiliza a simulação baseada em agentes como método para analisar a viabilidade e o desempenho de diversos tipos de veículos utilizados na entrega de produtos de comércio eletrônico.

Palavras-chave: E-commerce, Simulação baseada em agente, Veículos de entregas, Armário de entrega.

1. INTRODUÇÃO

A pandemia de COVID-19 teve um impacto significativo no setor de serviços em todo o mundo devido às restrições impostas para conter a propagação do vírus e salvar vidas. Nesse contexto, o comércio eletrônico experimentou um aumento considerável na demanda no Brasil, assim como em muitas partes do mundo, com taxas de crescimento de dois dígitos. Isso foi impulsionado por diversos fatores. Primeiramente, o acesso cada vez mais democrático às tecnologias de comunicação permitiu que mais pessoas comprassem online. Além disso, a diferença de preço entre produtos online e aqueles disponíveis em lojas físicas incentivou até mesmo pequenos comércios a expandirem seus negócios para o ambiente virtual, o que resultou em uma ampla disponibilidade de produtos online. No entanto, esse aumento na demanda também



trouxe desafios, especialmente relacionados à fase final da entrega, conhecida como "última milha". Os recursos gastos na última milha e o impacto no uso do solo devido à operação de veículos de entrega se tornaram preocupações crescentes. Portanto, é necessária a busca por novas soluções para minimizar os custos e impactos associados à última milha. Nesse contexto, a pesquisa e o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de entrega, bem como a utilização de tecnologias inovadoras, como veículos elétricos e métodos de entrega mais sustentáveis, podem desempenhar um papel fundamental na resolução desses desafios e na promoção de um comércio eletrônico mais responsável e sustentável (ALVES , 2019).

Houve com isso um aumento da demanda de e-commerce no Brasil, além de diversos outros países, em especial no ano de 2019, 2020 e 2021 devido aos impactos gerados pela COVID-19, que levou a década 2011 a 2020, ser um ponto de virada no uso do comércio eletrônico, o tornando viável, pois, com a extensão territorial brasileira tornou a expansão do e-commerce mais lenta. O e-commerce tem como vantagem ante os meios de comércio tradicional uma ampliada variedade dos produtos com preços mais acessíveis, dando a um consumidos uma maior liberdade de escolha, no entanto, o e-commerce ainda possui uma grande mercado a conquista dentro do território brasileiro, esperando por seu problemas logístico serem sanados (CRUZ, 2022).

Durante a pandemia de covid-19 o e-commerce faturou 7,385 trilhões de reais, valores que superam muito o PIB nominal de muitos países, o que atrai a atenção de autoridade de diversos países para o aperfeiçoamento do sistema de transporte, no Brasil esse faturamento chega a 38.8 bilhões de reais, alcançando esse resultado crescendo em média mais de 20% ao ano, o que demonstra uma tendência global e também do território brasileiro. O que tem como principal influência o alcance de 79,1% da população brasileira com internet (FARIAS, 2021).

Com o aumento dos gastos na fase final da entrega, as empresas buscaram maneiras de reduzir os custos da última milha por meio do uso de tecnologias. Uma dessas abordagens é a implementação de armários de entrega (conhecidos como "delivery lockers"), que têm o objetivo de reduzir a quantidade de deslocamentos que as empresas precisam realizar para concluir uma entrega, evitando falhas nas entregas por parte dos consumidores. Isso, por sua vez, estava resultando em um aumento no número de viagens necessárias para efetuar as entregas (ALVES, 2019).

Para reduzir os custos operacionais, várias opções de veículos de entrega são empregadas. Contudo, avaliar o impacto de cada veículo individualmente pode ser dispendioso. Portanto, é comum recorrer à simulação para contornar os custos associados aos testes. Isso ajuda a tornar a escolha do veículo mais confiável em termos de eficiência de custos.



2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste artigo é compreender como os diversos tipos de veículos usados no transporte de produtos de comércio eletrônico na região central de Belo Horizonte podem se adaptar ao sistema de entrega por meio de "Delivery Lockers". Como objetivo específico, pretende-se:

Coletar dados acerca do uso de veículos e sistemas de entrega, frente a diferentes demandas e cenários presentes nas bibliografias;

Simular de acordo com dados coletados, possíveis veículos de entrega na região central de Belo Horizonte-MG, no Brasil;

Comparar o desempenho dos veículos considerados valores monetários e eficiência de entrega bem sucedida;

Avaliar os resultados de simulação do sistema de entrega baseado em delivery lockers;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foram pesquisados os artigos da base de Web of science, Elsevier e google scholar com os termos simulation, agent-based, ecommerce e delivery lockers.

Durante a pandemia de covid-19, responsável por grandes impactos no setor de serviços, devido a restrições de funcionamento, neste cenário, o aumento do consumo de itens através do e-commerce se consolidou a partir do acesso a tecnologias de comunicação que vem se popularizando, e devido a diferença de preço entre os itens online frente os itens nas lojas locais, o que levou os pequenos comércios a venderem seus produtos online o que também colaborou na oferta de produtos online. Uma das grandes utilidades da Modelagem e simulação baseada em agente (MSBA), é a simulação dos públicos alvos de uma empresa que demonstram em seu comportamento um grande reação a suas próprias opiniões, culturas, hábitos e muitas outras variáveis que possam ser modificadas dentro do agente. Sendo assim, a MSBA é ideal para o setor de serviços. Buscando medir a distância total percorrida pelos agentes, o tempo gasto por eles, e a quantidade de pedidos com sucesso diante de tais cenários. Dentre os cenários simulados houve cenários que se destacaram apresentando menores custos de operação, onde conclui-se que o melhor cenário para o DL eram cenários que tinha uma taxa de pedidos diários de 480 pedidos, com uma utilização de DL em 45% e uma com a exclusão das três tentativas de entrega (ALVES; PEREIRA; LIMA, 2023).

No processo de seleção de veículos, existem diversas variáveis que precisam ser analisada, no entanto, tais variáveis não são retirada diretamente dos parâmetro do veículo que por sua vez precisam ser testados, e avaliados conforme a distância percorrida o número de entregas realizadas, entre outras variáveis, no entanto, o processo de teste veículos e custoso devido a necessidade de aquisição do veículo. Para solucionar a melhor frota de veículos de última milha, faz-se uso de simulação baseada em agentes através do programa anylogic que aperfeiçoa a qualidade dos agentes e da simulação, aperfeiçoando o sistema



simulado. O uso de triciclos convencionais na última milha pode ter sua viabilidade confirmado através do uso de simulação baseada em agente, utilizando-se de técnicas de estatística para aperfeiçoamentos dos resultados, na tentativa de encontrar o veículo ambientalmente mais saudável, e conclui-se a importância dos triciclos elétricos na diminuição dos impactos ambientais, mas ainda sim é possível observar o aumento do custo devido ao custo de veículos elétricos (AZAD et al., 2023).

Lyu et al. (2022) determina que para fazer uso de simulação de eventos discretos, é necessário fazer a programação dos stakeholders de modo a garantir a qualidade de simulação de suas interações, na análise de custo de um sistema, pode ser testado diferentes rotas e seus determinados custos de atividade em um sistema de última milha de entrega de mercadoria, tendo em vista minimizar seus custos, distância percorrida e sucessos de entregas.

Simoni et al. (2020) determinar que cenários de simulação são ideais para testar situações em que esse novo cenário é aplicado, no modelo em questão, a situação de congestionamento e levado em consideração na hora de simular os efeitos, sendo assim possível analisar o efeitos do congestionamento no tipo de entrega abordado, levando em consideração modelos de entregas crowdshipping (entrega feita por pessoas que não pertence a empresa), determinando o custo de uma frota de veículos ou pessoas que façam uso de transporte público em ambos os casos as pessoas estão se direcionando para o local de entrega. Com isso, a simulação baseada em agentes se demonstrou eficiente no processo de estudo do cenário.

Segundo Bell et al. (2023), quando se analisa diversos métodos de solução de problema no quesito da última milha, no propósito de encontrar a melhor solução para o problema, o uso de simulação baseado em agentes para teste de diversas metodologias se mostrou extremamente eficiente uma vez que possível testá-la simultaneamente, economizando recursos analisando os custos e tempo de entrega a partir do uso de uma frota com propulsão elétrica através do software de simulação determinística PTV VISUM, os resultados mostraram reduções significativas no impacto econômico e ecológico, bem como oportunidades para melhorar a qualidade de vida na cidade.

Segundo Sawik et al. (2023), os processos de simulação que envolvem otimização de redes necessitam que os algoritmos das transportadoras sejam capazes de garantir a menor distância possível percorrida pelos veículos diminuindo a quantidade de falhas, o tempo necessário e os custos, tornando possível serem desenvolvidos de forma mais robusta, necessário para simulações no setor de e-commerce e avaliar demandas, custos e receitas do sistema simulado. O procedimento usa um modelo matemático APL integrado em uma estrutura de simulação otimizada com a API CPLEX da IBM para Java, devido à compatibilidade com o software Anylogic baseado em Java, obtendo resultados de simulação dos próximos 3 anos.

O impacto do uso de estratégia de entrega rápida e flexível sobre o custo total do sistema de entrega de e-commerce com o uso de simulações através do software python, buscando analisar variáveis de saída



relacionada aos impactos ambientais através da distância percorrida pelos veículos de entrega onde se observou um aumento da distância percorrida a medida que o número de entrega fast aumentava (NOGUEIRA et al., 2022).

Reiffer et al. (2021) avalia o impacto de última milha no setor de transporte urbano, com o uso de simulação integrada a otimização com o uso do software logótipo, no processo de entrega foi utilizado delivery lockres para aperfeiçoar o processo de entrega, no entanto, foi utilizado a prática de três tentativas para prever um cenário de entrega situado na cidade de Karsbruke na Alemanha. Para reduzir os custos operacionais, foi simulado 10% da população tratando a outra parcela da população como equivalente e simétrica.

Calabro et al. (2022) elabora um novo modelo de simulação que compara dois métodos de entrega sendo eles: as entregas em domicílios e o uso de pontos de entregas e coletas, buscando cenários mais sustentáveis alcançados através da variação da quantidade de DL implantados no modelo de entrega. Produzindo assim, uma diminuição dos custos de operação, entregas falhas e emissão de gases poluentes, o objetivo é encontrar um equilíbrio entre o custo do operador, a qualidade do serviço ao cliente e o impacto ambiental, considerando fatores de design, como a densidade de Pontos de Entrega de Pacotes (CDPs). É implementado no ambiente de programação NetLogo e envolve quatro tipos de agentes: clientes, veículos de entrega, pacotes e CDPs. Os principais parâmetros de entrada do modelo dizem respeito a aspectos geométricos da área de serviço, características da demanda e oferta, bem como a duração da simulação.

Através do uso de simulação baseada em agentes o uso de drones para o processo de entrega de mercadoria na última milha procurando minimizar o impacto dos transportadores sobre o trânsito local, buscando aumentar sua fluidez aumentando a taxa de entrega para o modelo de entrega. No entanto, ficou evidente que os impactos na redução de custos ambientais são consideráveis, bem como a redução de congestionamento da região, porém, para tornar o uso de drones para entrega de última milha, é necessária uma rede com pontos de distribuição mais próximos dos clientes para tornar o processo mais viável, tornando necessário uma quantidade de cliente maior por metro quadrado (BALASSA et al., 2023).

A simulação baseada em agente é uma simulação dinâmica que opiniões e situação dos stakeholders influenciam na situação atual dos modelos tornando o modelo mais próximo dos resultados reais do futuro projeto. Com as simulações é possível entender como aquela sociedade se comporta e habita. O tempo de deslocamento pode se tornar maior com uma maior quantidade de veículo na estrada, com modelos mais dinâmicos frente a diferentes opções e decisões que possam ser tomadas por um stakeholders (ALHO et al., 2017).

Os modelos de simulação se mostram eficientes no auxílio à tomada de decisão, uma vez que são capazes de criar previsão com alta taxa de confiabilidade, aprofundando-se na simulação de variáveis relacionadas aos agentes presentes nos meios que interferem no agente final.



4 METODOLOGIA

A pesquisa atual é do tipo simulação, pois visa compreender o comportamento de diferentes veículos em relação ao sistema de entrega "Delivery Lockers" na região circundante da cidade de Belo Horizonte. Esse sistema será abordado de maneira dinâmica, o que significa que ele será representado em todos os momentos, com variáveis que se comportam de forma contínua, ou seja, algumas variáveis mudam ao longo do tempo.

Para a modelagem dessa simulação, foi utilizado o software AnyLogic[®], que oferece várias vantagens, incluindo a facilidade de criar modelos dos agentes que compõem o sistema, permite a manipulação desses agentes e oferece uma linguagem de programação amigável baseada em JAVA, que se concentra em orientação a objetos. Além disso, oferece a opção de modelagem por meio de fluxogramas, simplificando o processo de modelagem, também oferece diversos recursos voltados para a interação dos agentes em um sistema dinâmico e considera um conjunto de ações pré-programadas.

O modelo de simulação do caminhão também depende de um algoritmo de busca em redes, sendo o modelo de vizinho mais próximo que se demonstra eficaz para o modelo de simulação proposto. Para as simulações foi selecionado o cenário com uma taxa de falha de 5%, com um volume de pedidos diários de 240 pedidos diários e uma taxa de implantação de DLs de 22.5%.

4.1 ANÁLISE DE CUSTO

Com base na pesquisa de Alves (2019), podemos definir os custos totais de produção como a soma dos custos que abrangem os gastos com operações. Esses custos podem variar dependendo da quantidade gasta para cada tipo de veículo, incluindo custos como combustível, mão de obra, despesas externas, custos de hospedagem e outros. Em resumo, a pesquisa de Alves fornece uma estrutura para calcular os custos totais de produção relacionados a diferentes tipos de veículos, considerando fatores como o consumo de combustível, a distância percorrida e o preço do combustível. A Equação 1 para calcular o custo total (C_c) é o resultado da multiplicação do consumo por quilômetro (C_c), da distância percorrida (D_c) e do preço do combustível (P_c).

$$C_c = C_c \times D_c \times P_c \quad (1)$$

O custo de mão de obra é definido baseando se pelo tempo gasto pelos funcionários (C_{mb}). O custo total do tempo de viagem é igual ao da renda mensal dos transportadores (E_s), e números de veículo utilizado (N_v), ficando o custo em relação ao tempo disposto na Equação 2 (ALVES, 2019).

$$C_{mb} = E_s \cdot N_v \quad (2)$$



Os custos de uma outra entrega (Cree) são calculados a partir do produtor dos gastos de reenvio (Ge), quantidade de falha(Qf), sendo representado pela Equação 3 (ALVES, 2019).

$$Cree = Ge \times Qf \quad (3)$$

Os custos de hospedagem de itens no DLs (Ghos) na Equação 4, é o produtório do custo por unidade armazenada (Cu) e a quantidade de pedidos entregue por meio dos DLs (Qpdl) (ALVES, 2019).

$$Ghos = Cu \times qpdl \quad (4)$$

Com isso o custo total passa a ser o somatório dos custos encontrados nas funções anteriores, sendo assim, temos que o custo total é representado pela Equação 5 (ALVES, 2019).

$$Ctotais = Ghos + Cree + Cmb + Cc \quad (5)$$

Variáveis usadas para custos foram descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Custos relacionados ao veículo

Custos	Valor
Salário	R\$4,000.00
Preço de combustível	R\$5.51
Preço do diesel	R\$5.84
custo da energia	R\$2.99

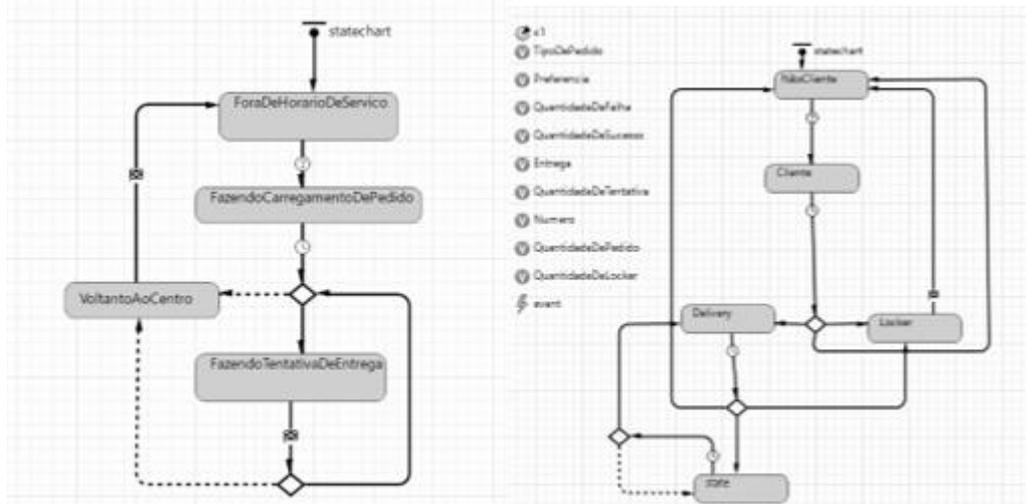
Fonte: Aatoria própria

4.2 MODELAGEM DE SIMULAÇÃO

A modelagem da simulação foi feita em Anylogic[®], que traz como vantagem a facilidade na modelagem dos agentes que a compõem, o anylogic[®] permite a manipulação dos agentes, criando uma rede neural de forma simples, e uma linguagem de programação amigável, baseada em JAVA (linguagem que tem seu foco no objeto), trazendo uma opção de modelagem através de fluxograma, facilitando o processo de modelagem, assim o anylogic[®] conta com diversos recursos focada na interação dos agentes, em cima de um sistema dinâmico, considerando um conjunto de ações pré programadas. O modelo de simulação dos clientes representados pela Figura 1 (a) onde as ações dos clientes se demonstram bastante simplista, no entanto, demonstram a necessidade de uma simulação individual de cada cliente. Com isso, através de simulação podemos definir a partir do processo de que os custos de operação. Testando motos e

triciclos com diferentes capacidades de carga. Onde o modelo de simulação para a distribuidora é apresentado na Figura 1 (b).

Figura 1: Fluxograma de simulação do cliente (a) à direita e do caminhão (b) a esquerda



Fonte: Autoria própria

O modelo de veículo de distribuição precisa ter em seu componentes um modelos de distribuição de carga entre os clientes de modo que seja eficiente, podendo utilizar o modelo de busca em grafos do vizinho mais próximos. Os agentes clientes devem ter um modelo de opiniões robusto capazes de reagir a mudança de cenário que ocorre no modelo, o agente distribuidora tem como principal objetivo preparar a carga dos veículo conforme capacidade e necessidade de entrega, o modelo do agente cidade ou zona de simulação, envolve deve buscar, trazer todas as variáveis que possam ajudar na tomada de decisão.

Para a simulação, foram adotados 7 veículos, com diferença de cargas e velocidade de deslocamento, onde foram simulados três cenários com os veículos da Tabela 2.

O modelo de simulação do caminhão também depende de um algoritmo de busca em redes, sendo o modelo de vizinho mais próximo que se demonstra eficaz para o modelo de simulação proposto. Para as simulações foi selecionado o cenário com uma taxa de falha de 5%, com um volume de pedidos diários de 240 pedidos diários e uma taxa de implantação de DLs de 22.5%.

Tabela 2: Capacidade dos veículos simulados

Veículo	Carga máxima(Kg)
mercedes-benz accelo 815	3000
Triciclos Convencionais 1	300
Motos de carga 125 c	68

Fonte: Autores



A quantidade de veículos foi determinada e classificada de acordo com a carga total e necessidade sendo a quantidade de cada veículo descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Quantidade de veículos usados na simulação.

Quantidade de veículos	Caminhão	Triciclo 300p	Moto 125
Dia	5	6	9
Noite	2	2	2

Fonte: Autoria própria

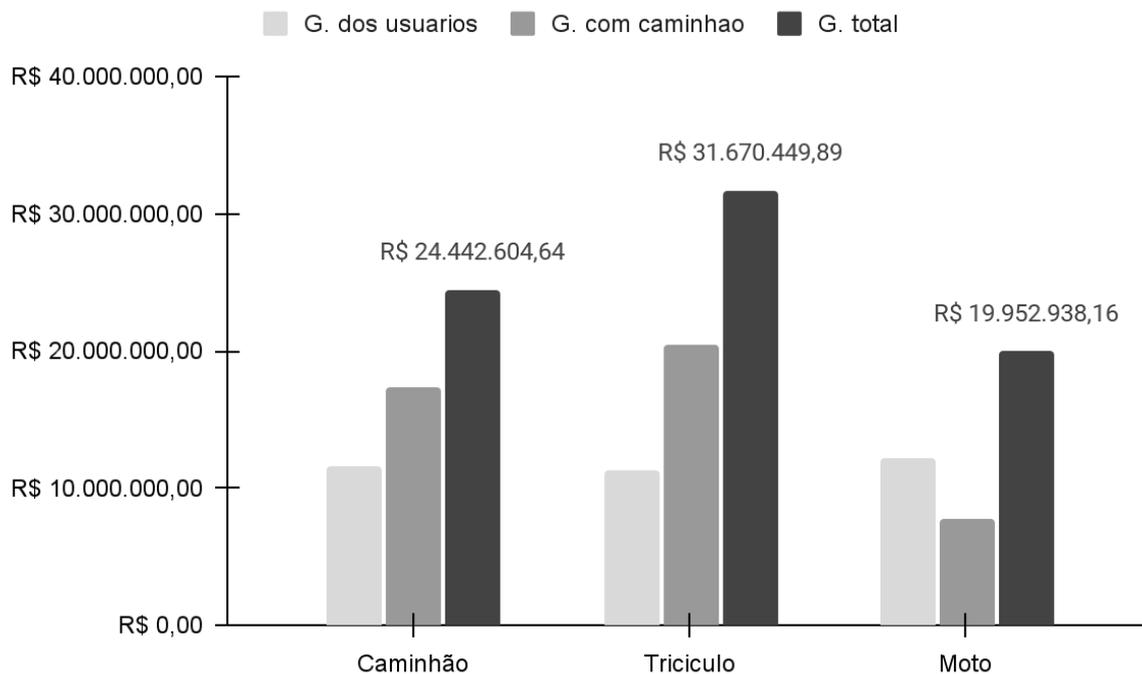
As velocidades de veículos mudam conforme o tipo de veículo mudam, medidas tomadas a partir do benefício que cada tipo de veículo possui. Para compensar a capacidade reduzida ou aumentada, foi implantada uma maior quantidade de veículos para não ocorrer uma redução da capacidade de carga total. Para as simulações foi selecionado o cenário com uma taxa de falha de 5%, com um volume de 240 pedidos diários e uma taxa de implantação de delivery lockers de 22.5%. Com uma simulação feita a partir dos veículos citados na Tabela 1.

4 RESULTADO

Os resultados de simulação apontam para uma diminuição dos custos totais do sistema, principalmente por parte da empresa, quando se adotam o modelo que utilizam de motocicletas para efetuar a distribuição de produtos, porém à medida que a capacidade de carga diminui, o veículo se torna menos ideal para implantação junto a implantação de DLs. Porém o transporte noturno tem como vilão uma maior insegurança se comparado ao sistema normal.

Podemos observar que ao adotarmos um cenário com uma taxa de falha de 5%, com um volume de pedidos diários de 240 pedidos diários e uma taxa de implantação de DLs de 22.5%, usando para o experimento, temos os resultados da Figura 3, podemos observar que parte dos custos que são passados para o cliente.

Figura 3: Custo dos clientes e da empresa de entrega



Fonte: autoria própria

Os resultados de simulação apontam para uma simulação dos custos totais do sistema, principalmente por parte da empresa, quando se adotam o modelo que utilizam de motocicletas para efetuar a distribuição de produtos, porém à medida que a capacidade de carga diminui, o veículo se torna menos ideal para implantação junto a implantação de DLs, sendo assim, é ideal na operação de DLs o uso de um veículo secundário, para a entregas em DLs. Sendo este veículo de maior capacidade de carga e operando em período noturno, evitando o trânsito e congestionamento. Porém o transporte noturno tem como vilão uma maior insegurança se comparado ao sistema normal. A Tabela 4 mostra a distância percorrida pelos clientes e pela transportadora.

Tabela 4: Distância Percorrida em Km pelos clientes e transportadora

Veículos	Cliente	Empresa
Caminhão	28309.36	16178.45
Triciclo 150p	26606.99	121119.48
Moto 125	29586.38	50600.25

Fonte: Autoria Própria

A quantidade de pedido falhos variam muito de acordo com os veículos de acordo com a Tabela 5, podemos observar quanto o tipo de veículo interfere na capacidade de entrega da empresa sendo o número



de entregas feitas o números de entregas falhas e a quantidade de pedidos que os cliente tiveram que buscar no centro de distribuição.

Tabela 5: Tabela de entregas e falhas de entregas

Veículo	Entregas	Falhas	Taxa de falhas
Caminhão	85,479	3,327	3.75%
Triciclo 150p	112,418	1,683	1.48%
Moto 250	122,870	2,571	2.05%

Fonte: Autoria própria

5 CONCLUSÃO

As simulações realizadas revelaram que à medida que a capacidade de carga dos veículos diminui, torna-se necessário estabelecer janelas de tempo para manter a qualidade das entregas. Isso ocorre devido à necessidade de retornar ao centro de distribuição com maior frequência, não apenas para os drones, mas também para os veículos menores, a fim de otimizar os custos de operação. Para veículos menores, é crucial implementar uma distribuição mais densa de pontos de entrega, com foco em atender o público local. No entanto, essa abordagem apresenta desafios de logística, considerando o aumento na distância total percorrida pelos veículos menores.

Vale destacar que, apesar desse aumento na distância, os veículos menores consomem menos combustível. Portanto, a capacidade de entrega deve ser equilibrada de acordo com a demanda e planejada de modo a permitir que todas as entregas sejam realizadas dentro do período de serviço de cada funcionário de entrega. O uso de motos se mostrou eficiente no processo de entrega, embora tenha havido um aumento no número de falhas de entrega, devido ao aumento da demanda. Para pesquisas futuras, é aconselhável realizar testes em cenários genéricos, a fim de explorar uma ampla gama de parâmetros que possam indicar quais são os requisitos necessários para a viabilidade de diferentes tipos de entrega e veículos. Isso ajudaria a criar uma base de literatura que descreva as aplicações de modelos em contextos diversos. Esses modelos podem ser posteriormente estendidos para cenários reais, permitindo a identificação dos limites de aplicação dos serviços de DLs. Alguns dos parâmetros que podem ser explorados em pesquisas futuras incluem: Pedidos mínimos, densidade populacional, taxa de falhas, velocidade de deslocamento.

Além disso, há uma necessidade evidente de pesquisa sobre o custo de compensação de emissões de carbono. Com o crescente foco na sustentabilidade e nas preocupações ambientais, entender o custo necessário para compensar as emissões de carbono associadas aos serviços de entrega é fundamental. Essas pesquisas podem fornecer insights valiosos para a otimização e o planejamento de sistemas de entrega,



contribuindo para a eficiência e a sustentabilidade das operações de entrega em um contexto de comércio eletrônico em constante crescimento.



REFERÊNCIAS

- ALHO, Andre.; BHAVATHRATHAN, B. K; STINSON, Monique; GOPALAKRISHNAN, Raja; LE DiemTrinh.; BEN-AKIVA, Moshe; A multi-scale agent-based modelling framework for urban freight distribution. *Transportation Research Procedia*, Elsevier, v. 27, p. 188–196, 2017.
- ALVES, Roberta; Modelagem e simulação baseada em agente aplicada ao transporte de carga do comércio eletrônico, outubro de 2019, Tese (Doutorado), curso de engenharia de produção, Universidade Federal de Itajubá, 2019.
- ALVES, R.; PEREIRA, C. A.; LIMA, R. da S. Operational cost analysis for e-commerce deliveries using agent-based modeling and simulation. *Research in Transportation Economics*, Elsevier, v. 101, p. 101348, 2023.
- AZAD, M.; ROSE, W. J.; MACARTHUR, J. H.; CHERRY, C. R. E-trikes for urban delivery: An empirical mixed-fleet simulation approach to assess city logistics sustainability. *Sustainable Cities and Society*, Elsevier, v. 96, p. 104641, 2023.
- BALASSA, B. E.; KOTECZKI, R.; LUK ´ ACS, B.; BUICS, L. Sustainability aspects of drone-assisted last-mile delivery systems—a discrete event simulation approach. *Energies*, MDPI, v. 16, n. 12, p. 4656, 2023.
- BELL, Lena; SPINLER, Stefan; WINKENBACH, Matthias; MÜLLER, Vincent. Assessing economic, social and ecological impact of parcel-delivery interventions in integrated simulation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 121, p. 103817, 2023.
- CALABRO, Giovanni; PIRA Michela; GIUFFRIDA, Nadia; FAZIO, Martina; INTURRI Giuseppe; IGNACCOLO, Matteo. Modelling the dynamics of fragmented vs. consolidated last-mile e-commerce deliveries via an agent-based model. *Transportation Research Procedia*, v. 62, p. 155-162, 2022.
- CRUZ, Wander Luis de Melo . Crescimento do e-commerce no Brasil: desenvolvimento, serviços logísticos e o impulso da pandemia de Covid-19. *GeoTextos*, 2022
- FARIA, Bruno de Castro. Localização de delivery lockers para logística urbana em uma cidade brasileira de porte médio: o caso de Divinópolis, Minas Gerais. 2021. Universidade Federal de Itajubá.
- LYU, Z.; PONS, D.; CHEN, J.; ZHANG, Y. Developing a stochastic two-tier architecture for modelling last-mile delivery and implementing in discrete-event simulation. *Systems*, MDPI, v. 10, n. 6, p. 214, 2022
- NOGUEIRA, Geísa Pereira Marcilio et al. The environmental impact of fast delivery B2C e-commerce in outbound logistics operations: A simulation approach. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, v. 5, p. 100070, 2022.
- REIFFER, Anna; KUBLER, Jelle, BRIEM, Lars; MARTIN, Kagerbauer; VORTISCH, Peter. Integrating urban last-mile package deliveries into an agent-based travel demand model. *Procedia Computer Science*, v. 184, p. 178-185, 2021.
- SIMONI, Michele D.; MARCUCCI, Edoardo; GATTA, Valerio; CLAUDEL, Christian G. Potential last-mile impacts of crowdshipping services: A simulation-based evaluation. *Transportation*, v. 47, p. 1933-1954, 2020.



SAWIK, Bartosz; SERRANO-HERNANDEZ, Adrian; MURO, Alvaro; FAULIN, Javier. Multi-Criteria Simulation-Optimization Analysis of Usage of Automated Parcel Lockers: A Practical Approach. *Mathematics*, v. 10, n. 23, p. 4423, 2023.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) ou Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).