UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MODELAGEM E SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES APLICADA AO TRANSPORTE URBANO DE CARGAS DO COMÉRCIO ELETRÔNICO-*B2C*

Roberta Alves

Outubro de 2019
Itajubá

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Roberta Alves

MODELAGEM E SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES APLICADA AO TRANSPORTE URBANO DE CARGAS DO COMÉRCIO ELETRÔNICO-*B2C*

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Renato da Silva Lima, Dr.
Coorientadora: Prof. Leise Keli de Oliveira, Dra.

Outubro de 2019
Itajubá

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Roberta Alves

MODELAGEM E SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES APLICADA AO TRANSPORTE URBANO DE CARGAS DO COMÉRCIO ELETRÔNICO-*B2C*

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências em Engenharia de Produção.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Wilfredo F. Yushimito
Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha
Prof. Dr. Alexandre Ferreira de Pinho
Prof. Dr. José Henrique de Freitas Gomes

Orientador: Prof. Renato da Silva Lima, Dr.
Coorientadora: Prof. Leise Keli de Oliveira, Dra.

Itajubá
2019

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Maria e Sebastião, pelo incentivo desde o início. Ao Diego, companheiro durante o desenvolvimento do trabalho. A Dafnny, que me alegra por existir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me dar forças, guiar minhas escolhas, possibilitar todas as minhas conquistas e colocar as melhores pessoas no meu caminho.

Ao Diego, pelo amor e companheirismo. Por ser meu porto seguro me apoiando desde o início. Agradeço por me incentivar, torcer por mim, me apoiar nos momentos de insegurança e participar de todas as etapas dessa fase. Obrigada por estar sempre ao meu lado e acreditar que eu posso ser sempre uma pessoa melhor.

Agradeço meus pais, Maria e Sebastião, pelo amor incondicional, por todo carinho e cuidado, por sempre me apoiarem e clarearem meus pensamentos. Mãe, obrigada por sempre ter uma palavra de conforto e incentivo, por me acompanhar e me visitar quando a saudade apertava. Pai, obrigada pelo amor, pelas orações e por sempre acreditar em mim. Sem vocês, não teria conseguido!

Aos meus irmãos e melhores amigos, Roberson e Ronison, minha gratidão por fazem parte da minha vida. A minha cunhada Jhanne, obrigada por todo o carinho e torcida.

À minha sobrinha Dafnny luz da minha vida, que com seu sorriso inunda meus dias com alegria e felicidade. Ao meu sobrinho Davi, que chegou por agora, obrigada por trazer mais amor a minha vida. Às minhas crianças Maria Clara, Bento, Heitor, Gustavinho e Bernardo. Vocês são o motivo pelo qual buscarei sempre ser o melhor exemplo e fazer do mundo um lugar melhor

Ao meu amado e saudoso avô Zé Paulo, por ser o exemplo de ser humano amoroso e dedicado a família... vovô o senhor está fazendo muita falta.

Aos meus tios, primos e primas, enfim, a toda minha família maravilhosa, pelo carinho e torcida. Em especial a Tia Cida e a Leninha, por todo o bem querer. Agradeço à Virginia e Luiz, minha segunda família, por se fazerem presentes sempre na minha vida e pelo apoio e amor. A família Faria por toda alegria! A todos, agradeço por compreenderem os momentos de ausência e não duvidarem do meu imenso amor por vocês.

Às minhas amigas, Silmara, Gleici e Mirna obrigada por sempre se fazerem presentes apesar de toda a distância e minha ausência. À Thaisa pelas conversas, carinho e incentivo.

Ao meu orientador Renato da Silva Lima, primeiramente por acreditar no meu trabalho, pela disponibilidade, paciência, amizade, por nortear meu caminho e me apoiar durante todos esses anos. A minha coorientadora Leise Keli de Oliveira, obrigada pelo carinho, disponibilidade e pelo conhecimento compartilhado.

Ao Geraldo, meu amigo Passarinho, pela amizade, pelo apoio com a mudança, e por ouvir com carinho as minhas lamentações

Agradeço a parceria e confiança dos professores do curso de Engenharia de Produção da UFSJ. Ao Flávio, Guilherme, Leandro, Robson Wilson e Allexandre por acreditarem no meu trabalho e não medirem esforços para que eu pudesse concluir à tese. À minha querida amiga Kívia, por passar por tudo junto comigo, obrigada pelas nossas conversas, pela amizade e carinho. Aos demais professores do DEMEC, agradeço o respeito e convívio diário. À Simone, Gabriela, e Nice por toda ajuda e pelas risadas, mesmo nos dias difíceis de trabalho.

A todos os colegas do Logtrans, Liliane, Flávia, Julia, Harlenn, Andriane, Rafael, Kaique, Alexandre, Andreza e Keli. Meu muito obrigada a todos por compartilharem comigo as dúvidas, incertezas, conquistas e por serem a minha família em Itajubá. Ao David pela amizade e apoio durante as etapas da pesquisa.

A todos os professores e funcionários do Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao professor Alexandre de Ferreira Pinho pelas contribuições valiosas.

Agradeço a UNIFEI, UFSJ, CAPES, CNPQ e FAPEMIG pelo apoio financeiro e estrutural, imprescindíveis à concretização desta pesquisa. Aos todos os professores que passaram pelo meu caminho, pela generosidade e por serem fonte de inspiração.

E todos que participaram direta e indiretamente da minha vida, meu muito obrigado.

RESUMO

O Brasil é o país da América Latina líder em vendas do *e-commerce*. A maior parte das entregas acontecem à domicílio, de forma assistida (entrega a uma pessoa). Esse modelo de entrega resulta em um grande número de entregas não realizadas e tentativas de reentrega, podendo chegar até três tentativas de entrega para um mesmo pacote. Neste sentido, os *Delivery Lockers (*armários de entrega - DL) representam uma opção para entrega e consolidação das mercadorias. O objetivo deste estudo é avaliar a implantação dos *Delivery Lockers* como solução da última milha, considerando o comportamento e a interação entre os stakeholders do comércio eletrônico, por meio da Modelagem e Simulação Baseada em Agentes (MSBA). O modelo foi construído considerando os quatro principais *stakeholders* (clientes, loja do *e-commerce*, transportadora e DLs) envolvidos no processo de entregas. Também se utilizou a técnica de Projeto de Experimentos (*Design of Experiment* - DOE) para auxiliar a análise das variáveis. A ideia central foi apresentar um MSBA que possa ser utilizado como apoio á tomada de decisão. Foram simulados 84 cenários que consideram diferentes demandas diárias, variações nos parâmetros de entrada, implantação ou não dos DL e a exclusão ou não da política das três tentativas de entrega. Os cenários elaborados contam com o Grupo de Cenários Base, que se assemelham com a situação real, onde não existe o uso dos *Delivery Lockers* e existe as três tentativas de entrega e mais três Grupos de Cenários. O Grupo de Cenários Base apresentaram piores resultados. Os cenários que simulam uma maior demanda diária, embora forneçam maiores custos totais, apresentam até o menor custo por pedido, sendo até 56,7% menor que aqueles que simulam uma demanda diária menor. O MSBA mostrou que, os DLs representam uma solução melhor que os centro de distribuição para receber as entregas falhas, reduzindo as distâncias percorridas pelos clientes em até 60%.Comparando os cenários, constatou-se que a implantação dos DLs e a exclusão das três tentativas, simuladas pelo Grupo de Cenários 4, podem aumentar o número de pedidos entregues em 16,7 %, reduzir a distância percorrida pelos caminhões em até 28,1%, apresentar um aumento em até 79,1% no lucro líquido, além de incluir o ganho de hospedagem de pedidos, quando comparados com o Grupo de Cenários base. Essa configuração a que representa o sistema de entrega mais atraente para todos os envolvidos. A Modelagem e Simulação Baseada em Agentes (MSBA) se mostrou uma ferramenta útil para modelar o transporte urbano de mercadorias *do e-commerce*, sendo capaz de simular corretamente as interações entre os agentes e as ações tomadas por eles diante de diferentes situações. Além disso, esta técnica permitiu modelar e avaliar diferentes estratégias de entrega e obter resultados comparáveis para cada agente.

Palavras chaves: Modelagem e Simulação Baseada em Agente; entregas de comércio eletrônico; armários de entrega; entregas com falha; transporte urbano de mercadorias.

ABSTRACT

Brazil is the country leader of Latin American in e-commerce sales. Most deliveries take place at home, in the attended forms (delivery to one person). This delivery model results in a large number of missed deliveries and redelivery attempts, reaching up to three delivery attempts for the same package. In this way, Delivery Lockers (DL) represents an option for delivery and consolidation of goods. The objective of this study is to evaluate the implementation of Delivery Lockers solution to the last mile, considering the behavior and interaction between e-commerce stakeholders, by using agent based simulation model (ABSM). The model was built considering the four main stakeholders (customers, e-commerce store, carrier and DLs) involved in the delivery process. The technique Design of Experiment (DOE) was also used to assist in the analysis of variables. The central idea was to present an ABSM that can be used to support decision making. It was simulated 84 scenarios that consider different daily demands, variations in the input parameters, implantation or not of DLs and the exclusion or not of the policy of three delivery attempts. The scenarios elaborated rely on the Base Scenario Group, which resembles the real situation, where there is no use of Delivery Lockers and there are three delivery attempts and three more Scenario Groups. The Base Scenario Group had worse results. Scenarios that simulate higher daily demand, while providing higher total costs, have even the lowest cost per order, being up to 56,7% lower than those that simulate lower daily demand. The ABSM showed that the DLs represent a better solution than the distribution center to receive deliveries failures, reducing the distances traveled by customers up to 60%. Comparing the scenarios, it was found that the implementation of the DLs and the exclusion of the three attempts, simulated by the Scenario Group 4, increase the number of orders delivered by 16, 7%, reduce the distance traveled by trucks by up to 28,1%, increase net revenue by up to 79,1%, and include gain in order hosting when compared to the base Scenario Group. This configuration is the most attractive delivery system for everyone involved. The ABSM has proved a useful tool to model the urban transport of e-commerce goods, being able to correctly simulate the interactions between the agents and the actions taken by them in different situations. In addition, these techniques allowed to model and evaluate different delivery strategies and obtain comparable results for each agent.

Keywords: Agent-Based Simulation Models; *e-commerce* deliveries; delivery lockers; failed deliveries; urban freight transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Área de contribuição técnico-científica do estudo..... 17
Figura 1.2 -Estrutura da Tese 19
Figura 2.1 -Três pilares do City Logistics. 23
Figura 2.2 -Objetivos e interações genéricos dos Stakeholders do TUC. 25
Figura 2.3 -Classificação das Iniciativas de City Logistics..... 28
Figura 2.4 -Representação do modelo multi-agente 50
Figura 2.5- Artigos Publicados por Ano 55
Figura 2.6 - Medidas de *City Logistics* que são temas centrais dos estudos. 57
Figura 3.1 -Classificação da pesquisa 63
Figura 3.2 -Etapas do processo de modelagem e simulação. 64
Figura 3.3 - Diagrama de estado Agente Cliente. 66
Figura 3.4 - Diagrama de estado do Agente Loja. 67
Figura 3.5 -Diagrama de estado do Agente Caminhão 69
Figura 3.6 -Interações entre os agentes do modelo proposto. 69
Figura 3.7 -Objetivo e comportamento dos Agentes 70
Figura 3.8 -Ambiente de simulação 71
Figura 4.1 - Região Simulada 82
Figura 4.2 -Dinâmica de entregas do Cenário 1. 90
Figura 4.3- Dinâmica de entregas do Cenário 2 91
Figura 4.4 -Dinâmica de entregas do Cenário 3 92
Figura 4.5 - Dinâmica de entregas do Cenário 4. 93
Figura 4.6 - Grupo de Cenários 94
Figura 4.7 - Lógica de concepção dos cenários 95
Figura 4.8 - Gráfico dos custos totais 103
Figura 4.9 - Gráfico dos Lucros Líquidos 104
Figura 4.10- Cenários com Melhores resultados em termos de Custo Total e Lucro Líquido 107
Figura 4.11 - Comparação dos Custos para os Cenários com 80 Pedidos/dia e Diferentes Tempos de Parada 110

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Classificação dos modelos de simulação. 46
Tabela 2.2 - Características que definem os tipos de modelo. 48
Tabela 2.3 -Definições para SBA baseada na propriedade dos agentes. 49
Tabela 2.4 - Resumo dos trabalhos de simulação baseada em agentes revisados 52
Tabela 2.5 -Análise bibliométrica: número de trabalhos publicados 54
Tabela 2.6- Categorização dos objetivos 56
Tabela 2.7 - Principais Softwares Utilizados 58
Tabela 2.8 - Aplicação da Simulação em Logística Urbana. 59
Tabela 2.9 - Tipo da Simulação 60
Tabela 3.1- Elementos utilizados na simulação baseada em agentes 72
Tabela 3.2 - Parâmetros de entrada do modelo computacional 73
Tabela 3.3 - Análise do Número de Replicações 76
Tabela 3.4 - Parâmetros utilizados para o cálculo do lucro líquido 80
Tabela 4.1 - Parâmetros utilizados para a composição do DOE 85
Tabela 4.2 - Análise de Variância (ANOVA) das variáveis de saída 87
Tabela 4.3 - Análise de Variância (ANOVA) dos Custos 87
Tabela 4.4 - Cenários Simulados 95
Tabela 4.5 - Número de caminhões utilizados na simulação 96
Tabela 4.6 - Resultados da Simulação em relação ao número de pedidos 97
Tabela 4.7 - Resultados da Simulação para o Grupo de Cenários 2 e Grupo de Cenários Base 99
Tabela 4.8 - Resultados da Simulação para o Grupo de Cenários 3 100
Tabela 4.9 - Resultado da Simulação para o Grupo de Cenários 4 100
Tabela 4.10 - Custos em milhares de reais para os Grupos A, B, C, D 104
Tabela 4.11 -Custos em milhares de reais para os Grupos E, F, G, H 105
Tabela 4.12- Custos em milhares de reais para os Grupos I, J, K, L 105
Tabela 4.13 - Relação percentual dos cenários com diferentes Tempos de Parada 108
Tabela 4.14 - Comparação dos custos por pedido em reais das diferentes densidades simuladas 110

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCOMM	Associação Brasileira do Comércio Eletrônico
ABSM	*Agent-Based Simulation Models*
AD	Assistidas à Domicílio
B2B	*Business-to-Business*
B2C	*Bussiness-to-Costumer*
CD	Centro de Distribuição
CDPs	*Collection and Delivery Points*
CP	*Collection Point*
CCU	Centro de Consolidação Urbana
DL	*Delivery Lockers*
DSS	*Decision Support System*
GIS	*Geographic Information Systems*
ITS	*Intelligent Transportation Systems*
LEZ	*Low Emission Zone*
LTZ	*Large Traffic Generators*
MAS	*Multi-Agent System*
MBA	Modelo Baseado em Agentes
MSBA	Modelagem e Simulação Baseada em Agentes
OHD	*Off-hour Deliveries*
SBA	Simulação Baseada em Agentes
TUC	Transporte Urbano de Cargas
UCC	*Urban Consolidation Centre*
UDCs	*Urban Distribution Centers*
VKT	*Vehicle-Kilometers Traveled*
VUC	Veículos Urbanos de Carga

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 Objetivo geral e específicos 15
1.2 Contribuição científica 16
1.3 Justificativa 17
1.4 Estrutura da Tese 18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 20
2.1 Medidas de *City Logistics* 26
2.2 Transporte urbano de cargas do *e-commerce* 36
2.3 Medidas de *City Logistics* para *e-commerce* 40
2.4 Modelagem e Simulação 45
2.5 Simulação Baseada em Agentes 47
2.6 Projeto de experimentos 53
2.7 Análise Bibliométrica 54
3 MÉTODO DE PESQUISA 62
3.1 Classificação da pesquisa 62
3.2 Etapas para a Modelagem e Simulação 63
3.3 Concepção 64
3.3.1 Objetivos e definição do sistema 64
3.3.2 Construção e documentação do modelo conceitual 65
3.3.3 Modelagem dos Agentes 65
3.3.4 Validação do modelo conceitual 70
3.3.5 Construção do Modelo de Simulação 71
3.3.6 Verificação e Validação do Modelo de Simulação 73
3.3.7 Análise de custos 77
4 SIMULAÇÃO 81
4.1 Análise de sensibilidade 85
4.2 Elaboração dos Cenários Comparativos 89
4.3 Resultados 96
4.3.1 Resultados dos Custos 102
4.3.2 Comparação dos Resultados das diferentes densidades de pedido 110
4.4 Discussões 112
5 CONCLUSÕES 116
5.1 Limitações e sugestões para trabalhos futuros 119
APÊNDICE A 121
APÊNDICE B 126
REFERÊNCIAS 128

1 INTRODUÇÃO

A tendência de crescimento do comércio eletrônico é mundial, segundo o portal eMARKETER (2019), o *e-commerce* apresentou uma média de crescimento de 24% no mundo em 2018, atingindo uma marca de 2,9 trilhões de dólares em vendas. As vendas online apresentam crescimento maior que o varejo tradicional em praticamente todos os países que já operam o comércio eletrônico (EBIT, 2019).

Na América Latina, o crescimento foi de 17,9% com relação ao mesmo período de 2017. O Brasil é o mercado mais desenvolvido em termos de *e-commerce* na América Latina. O *e-commerce* brasileiro cresceu 12% e faturou R$ 53,2 bilhões em 2018 em comparação com o ano de 2017 (EBIT, 2019). Entre os fatores que explicam o forte crescimento do setor, destacam-se: o aumento do número de domicílios com computadores; a difusão do acesso por banda larga e uso de dispositivos móveis; o amadurecimento e consolidação da estrutura do varejo online; a maior segurança nas operações de pagamento; e a maior confiabilidade na entrega (OLIVEIRA *et al*., 2017a).

Quanto maior o crescimento das compras *online*, maior é a demanda por entregas individuais, implicando em um número maior de veículos de carga circulando em áreas urbanas (CARDENAS *et al.*, 2017; GEVAERS, VAN DE VOORDE e VANELSLANDER, 2014). Sendo assim, maiores são os desafios enfrentados na distribuição de mercadorias, com efeito direto nos sistemas logísticos em áreas urbanas, onde o congestionamento e a acessibilidade são fatores cruciais (HOLGUÍN-VERAS, SÁNCHEZ-DÍAZ e BROWNE, 2016; KEDIA, KUSUMASTUTI e NICHOLSON, 2017; VISSER, NEMOTO e BROWNE, 2014).

No caso do comércio eletrônico-B2C (*bussiness-to-costumer),* as entregas Assistidas à Domicílio (AD) são geralmente preferidas pelo consumidor. Este tipo de entrega constitui a solução mais problemática em termos de custos de serviços e programação (MORGANTI, DABLANC e FORTIN, 2014). Nesta modalidade, os entregadores realizam várias paradas ao longo de uma viagem e dependem da presença de uma pessoa no local para realizar a entrega. A ausência dessa pessoa resulta em falha na entrega (SONG *et al*., 2009; VAN DUIN *et al*., 2016). De acordo com Song *et al.* (2009), 25% das entregas não são realizadas na primeira tentativa.

Assim como na maioria das cidades latino-americanas, no Brasil, as entregas do comércio eletrônico são todas assistidas, ou seja, necessitam de uma pessoa no endereço indicado (geralmente casa ou trabalho) para receber as mercadorias (EBIT, 2019;

MAERE; UNIVERSITEIT; MAERE, 2017). Em grande parte dos países europeus e nos EUA, quando não há alguém no endereço para receber as mercadorias, estas são deixadas sem supervisão na calçada (*on-street))* (MORGANTI *et al.,* 2014). Segundo Oliveira *et al*. (2017), entregas sem supervisão *on-street* não são ainda viáveis no Brasil, pois representam "uma tentação para ladrões". Esta situação, aliada a dificuldade de estipular janelas de entregas para os clientes, contribui para aumentar as entregas falhas (VISSER, NEMOTO e BROWNE, 2014).

As entregas AD apresentam desvantagens para o consumidor que necessita de flexibilidade e para o entregador que busca otimizar a sua distribuição de mercadorias. Medidas de *City Logistics* que ofereçam uma alternativa à esse tipo de entrega e minimizem os inconvenientes causados por ela têm sido objeto de estudo de várias pesquisas (FELIU, AMBROSINI e ROUTHIER, 2012; IWAN, KIJEWSKA e LEMKE, 2016; LIU, WANG e SUSILO, 2017; WANG *et al*., 2014; WELTEVREDEN e ROTEM-MINDALI, 2009). Estes autores sugerem a consolidação das entregas da última milha como uma solução para este problema. Neste contexto, encontram-se os armários de entrega (*Delivey Lockers - DL*), que já foram implementados em vários países (IWAN; KIJEWSKA; LEMKE, 2016; MORGANTI; DABLANC; FORTIN, 2014; WELTEVREDEN, 2008). Os DL são armários automatizados que os consumidores podem utilizar para retirar e/ou retornar as compras online.

De acordo com Weltevreden (2008), com o uso dos DLs, os entregadores podem alcançar economia de tempo e combustível, tanto para primeiras entregas quanto para entregas falhas, pois não seria necessário retornar ao endereço do consumidor para uma segunda ou terceira tentativa de entrega. Neste cenário, os DLs se mostram como uma solução atraente para o contexto brasileiro, pois apresentam segurança e reduzem as falhas das entregas (OLIVEIRA *et al*., 2017a). Contudo, Taniguchi *et al.* (2012) afirmam que antes de implementar qualquer medida ou política pública no contexto urbano, é preciso entender o comportamento (ações e objetivos) dos *stakeholders* envolvidos na logística urbana e a interação entre eles.

A Modelagem e Simulação Baseados em Agentes (MSBA) permite captar a dinâmica do sistema em situações onde outros tipos de simulação não conseguem lidar de forma adequada com os agentes e variáveis associadas a eles (OLIVEIRA, LIMA e MONTEVECHI, 2016). Isso se deve ao fato de a MSBA utilizar os objetivos e comportamentos individuais dos agentes em sua construção (ELBERT e FRIEDRICH, 2018; FIRDAUSIYAH, TANIGUCHI e QURESHI, 2019). Alguns estudos tem obtido

tal feito ao utilizar este tipo de simulação em logística urbana (ALHO *et al*., 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017b; SCHROEDER *et al*., 2012; TEO, TANIGUCHI e QURESHI, 2012; WANGAPISIT, TANIGUCHI e QURESHI, 2013). Em MSBA, os *stakeholders* envolvidos na logística urbana são modelados como agentes capazes de tomar decisões e interagir entre si e com o meio, ao se deparar com uma situação predeterminada (TANIGUCHI, THOMPSON e YAMADA, 2016). No entanto, a maior parte dos trabalhos de MSBA lida com medidas que buscam de alguma forma restringir a circulação de veículos ou avaliar algum caso específico, sem analisar os impactos da aplicação dos *Delivery Lockers* no ambiente urbano por meio de MSBA.

Oliveira *et al*. (2017b) analisaram a aceitação dos *Delivery Lockers* pelos clientes do comércio eletrônico da cidade de Belo Horizonte, Brasil. Os dados foram obtidos através de uma web-survey e 43% dos entrevistados responderam que utilizariam os armários para receber suas encomendas e apresentam como principal motivador para o uso desses sistemas a janela de tempo, pois normalmente os *lockers* funcionam 24 horas. Embora evidenciado que existe uma demanda potencial para o uso dos DL em Belo Horizonte, não se sabe as implicações que a implantação deste sistema pode trazer para cada *stakeholder* pois, embora instalados com sucesso em várias cidades, as políticas públicas locais podem influenciar o sucesso deste sistema.

Para tanto, este estudo tem como objetivo avaliar, por meio da Modelagem e Simulação Baseada em Agentes, a implantação do *Delivery Lockers.* As simulações foram realizadas para a região central de Belo Horizonte, MG, Brasil, a partir de cenários que procuram alternar o uso dos *lockers* e as tentativas de entrega. O MSBA construído foi fundamentado nos objetivos e comportamentos individuais dos *stakeholders* do transporte urbano, modelados como agentes.

1.1 Objetivo geral e específicos

Objetivo desta tese é avaliar a implantação dos *Delivery Lockers* como solução da última milha, considerando o comportamento e a interação entre os *stakeholders* do comércio eletrônico, por meio da Modelagem e Simulação Baseada em Agentes.

Como objetivos especificos têm-se:

- Mapear o sistema de entregas de mercadorias urbanas do comércio eletrônico e suas particularidades por meio de entrevistas com os *Stakeholders*;

- Medir o grau de relevância dos parâmetros de entrada do modelo e seus impactos no sistema por meio do uso da técnica de Projeto de Experimentos (DoE);
- Implementar cenários considerando as políticas públicas locais e o uso dos *Delivery Lockers*;
- Realizar análises dos custos operacionais, custos externos e ganhos obtidos em cada cenário.
- Disponibilizar uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para o poder público e empresas privadas interessadas no transporte de mercadorias do *e-commerce*.

1.2 Contribuição científica

Este estudo contribui cientificamente em três frentes de atuação. A primeira foi realizar uma discussão teórica acerca do estado da arte dos três temas aqui abordados: logística urbana, transporte urbano de cargas do *e-commerce* e modelagem e simulação baseada em agentes. Ao longo dessa discussão, algumas lacunas teóricas poderão ser evidenciadas. Partindo-se dessas lacunas, medidas que melhorem o sistema de entregas urbanas do *e-commerce* serão investigadas.

Na segunda frente de atuação, está a construção de um modelo de Simulação Baseado em Agentes que avalie a implantação de diferentes medidas e considerando as políticas públicas locais. Houve a preocupação ao construir o modelo em representar os interesses e capacidade de tomada de decisão dos *stakeholders* do transporte urbano de cargas do *e-commerce*. Na terceira e última frente de atuação, foi apresentada uma aplicação do modelo para uma situação real brasileira, contudo, preocupou-se em desenvolver um modelo que possa ser parametrizado e adaptado para diferentes localidades. A Figura 1.1 apresenta a área na qual a presente tese pretende contribuir técnica e cientificamente.

Figura 1.1- Área de contribuição técnico-científica do estudo

.

1.3 Justificativa

Dentro do contexto apresentado, é possível observar a relevância de se estudar o transporte urbano de mercadorias do *e-commerce*. Por se tratar de um setor que está em constante crescimento, e com uma porcentagem grande de entregas à domicílio, que afetam a mobilidade urbana. Pelos motivos citados é crescente o interesse empresarial e acadêmico por assuntos relacionados as entregas do *e-commerce*. Estudos relacionados com a distribuição urbana e mercadorias do *e-commerce* são importantes, pois conforme alertado por Maere (2017), é um processo composto por vários fatores que tornam as entregas menos eficientes dentre eles tem-se: a alta taxa de falha nas entregas.

Taniguchi *et al.* (2012) atentam sobre o fato de o transporte urbano de cargas ser um sistema complexo, e com uma diversidade de *stakeholders*, com funções e interesses conflitantes. Esta pesquisa, busca expor e estudar esses interesses e apresentar uma alternativa para as entregas que traga ganhos para todas as partes. São poucos os trabalhos na literatura que simulam o transporte urbano de cargas do *e-commerce* e os encontrados se preocupam com a estimação de fretes, roteirização e cálculos de impactos e não em investigar a implantação de uma medida e seus potenciais ganhos para cada *stakeholder* (ARNOLD *et al.*, 2018; CAGLIANO *et al.*, 2014; CLEOPHAS e EHMKE, 2014; DURAND, MAHJOUB e SENKEL, 2013; KIOUSIS, NATHANAIL e KARAKIKES, 2019; MASTEGUIM, CUNHA e PONCE, 2018; WANG *et al.*, 2014; XIAO, JINGJING e TANG, 2013; ZISSIS, AKTAS e BOURLAKIS, 2018). Estes trabalhos utilizam de ferramentas e métodos que fornecem uma decisão pontual, ou seja, programada, e estática, não representando o que acontece na realidade, que são decisões

sendo tomadas a cada instante. Essas limitações encontradas na literatura conduziram a escolha da ferramenta utilizada neste estudo: a modelagem e simulação baseada em agentes, pois permite representar os *stakeholders* como agentes que tomam decisões a todo o momento, representando melhor o que acontece na realidade de um sistema complexo como é o caso do estudado, e ainda analisar a implantação de várias medidas.

A motivação da escolha do objeto de estudo – implantação dos *Delivery Lockers* - foi o fato de ser apresentada na literatura como uma solução para as falhas nas entregas domiciliares e que promovem a consolidação das entregas (IWAN, KIJEWSKA e LEMKE, 2016; MORGANTI, DABLANC e FORTIN, 2014; WELTEVREDEN, 2008), entretanto não se sabe quais implicações a implantação deste sistema pode trazer para cada *stakeholder* pois, embora instalados com sucesso em várias cidades, as políticas públicas locais podem influenciar o sucesso deste sistema.

Dessa forma, esse trabalho busca representar os *stakeholders* como agentes em um Modelo de Simulação Baseado em Agentes considerando seus interesses e objetivos e que expresse a capacidade de tomar decisões a qualquer momento. O presente estudo pretende contribuir nessa lacuna da literatura para a área da logística urbana que trata com transporte de mercadorias do *e-commerce*, explorando uma ferramenta pouco utilizada na área mais em grande acessão a MSBA.

1.4 Estrutura da Tese

Além deste capítulo introdutório, a este estudo ainda contém outros 5 capítulos.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica que suporta a pesquisa realizada. Também é apresentada uma análise bibliométrica sobre os principais temas, com a finalidade de subsidiar a contribuição científica e prática do trabalho desenvolvido.

No capítulo 3 encontra-se classificação da pesquisa bem como o método de pesquisa e a modelagem. O capítulo 4 analisa as respostas obtidas pela modelagem e simulação inicial.

O capítulo 5 traz as conclusões e as principais limitações da aplicação da MSBA para o transporte urbano de cargas do *e-commerce*, e sugestões para trabalhos futuros. A estrutura está representada na Figura 1.2.

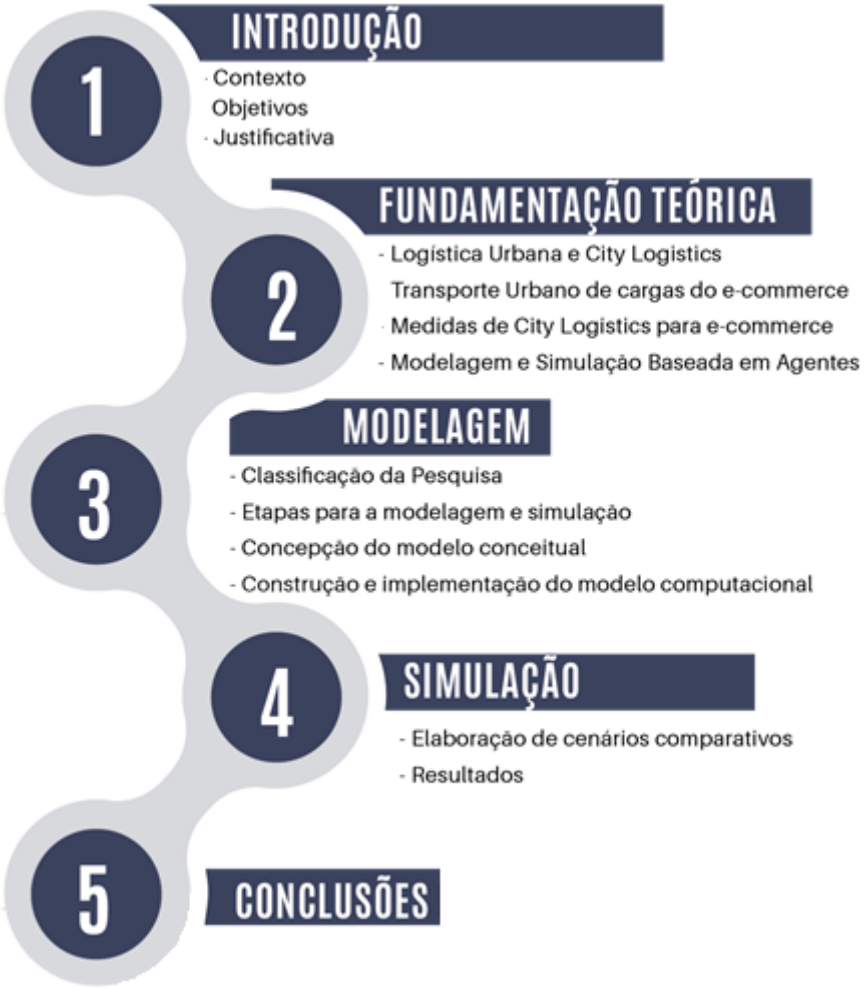


Figura 1.2 -Estrutura da Tese

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo traz o estado da arte que suporta a tese. Os temas principais foram pesquisados e são apresentados de forma a contextualizar o objeto de estudo e ferramenta utilizada. Foram utilizados artigos científicos disponibilizados nos principais bancos de dados de pesquisas acadêmicas, dissertações, teses e trabalhos apresentados em congressos. Devido à natureza do tema também foram pesquisados relatórios referentes ao *e-commerce*, legislações e políticas públicas que impactam diretamente na distribuição de mercadorias do comércio eletrônico. Logística Urbana

Nos últimos anos, as cidades brasileiras têm apresentado problemas clássicos de mobilidade urbana, tanto na circulação de pessoas, quanto no deslocamento de mercadorias e serviços. Esses problemas são acarretados pelo elevado grau de urbanização das cidades e, também, pela ausência de políticas efetivas ao desenvolvimento urbano, que possam integrar diferentes modos de transporte com vistas a melhorar a acessibilidade e mobilidade (ALVES et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2018). Atualmente, 54% da população mundial vive em áreas urbanas e, espera-se que esse valor chegue a 60% até 2030 (NATIONS, 2018). No Brasil, 85% da população vive em áreas urbanas, com estimativa de subida para 91,1% até 2030 (IBGE, 2015). Este crescimento da população urbana resulta num aumento significativo dos níveis de demanda de transporte das mercadorias, uma vez que estes precisam satisfazer tanto as costumeiras necessidades, quanto as novas formas de consumo da população (COMI e NUZZOLO, 2016; GHAJARGAR, ZENEZINI e MONTANARO, 2016).

O transporte de mercadorias constitui-se em atividade extremamente importante nas áreas urbanas. Às pessoas, ele garante abastecimento nas lojas, bem como entrega das mercadorias nas casas. Às empresas estabelecidas dentro dos limites da cidade, o transporte de mercadorias forma um elo vital com fornecedores e com os clientes. São poucas as atividades que ocorrem dentro das cidades que não irão precisar, em algum momento, desses serviços. Além disso, o setor de Transporte Urbano de Carga (TUC) é uma importante fonte de emprego (CRAINIC, RICCIARDI e STORCHI, 2004).

Embora o TUC não apresente participação expressiva no fluxo dos veículos nos centros urbanos, que varia em torno de 10% a 30%, segundo Dablanc (2007), os veículos de cargas são os principais responsáveis por problemas relacionados com a vida urbana (TANIGUCHI *et al*., 2001). Ao considerar o momento atual, em que as práticas de produção estão baseadas em baixos níveis de estoque e o processo de distribuição das

mercadorias está sujeito às entregas programadas, com a inserção cada vez maior das compras online *bussiness-to-costumer* (B2C), observa-se, por consequência, uma maior frequência das entregas relativas aos produtos menores (EBIT, 2019). Desta forma, o que representava, até então, um quarto do tráfego das cidades em 2007 (DABLANC, 2007), só tende a crescer e, a gerar maiores problemas para os principais interessados no transporte (BENJELLOUN e CRAINIC, 2009).

Para realizar entregas, os veículos de carga utilizam as mesmas vias que os carros e ônibus usam para se locomover e, dessa forma, competem pelos espaços de estacionamento. Os veículos de carga contribuem de forma significativa para o congestionamento das vias, além de causar danos ambientais, tais como emissões de gases e ruídos sonoros (BENJELLOUN e CRAINIC, 2009). Tais problemas impactam na qualidade de vida das pessoas que habitam e/ou trabalham nas cidades, também exercem influência sobre a produtividade das empresas localizadas nas áreas urbanas e, interferem nas cadeias de abastecimentos associadas (TANIGUCHI *et al*., 2001).

Mesmo sendo de grande importância, a movimentação de mercadorias, sobre as áreas urbanas, raramente é prevista nos conteúdos que integram os planos de mobilidade. Estes planos, no mais das vezes, tendem a ser pensados e desenvolvidos tendo-se em vista o transporte de passageiros e serviços públicos municipais. Deixa-se de lado esse elemento que, há décadas, integra a lista de problemas presentes nos municípios brasileiros, e que exige atenção: o transporte de carga urbana (ALVES *et al*., 2017; CRAINIC, RICCIARDI e STORCHI, 2004; OLIVEIRA *et al*., 2018a). Entretanto, no final da década de 1990, autoridades de todo o mundo passaram a reconhecer a necessidade de controlar e, de entender, os movimentos dos veículos de carga em áreas urbanas. Desde então, vem sendo desenvolvido o conceito de *City Logistics*, com o intuito de produzir e fornecer soluções sistêmicas e eficazes para os problemas do transporte urbano de mercadorias (BENJELLOUN e CRAINIC, 2009; TANIGUCHI *et al*., 2001).

O C*ity Logistics* evidencia-se como instrumento fundamental à otimização das atividades atreladas à distribuição de mercadorias em centros urbanos, realizadas por entidades públicas ou privadas, que considera fatores como o tráfego, congestionamento e, o consumo de energia (TANIGUCHI *et al*., 2001). Esse conceito baseia-se na compreensão dos problemas que incluem os custos de distribuição, visto sob a ótica privada, e os custos sociais e ambientais, observados por entidades públicas (DUTRA, 2004). Os projetos de *City Logistics* envolvem, normalmente, o estabelecimento de

parcerias entre setores públicos e privados. Conforme Benjelloun e Crainic (2009), são objetivos do *City Logistics*:

- Reduzir o congestionamento e aumentar a mobilidade;
- Reduzir a poluição e o ruído;
- Contribuir para alcançar as Metas de Quioto[1];
- Melhorar as condições de vida dos habitantes das cidades;
- Evitar penalizar indevidamente as atividades comerciais do centro da cidade.

Benjelloun e Crainic (2009) afirmam que o *City Logistics* lida com aspectos que vão além dos tratados e considerados pela logística urbana tradicional. Trata-se, pois, de uma metodologia integrada para a distribuição urbana de cargas, porque promove métodos inovadores que reduzem o custo econômico, social e, ambiental, dessas operações. O conceito é indicado pela Comissão Europeia[2], como área na qual pode-se esperar ganhos tanto ambientais, como de competitividade, no que diz respeito à movimentação de cargas urbanas.

Taniguchi *et al*. (2001) apresentam uma estrutura para a visão do *City Logistics* baseada em três pilares: sustentabilidade, mobilidade e qualidade de vida e, transversalmente a essas, os valores sociais (Figura 2.1). A sustentabilidade visa minimizar os impactos ambientais (poluição, ruído). A mobilidade reporta-se aos requerimentos básicos para o transporte de mercadorias (segurança e capacidade das vias). Já a qualidade de vida visa o tráfego seguro e um melhor ambiente à comunidade.

[1]Metas de redução de emissões para os países desenvolvidos e os que, à época, apresentavam economia em transição para o capitalismo, apresentadas no Protocolo de Kyoto criado em 1997.

[2] É o órgão executivo da União Europeia (UE), politicamente independente. É responsável pela elaboração de propostas de novos atos legislativos europeus e pela execução das decisões do Parlamento Europeu e do Conselho da UE.

Figura 2.1 -Três pilares do City Logistics.
Fonte: (TANIGUCHI e VAN DER HEIJDEN, 2000)

O *City Logistics* compreende o transporte urbano de cargas como um sistema. Essa perspectiva possibilita entender porque o transporte ocorre e, como pode ser melhorado, uma vez que um sistema é, de per si, caracterizado por sua função, pelo seu objetivo, pelos seus componentes e, na forma pela qual esses componentes interagem, ou influenciam, uns aos outros. O TUC tem a função de fornecer mercadorias para varejistas e consumidores nas áreas urbanas com segurança e eficiência. Normalmente, os componentes principais, ou *stakeholders*, do TUC são: carregadores, transportadores, receptores, administradores e, residentes (HOLGUÍN-VERAS *et al*., 2015).

Os carregadores são os atacadistas ou produtores de mercadorias. As transportadoras são os veículos e condutores, responsáveis por receber as cargas dos carregadores e/ou por entrega-las ao consumidor. Os carregadores geralmente buscam fretes baratos e, com alto nível de serviço, ou seja, entregas dentro do prazo estipulado e, sem danos nas mercadorias (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2016). Os transportadores, por sua vez, têm como objetivo minimizar os custos da entrega. Porém, o mercado exige o atendimento em alto nível de serviço e, com baixo custo de operação. Tal exigência, associada a janela de tempo dos clientes e o elevado grau de congestionamentos nas cidades, tornam a tarefa dos transportadores mais difícil (MARCUCCI *et al*., 2017).

Os receptores são os locais onde os transportadores realizam as entregas, quais sejam, as lojas do varejo, por exemplo, supermercados, lojas de roupas, restaurantes e farmácias. Também, integram os receptores, aqueles denominados de residentes, que são os consumidores que realizam compras através da rede mundial de computadores

(internet) e, optam por receber seus produtos ou em suas casas, ou nos locais onde exercem suas profissões. Esses residentes, porque são cidadãos que vivem em zonas urbanas, apresentam críticas ao poder público, especialmente no que se refere a presença dos grandes veículos nas ruas, que causam congestionamentos, acidentes, emissão de poluentes e, ruídos (TANIGUCHI *et al*., 2001).

Os administradores são integrantes do poder público local e/ou regional que, tecnicamente, visam aumentar o desenvolvimento econômico da cidade, assim como o número de oportunidades de empregos aos cidadãos. Além disso, estão encarregados de estabelecer políticas públicas com o objetivo de reduzir os impactos do TUC, incrementar ações que promovam melhorias ambientais e, o aumento da segurança nas cidades. Os administradores devem ser neutros e, desempenhar o importante papel de resolver conflitos que envolvem outros grupos dos agentes da distribuição urbana de mercadorias, quais sejam, receptores, transportadores, carregadores e residentes. Finalmente, os administradores devem coordenar e facilitar a implantação das medidas e iniciativas de *City Logistics.*

Verifica-se que, no que se refere ao desempenho do transporte urbano de mercadorias, este é de responsabilidade tanto do poder público, quanto da esfera privada. Entrementes, existem dois interesses conflitantes entre essas esferas de atuação, ambos dirigidos a meta comum de satisfazer as necessidades dos clientes, mas, a partir de paradigmas diferentes (ALVES, LIMA e OLIVEIRA, 2016). O primeiro interesse conflitante advém das autoridades públicas que desejam reduzir os impactos do transporte, com foco na sustentabilidade social e ambiental, a fim de ter uma cidade atraente para os habitantes e visitantes. O segundo interesse conflitante, pelas empresas privadas, que desejam entregar suas mercadorias com um menor custo e, oferecer transportes de alta qualidade, em curto prazo de entrega, a fim de satisfazer as expectativas dos clientes. Deste lado, os interesses estão voltados principalmente a sustentabilidade econômica, com um enfoque mais estrito, enquanto que do outro, à uma sustentabilidade com vistas à qualidade de vida da população, com um enfoque mais público (HOLGUÍN-VERAS *et al*., 2015; MUÑUZURI *et al.*, 2005).

Lindholm e Behrends (2012) citam que há consciência, por parte das empresas, quanto a distribuição e logística dos crescentes problemas que o transporte de cargas gera às áreas urbanas, tanto no cotidiano, quanto no longo prazo. No entanto, prosseguem, não existe parcerias entre as empresas e o poder público para entender, discutir e, desenvolver ações concretas, com o objetivo comum de resolver os problemas da movimentação

urbana de carga. O poder público local, em geral relaciona o transporte de carga urbana como um problema das empresas e, não como elemento da mobilidade urbana, que por ele, Estado, deva ser planejado e gerido.

Sanches Junior (2008) afirma em seu trabalho, que os administradores públicos reconhecem os problemas inerentes à TUC, sem, contudo, realizar ações para entender as demandas do setor e, definir soluções técnicas adequadas. Allen, Thorne e Browne (2007) também identificaram esse impasse, uma vez que, de um lado, as autoridades locais esperam que as empresas criem serviços logísticos e, do outro lado, as empresas e os operadores de logística, aguardam que os municípios tomem a iniciativa para resolver os problemas envolvendo transporte urbano de carga. As interações e objetivos de cada *stakeholders* do TUC discutidas até aqui são apresentadas na Figura 2.2.

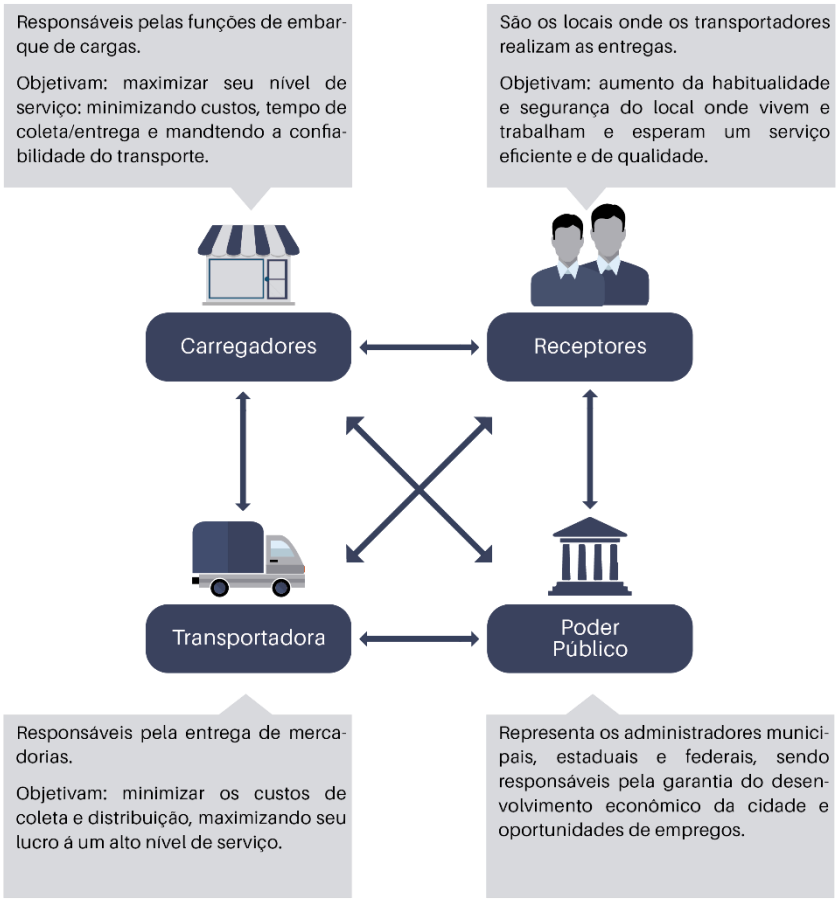


Figura 2.2 -Objetivos e interações genéricos dos Stakeholders do TUC.
Fonte:(BENJELLOUN e CRAINIC, 2009)

Dada a diversidade de aspectos e, dos atores envolvidos no transporte urbano de cargas, o *City Logistics* cumpre a função de incentivar à colaboração entre todos os *stakeholders* e, também, visa melhorar a eficiência da distribuição de carga na área urbana, tendo-se em conta as necessidades dos envolvidos no processo (TANIGUCHI,

THOMPSO e YAMADA, 2014). Também, a realização empírica do conceito supracitado tem potencial para estimular parcerias e colaborações mais complexas, impactando não apenas numa quantidade maior de processos estabelecíveis, como também, na qualidade dos serviços, qualidade da produção, da administração, do transporte e, também, no aumento da satisfação daquele que realiza o consumo, o consumidor final ou cliente.

Na próxima seção, são apresentadas algumas medidas propostas pelo *City Logistics,* com o objetivo de melhorar o TUC e, dessa forma, equilibrar os interesses dos *stakeholders.*

2.1 Medidas de *City Logistics*

Durante a última década, várias medidas de *City Logistics* foram propostas, ou implementadas, com o objetivo de reduzir os impactos negativos da distribuição urbana de mercadorias, quais sejam: os congestionamentos, a falta de mobilidade, a poluição ambiental e sonora, a ocupação dos caminhões, entre outros (LINDHOLM, 2012; SUKSRI e RAICU, 2012). Em geral, os projetos advindos desse conceito englobam uma, ou mais, das seguintes iniciativas: implementação de sistemas avançados de informação e de transporte cooperativos de cargas; implantação de terminais logísticos; promoção de uso compartilhados de veículos de cargas; criação de áreas de acesso controlado; incentivo com subsídios do setor público e; o planejamento do transporte das cargas considerando o uso e a ocupação do solo (FILIPPI *et al.*, 2010; LAWSON *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2018a; QUAK, 2008; QUAK, BALM e POSTHUMUS, 2014; RUSSO eCOMI, 2011; SUKSRI e RAICU, 2012).

Lindholm (2012) e Awasthi e Proth (2006) reforçam que os veículos de carga podem causar efeitos negativos devido a infraestrutura ineficaz, alta quantidade de entregas, falta de estacionamentos apropriados à carga e descarga, tamanho dos veículos, capacidade de manobra, redução de acessibilidade para outros usuários e, a ocorrência de acidentes. Além disso, a complexidade da logística urbana é aumentada pela gestão dinâmica dos estoques, *e-commerce*, evolução da consciência ambiental e, a urbanização crescente (TANIGUCHI, THOMPSON e YAMADA, 2012).

Muñuzuri *et al*. (2005) destacam que as medidas do *City Logistics* são destinadas a resolver problemas específicos e, são escolhidas de acordo com as exigências dos *stakeholders.* Tais medidas podem ter efeito positivo para alguns desses grupos e, negativo para outros. Os autores ressaltam que, uma forma de beneficiar mais

uniformemente todos os *stakeholders*, é através da implementação de políticas estratégicas, que são a combinação de várias soluções específicas. Uma solução específica é uma medida que em geral apresenta ganhos maiores para um dos *stakeholders*, como por exemplo a proibição de circulação de veículos movidos a combustíveis fósseis apresenta um ganho maior para a população que terá um ambiente urbano mais limpo, no entanto traz custos altos de investimento para as transportadoras, uma saída para esse impasse seria fornecer subsídios para a renovação das frotas de veículos ou incentivos em forma de descontos em impostos por exemplo. A combinação dessas duas soluções específicas é o que se entende por política estratégica.

Entretanto, ao se combinar medidas deve-se levar em consideração dois pontos principais: primeiro, que as soluções específicas combinadas devem ser compatíveis, isto é, não devem nem excluírem-se, nem serem contraditórias e, nem serem redundantes ou circulares; segundo, o efeito da solução combinada nos grupos das partes interessadas provavelmente será diferente da soma de todos os efeitos individuais causados por cada solução específica (MUÑUZURI *et al*., 2005).

Holguín-Veras *et al*. (2015) descreveram 54 medidas do *City Logistics*, analisando mais de 150 referências e as classificaram em oito grupos principais da seguinte forma:

(i) Gerenciamento de Infraestrutura;
(ii) Gestão de Áreas de Estacionamento/Carregamento;
(iii) Estratégias Relacionadas a Veículos;
(iv) Gestão de Tráfego;
(v) Preços, Incentivos e Tributação;
(vi) Gerenciamento Logístico;
(vii) Demanda de Frete/Gerenciamento do Uso da Terra e;
(viii) Comprometimento dos *stakeholders*.

O principal objetivo do guia elaborado por Holguín-Veras *et al*. (2015) é fornecer um catálogo completo das potenciais medidas que podem ser consideradas pelos órgãos públicos para melhorar seus sistemas de transporte urbano. Essas medidas incluem projetos, programas e, políticas. O guia ainda apresentou a participação do setor privado durante o processo (HOLGUÍN-VERAS *et al*., 2015). A Figura 2.3 apresenta um resumo com iniciativas de fornecimento em um extremo, iniciativas relacionadas à demanda no outro, e estratégias operacionais e financeiras no meio. As medidas ainda estão relacionadas à participação ativa dos principais *stakeholders* envolvidos na questão do frete para ser abordado.

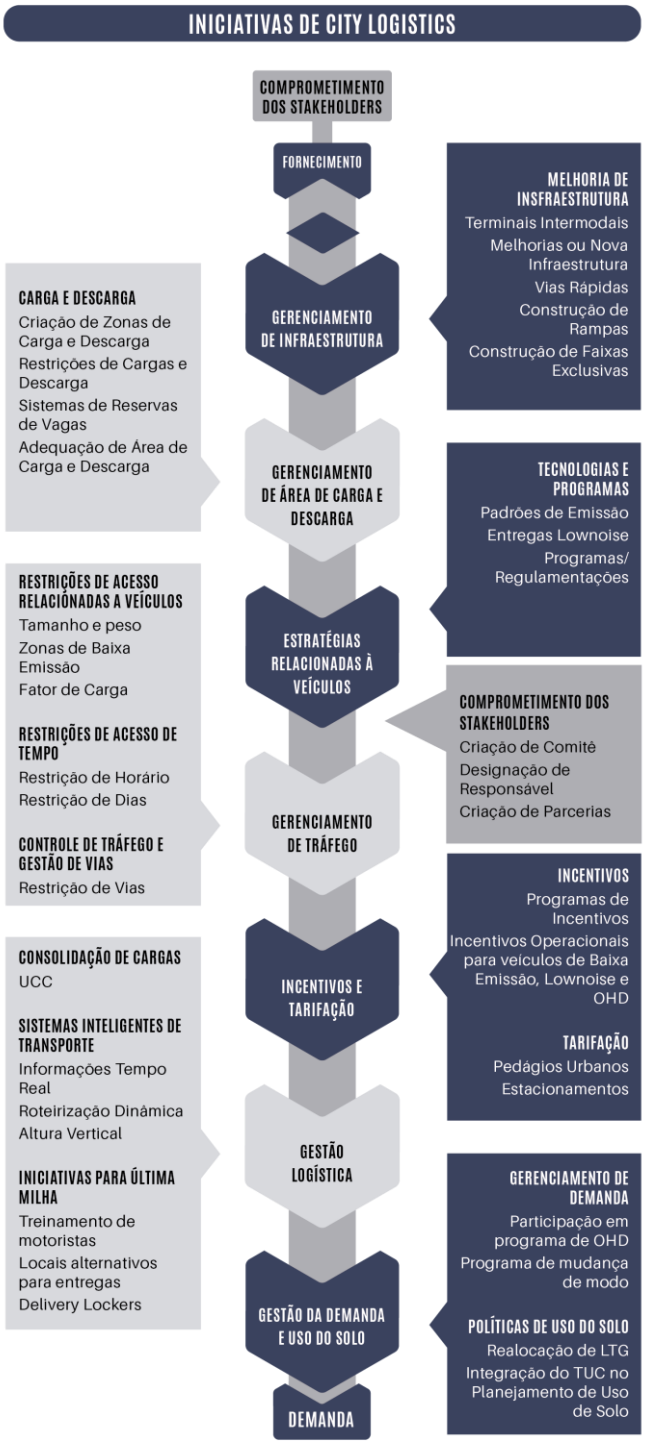


Figura 2.3 -Classificação das Iniciativas de City Logistics.
Fonte:(HOLGUÍN-VERAS *et al.*, 2015)

Um resumo das principais iniciativas de *City Logistics* é apresentado a seguir, segundo a classificação de Holguín-Veras *et al*. (2015).

Iniciativa 01- Gerenciamento de infraestrutura

Dentro deste grupo encontram-se as iniciativas que se referem à construção, ou adaptação, das infraestruturas existentes para melhorar o TUC e, também, para aprimorar a mobilidade. Esses aperfeiçoamentos são frequentemente necessários porque, tanto o tamanho dos caminhões, quanto o tráfego, aumentaram ao longo das últimas décadas, tornando algumas vias, e edifícios, obsoletos e/ou incapazes de apoiar os atuais volumes dos transportes de mercadorias (MUÑUZURI *et al.*, 2005; RHODES *et al*., 2012). Pode-se citar três exemplos relativos as inciativas desse grupo:

- a construção de desvios (rodovias de alta velocidade, ou vias rápidas) para mover caminhões até a periferia da área urbana no Brasil, no Brasil um exemplo é o Rodoanel Mário Covas, na Cidade de São Paulo (DUTRA, 2004);
- a construção de faixas exclusivas para a movimentação dos veículos de carga;
- a construção de rampas para os carrinhos de mão e empilhadeiras, para melhorar a eficiência das atividades de carga e descarga (HOLGUÍN-VERAS et al., 2015; OLIVEIRA, 2018; RHODES et al., 2012).

Iniciativa 02- Gerenciamento de áreas de estacionamento e carga e descarga

Na maioria dos centros comerciais urbanos, as vagas de estacionamento são muito limitadas, o que se traduz em caminhões parados em estacionamento duplo, circulando por um tempo considerável à espera de espaço para estacionar e, caminhões estendendo-se em calçadas e ruas, enquanto estão estacionados em vagas subdimensionadas (JALLER, HOLGUÍN-VERAS e HODGE, 2013). Embora este não seja apenas problema de fiscalização – pois o número de vagas disponíveis não é suficiente para atender a quantidade de caminhões –, o que mais agrava a situação é o fato de que as entregas, geralmente, ocorrem em horários comerciais. Acrescenta-se à isso que, no que se refere as vagas direcionadas aos caminhões, além de serem limitadas, na ampla maioria das vezes, tais vagas são ocupadas por veículos particulares (ALVES *et al*., 2018; OLIVEIRA e GUERRA, 2014). Dessa forma, além de dimensionar corretamente o número de vagas de carga e descarga, as medidas de controle do uso dessas vagas permitem que os motoristas venham a agendar, ou reservar, seus usos. Trata-se de uma racionalização da operação com vistas a movimentação planejada dos veículos de entrega. Dentre as medidas encontradas são citadas: criação de zonas de carga e

descarga, restrições de carga e descarga, sistemas de reservas de estacionamento, adequação das áreas de carga e descarga.

De acordo com Oliveira *et al*. (2018b), para lidar com o problema das vagas de carga e descarga, a cidade de Barcelona, na Espanha, exige em seu código de zoneamento que todos os estabelecimentos industriais, e comerciais, com mais de 400 m^2, construam áreas para entregas de mercadorias. Em Paris, capital da França, os escritórios com área superior a 2.500 m^2, localizados dentro da zona urbana, bem como as lojas, as oficinas e, os espaços industriais de mais de 500 m^2, devem estar equipados com zonas de entrega internas. Nesta Capital também se regulamentou a existência de uma vaga para carga e descarga a cada 100 m^2.

Iniciativa 3 – Gestão da demanda e uso do solo

O objetivo deste grupo de iniciativas é reduzir as externalidades negativas do TUC, de modo a modificar a demanda subjacente, ao invés de alterar o tráfego dos veículos ou, as atividades logísticas (iniciativa 5 e 7, respectivamente). Duas subdivisões de iniciativas são consideradas: a primeira, que busca modificar a natureza da demanda do frete; a segunda, que enfoca o uso do solo. Dentro desta primeira divisão, um exemplo de iniciativa é o programa de entregas fora do horário de pico (*off-hour deliveries* - OHD).

A distribuição urbana de mercadorias, em horários de pico, tem tornado a atividade mais custosa, devido ao tempo perdido em congestionamentos e, na busca demorada por vagas apropriadas para carga e descarga. O programa de *off-hour deliveries* é uma estratégia de gerenciamento da demanda de frete, projetada para estimular os recebedores a aceitar entregas nos períodos fora dos horários normais de negócios. Um exemplo bem-sucedido dessa iniciativa, é o programa de *off-hour deliveries* de Nova York (NYC OHD) (HOLGUÍN-VERAS *et al*., 2018). Este programa é resultado de parceria acadêmico-privada-pública, cujos esforços levaram mais de 400 estabelecimentos comerciais, dessa cidade, a aceitar o OHD sem supervisão. Trata-se, tal modelo, de uma, entre outras, modalidade de entrega presente no OHD, onde os receptores concedem acesso aos fornecedores (confiáveis) para que, estes, possam realizar entregas sem vigilância. O uso dessa modalidade maximiza o retorno ao receptor, embora envolva algum risco.

O programa NYC OHD obteve benefícios, não apenas de natureza econômica, como também, na qualidade de vida dos atores envolvidos. As operadoras reduziram os custos operacionais e, as multas advindas dos estacionamentos em 45%. Além disso, os

receptores desfrutam de entregas mais confiáveis, o que permite a redução dos níveis de estoque. Na sequência, os motoristas têm menos estresse, menos horas de trabalho, menos entregas e, a possibilidade de encontrar estacionamento é aumentada. Acrescenta-se que os caminhões de entrega apresentam subtração na emissão de poluentes, com estimativas de 55% a 67% menos emissões, do que se comparado as entregas feitas nos horários comerciais, o que resulta numa redução anual líquida de 2,5 milhões de toneladas de CO_2. Por consequência, a qualidade de vida da população é aumentada, como resultado da redução dos conflitos entre caminhões de entrega, carros, bicicletas e, pedestres. Também, porque se faz uso das práticas de entrega de baixo ruído, mediante aplicação de tecnologias que minimizam os impactos do ruído, a qualidade, tanto da prestação de serviço, quanto para a população, é, novamente, melhorada. Por fim, os benefícios econômicos totais, entrementes as outras vantagens citadas, excederam US$ 20 milhões por ano em Nova York.

Dois obstáculos são apresentados por Bertazzo *et al.* (2015) e Oliveira, Braga e Abreu (2010) ao investigar a implantação das OHD no contexto brasileiro: a falta de segurança e a falta de funcionários para receber as mercadorias. Uma forma de enfrentar essas dificuldades é através da busca para aumentar a atratividade da iniciativa aos varejistas e, aos transportadores, mediante incentivos fiscais, com investimento em segurança, entre outros.

A segunda divisão das iniciativas desse grupo lida com o "uso de solo", que compreende a concentração espacial e a distribuição das atividades econômicas, que produzem a demanda do transporte e, desempenha grande papel na geração de viagens (JALLER, WANG e HOLGUIN-VERAS, 2015). Este tipo de análise é importante, embora frequentemente negligenciado. As medidas de uso de solo compreendem: integração do TUC no processo de planejamento do uso de solo e; avaliação dos grandes empreendimentos geradores de tráfego *(large traffic generators* – LTZ). Ao considerar a realocação dos grandes empreendimentos para melhorar as condições de trânsito, muitos podem ser os equívocos e, o potencial para os efeitos não intencionais é alto. Embora seja natural, às comunidades locais próximas de um grande gerador de tráfego, querer que este seja realocado por causa das externalidades que produz, a experiência sugere que uma consideração, cuidadosa, deve ser dada aos possíveis impactos não intencionais que esta iniciativa pode causar. Por isso é importante incluir o estudo do TUC no processo de planejamento urbano e uso de solo (WOUDSMAN, 2001).

Iniciativa 4- Estratégias relacionadas à veículos

Essas iniciativas buscam melhorar as condições ambientais, de modo a promover o uso das tecnologias e, das práticas, que reduzem as externalidades negativas produzidas pelos veículos de carga, em termos de emissões e ruídos. Dentre elas, pode-se citar a imposição de Padrões de Emissão, que tem por objetivo promover o uso dos veículos elétricos, ou de baixa emissão, para entregas urbanas. Na sequência, estão os Programas de entrega com baixo ruído (*low noise)*, que visam a redução da poluição sonora, a partir das regulamentações e iniciativas de fornecimento com baixo ruído. Entretanto, essas iniciativas, embora melhorem a habitabilidade local, implicam em mudanças nas frotas dos veículos, o que demanda alto investimento e específica manutenção, sendo estas desafios às suas implantações (HOLGUÍN-VERAS *et al*., 2015).

Existem diferentes programas que visam ou aceleram o uso dos veículos mais limpos, antes da introdução de padrões de emissões; ou que buscam aumentar voluntariamente a captação desses veículos. O *Hunts Point Clean Trucks Program* é o exemplo de programa que fornece subsídios para a aquisição de caminhões "mais limpos" em Nova York (HOLGUÍN-VERAS *et al*., 2015). Com relação a poluição sonora, os programas de *Lownoise* podem facilitar as entregas OHD (HOLGUÍN *et al*., 2013). O Programa PIEK, na Holanda, subsidia a aquisição de tecnologias que atendam aos padrões de ruído regulamentados (FINLAY, 2008; HOLGUÍN *et al*., 2013).

Iniciativa 5- Gerenciamento de tráfego

Essas iniciativas visam melhorar as condições de tráfego, por meio do emprego das técnicas de engenharia de tráfego. Tais medidas incluem restrições de acesso, gerenciamento de faixa e o controle de tráfego (HOLGUÍN-VERAS *et al*., 2015). As restrições de acesso podem limitar, conceder ou, negar, o acesso dos veículos de carga em uma região. A natureza das restrições varia em termos de: tipo de veículo e horário da viagem. As restrições que se referem ao veículo podem incluir: tamanho e peso, fator de carga, tipo de mercadoria, tipo de motor, área urbana ou região – como é o caso das Zonas de Baixas Emissões (*Low Emission Zone*- LEZ) (QUAK, 2008).

As LEZ são regiões limitadas geograficamente, localizadas nos centros das áreas metropolitanas, onde são permitidos somente veículos que gerem uma baixa emissão de gases, sendo os veículos que produzem quantidades maiores que as permitidas são proibidos, ou obrigados, a pagar multa que varia com base na qualidade do ar ambiente. Os veículos aceitados adentrar essa região são cadastrados. A fiscalização é feita por meio

de câmeras de vídeo, ou vigilância visual, com o emprego de adesivos. As LEZ foram implementadas em mais de 220 cidades europeias, como por exemplo: Paris, Milão, Florença, e Roma, Budapeste, Amsterdam, Delft, Atenas, Berlim, Bremen e, Munique (DABLANC; MONTENON, 2015).

De acordo com Oliveira *et al*. (2018b), a restrição de peso e tamanho dos veículos é prática comum nas cidades brasileiras e, pode ser encontrada nas principais capitais: São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, São Luiz, Salvador, Recife, Natal, Porto Alegre, Belém, Goiânia, Maceió, Manaus, Campo Grande e Fortaleza. Com a implantação desta restrição no Brasil, popularizou-se o uso dos Veículos Urbanos de Carga (VUC). Porém, Dablanc *et al*. (2011) ressaltam que a restrição veicular, baseada no peso ou no tamanho do veículo, incentiva o uso de veículos de carga com menor porte, o que aumenta o congestionamento e, por consequência, impondo redução na eficiência do transporte urbano de mercadorias. Tal afirmação é corroborado com os resultados de Vieira e Fransoo (2015) para a cidade de São Paulo. Por fim, as restrições de horário de viagem podem limitar as entregas durante um período, ou hora do dia.

As outras iniciativas desse grupo compreendem o controle de tráfego e a gestão de faixa, onde ambas buscam a promoção e o uso efetivo da capacidade disponível de uma via. O objetivo dessas práticas é a otimização e a alocação, dos direitos de passagem pela faixa. Nas áreas urbanas, onde a capacidade da via é limitada, o gerenciamento de faixa é frequentemente usado para melhorar a utilização e mobilidade da pista, por meio da separação dos caminhões em relação aos demais veículos. A explicação para isso está no fato de os caminhões serem mais largos e pesados que outros veículos, desta forma, a mobilidade e a segurança para os demais usuários são potencializadas (HOLGUÍN-VERAS *et al*., 2015).

Iniciativa 6 - Incentivos e Tarifação

Esse grupo contém inciativas que usam sinais monetários para atingir metas públicas pré-definidas, para impulsionar o uso de tecnologias emergentes e favorecer o gerenciamento da demanda. Os pedágios urbanos são exemplo de tarifação cobrada que objetivam reduzir a circulação dos veículos de carga e, principalmente, incentivar a melhor utilização da capacidade destes veículos (ALLEN, THORNE e BROWNE, 2007; TANIGUCHI, OKAMOTO e YAMADA, 2007; TEO, TANIGUCHI e QURESHI, 2014). Em teoria, o aumento nos custos de transporte, produzidos pelo pedágio, levaria à redução no tráfego dos caminhões. Entretanto, uma pesquisa empírica realizada por

Holguín-Veras *et al*. (2006) indicou que, em mercados altamente competitivos, o pedágio não tem impacto perceptível na redução do tráfego em horário de pico. De acordo com os pesquisadores, isso é reflexo do excesso de oferta de empresas de transporte. Como resultado da competitividade, as transportadoras tendem absorver os custos do pedágio, com o objetivo de evitar quaisquer alterações operacionais que possam perturbar seus clientes e, levar à perda de negócios. Se esse custo fosse repassado para os clientes, acredita-se que seria incentivo para promover entregas fora do horário de pico (HOLGUÍN-VERAS, 2011).

Dentro desse grupo de iniciativas, ainda se encontram aquelas que buscam promover práticas sustentáveis, com vistas a incentivar a participação de um, ou mais, *stakeholders,* mediante uso dos incentivos monetários, não monetários e incentivos fiscais. Neste contexto, com a combinação do poder de incentivos e regulamentação, provavelmente é possível obter impacto significativo sobre o comportamento dos *stakeholders* do TUC (QUAK, 2008). O setor público pode fornecer incentivos para promover a aquisição de veículos *eco-friendly,* que produzem pouca, ou nenhuma, emissão de CO_2. Também, o setor público pode fornecer incentivos à substituição dos motores poluentes, enquanto cobra penalidades às transportadores que usam veículos que estejam fora dos padrões ambientais mínimos regulamentados em leis (ALLEN, THORNE e BROWNE, 2007; DABLANC *et al*., 2011). Não existe quantidade de literatura expressiva acerca da eficácia dos programas de incentivo, ou sobre como estruturá-los. Um dos poucos esforços de pesquisa está relacionado ao projeto de entregas fora do horário de pico (OHD), na cidade de Nova York (UKKUSURI *et al*., 2016). Nesta, os modelos econômicos demonstraram que o reconhecimento público aumenta a probabilidade de participação de todos os *stakeholders* nos projetos como o citado.

Iniciativa 7- Gestão Logística

Este grupo de medidas busca reduzir as externalidades negativas do TUC, de modo a alterar a forma pela qual as entregas são realizadas. Abaixo, são apresentados quatro exemplos de medidas deste grupo:

1) Centros de consolidação urbano (*Urban Consolidation Centre* - UCC): compreendem uma instalação logística localizada nos arredores da cidade, que recebem cargas de diferentes operadores logísticos e, as consolidam em veículos menores, para posterior distribuição. O operador da UCC é o responsável por essa

distribuição (JOHANSSON, 2018). As transportadoras pagam ao operador de UCC uma taxa por entrega realizada, enquanto reduzem seus custos, por não ter que realizar a parte final da entrega (ALLEN et al., 2012; OLIVEIRA, 2018);

2) Os sistemas inteligentes de transporte (*intelligent transportation systems* - ITS) são outra iniciativa desse grupo. Fornecem orientação para os motoristas sobre: rotas preferenciais, restrições de tamanho e peso e orientação para a localização dos espaços logísticos. Tem-se ITS já estão em funcionamento em Berlim, Londres e Paris (ALLEN, THORNE e BROWNE, 2007; DABLANC *et al*., 2011).

3) Programas de treinamento de motoristas, que buscam qualificar os comportamentos dos mesmos e, dessa forma, aprimorar suas competências, com vistas ao aperfeiçoamento da entrega, no consumo de energia, nos impactos ambientais e na segurança de todos os usuários da estrada (HOLGUÍN-VERAS *et al*., 2015).

4) Pontos de coleta e entrega alternativos (*Collection and Delivery Points* – CDPs), essa iniciativa fomenta o uso de locais alternativos à retirada e, à entrega de mercadorias (armários de entrega e correios, por exemplo), que são usados como mini-depósitos, locais de coleta e, distribuição de cargas. Tais são utilizados, principalmente, às entregas de compras estabelecidas por meio do comércio eletrônico (SONG, CHERRETT e GUAN, 2011).

Iniciativa 8- Comprometimento dos Stakeholders

Aumentar a compreensão das questões do TUC, entre o setor público e as transportadoras e, dessa maneira, proporcionar maior alcance ao setor privado, são os principais objetivos deste grupo de inciativa. O setor público não pode lidar com questões do TUC sem, necessariamente, compreender os fenômenos envolvidos. Muitas vezes, as decisões políticas, advindas do setor público, tem um potencial causador de problemas, ainda que não intencionais, nas questões relativas ao zoneamento, aos conceitos de *design* urbano, aos regulamentos de estacionamento e, as restrições nas rotas de caminhões (GRAY e BROWN, 2014). Por isso, o necessário conhecimento acerca dos fenômenos envoltos do TUC, é parte do exercício responsável de gestão moderna que o Estado deve implantar na sua esfera de atuação (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2016).

O envolvimento efetivo do setor privado requer a criação de mecanismos para se discutir questões do TUC com o setor público. Também, o mesmo critério de criação de

mecanismos é necessário para dialogar com os demais *stakeholders*. Uma vez estabelecidas as ferramentas do diálogo, poder-se-á identificar as possíveis soluções e os prováveis papéis das partes interessadas e, dessa forma, garantir o comprometimento com as iniciativas tomadas entre os envolvidos no processo.

O processo de seleção da iniciativa mais apropriada, para abordar o problema do TUC, está longe de ser simples. A maioria dos casos envolvem grande quantidade de nuances, tais como: conflitos para serem resolvidos, consideração de fatores complexos, inclusão dos *trade-offs* e atenção às principais restrições de implantação das iniciativas (MUÑUZURI *et al*., 2005). O envolvimento extensivo das partes interessadas e a coleta dos dados, geralmente precisam preceder a etapa da seleção de uma iniciativa. Os principais insumos necessários para reduzir o conjunto de alternativas potenciais devem, no mínimo, incluir quatro considerações: (1) alcance geográfico do problema; (2) principais metas e objetivos a serem atingidos; (3) principais restrições e; (4) causas do problema (HOLGUÍN-VERAS *et al*., 2015).

Depois de selecionar as iniciativas consideradas apropriadas para resolver um determinado problema, algumas considerações precisam ser feitas. Estas considerações justificam-se na medida em que podem garantir a implementação bem-sucedida das propostas. Também, elas envolvem questões de planejamento, operações, engajamento, gestão e integração de riscos. De acordo com Holguín-Veras *et al*. (2015), cada iniciativa inclui questões que os planejadores devem saber, antes de seguir com o processo de implementação. A lista completa das inciativas, bem como suas particularidades, podem ser encontradas em Holguín-Veras *et al*. (2015).

Nas próximas secções são discutidas o problema específico desta tese, qual seja, as entregas urbanas do *e-commerce* e quais são as medidas de *City Logistics* indicadas para minimizar os problemas resultantes desta atividade.

2.2 Transporte urbano de cargas do *e-commerce*

A última milha, percorrida pelos caminhões, foi caracterizada como a parte mais cara e complicada da cadeia de suprimentos, com impactos negativos sobre os índices de poluição e no tempo levado para superar os congestionamentos nas estradas, notadamente maior na última milha, especialmente naquelas áreas densamente povoadas. A chegada do *e-commerce* acentuou o número das entregas domiciliares, ao mesmo tempo em que fez alavancar os fluxos na última milha. Por isso, investigar como melhorar a eficiência

da logística nas áreas urbanas é fator urgente para o sucesso do comércio eletrônico, haja vista que contribui para aliviar as externalidades negativas do transporte urbano de mercadorias e derivados (CARDENAS et al., 2017).

A crescente popularidade das compras *online* eleva, também, o número dos veículos de carga sobre as áreas urbanas, uma vez que são eles os responsáveis pelo transporte das encomendas aos consumidores. No Brasil, aproximadamente 111,2 milhões de pedidos foram entregues no ano de 2017, com mais de 55 milhões de consumidores, ou *e-shoppers*, como são conhecidos o perfil que compram através da internet (EBIT, 2018). A maior parte das encomendas requerem uma pessoa para receber o pacote, ato necessário por se tratar de caixas ou embalagens que não acomodam-se nas caixas de correio ou, porque necessitam da assinatura do comprador (MAERE; UNIVERSITEIT; MAERE, 2017). No entanto, pode vir a acontecer de os consumidores não se encontrarem em suas residências, quando um pacote é posto na rota de entrega aos clientes, e ocorrer então uma "falha" na entrega. Nesse caso, estabelece-se a necessidade de nova(s) viagem (s) até a residência do comprador. Se mesmo depois de uma terceira tentativa a entrega não puder ser concluída, os operadores logísticos podem oferecer diferentes opções para os clientes do *e-commerce*. Uma alternativa é deixar a encomenda com um vizinho, deixar fora das instalações (não seguro) ou entregar o item em um local próximo (correios, centro de distribuição, etc). Quando nenhuma das opções está disponível, o item é retornado ao remetente. Isso implica em altos custos que devem ser arcados, ou pelo operador logístico, ou pelo varejista *online* ou, consumidor (GEVAERS, VAN DE VOORDE e VANELSLANDER, 2014).

As altas taxas de entregas falhas estão relacionadas, principalmente, com as mudanças no estilo de vida da população. Entre essas mudanças pode-se destacar: o crescimento de domicílios de uma única pessoa, altos níveis de emprego feminino e, alto expediente de trabalho. A maioria das empresas de entregas operam durante o horário normal de trabalho, ou seja, quando os clientes provavelmente estão no trabalho, fora das suas residências (IWAN, KIJEWSKA e LEMKE, 2016). Horários de entrega tradicionais não têm sido capazes de acompanhar o estilo de vida moderno dos clientes do comércio eletrônico. De acordo com Song *et al.* (2009), no Reino Unido, grande parte das casas ficam vazias durante o período de 9:00 às 16h, padrão que no Brasil é semelhante, visto que, cerca de 71,5% dos brasileiros trabalham mais de 40 horas semanais (IBGE, 2015).

Além das entregas falhas, Maere (2017) indica outros fatores que impactam na lucratividade dos *stakeholders* do TUC do comércio eletrônico B2C. O primeiro deles é

a densidade das entregas, seguido da janela de tempo, sucedido pela logística reversa, que antecede o fator de carga do caminhão; depois, vem a duração das paradas e encerra-se com o impacto ambiental. Segundo Allen *et al.* (2017), o TUC do comércio eletrônico B2C resulta em receita média menor às transportadoras em comparação com as entregas B2B (*business-to-business*). Isso acontece porque esse mercado possui características que tornam as suas entregas menos eficientes. Além das altas taxas de falha iniciais, as entregas B2C envolvem, também, entregas em locais afastados, com menor densidade populacional, o que reduz o número de paradas e aumenta as distâncias percorridas entre as paradas, o que faz elevar os custos da operação (SOMERS, 2014). De acordo com Gevaers, Van de Voorde e Vanelslander (2014), o número de entregas, em uma região onde a densidade é de 50 habitantes/km², é menor que em uma área com densidade superior a 1500 habitantes/km². Esse fato pode chegar a triplicar o custo da entrega (7,75 euros contra 2,75 euros).

Os varejistas *online* e as transportadoras oferecem variedades de serviços de entrega com garantia de tempo, que variam de determinado número de dias desde o pedido, com considerações sobre os horários específicos em determinado dia e, até mesmo, serviços de entrega no mesmo dia da compra realizada. Como já informado antes, os clientes tendem a permanecer fora de seus domicílios a maior parte do dia, no que resulta em maiores exigências relativas aos horários das entregas. Consumidores que exigem serviços de entrega cada vez mais rápidos, confiáveis e seguras, acabam por estimular as operadoras a oferecer janelas de entregas programadas (GEVAERS, VAN DE VOORDE e VANELSLANDER, 2014).

Nos países europeus e Estados Unidos, os serviços de entrega para o mesmo dia, ou nas 24 horas seguintes, já ocorrem a alguns anos. E tem havido um aumento na proporção de encomendas enviadas para entrega nessas condições, com um declínio relacionado às encomendas enviadas com economia de custos – aquelas sem prazo de entrega garantido e/ou especificado (IMRG, 2016). No Brasil, até o presente momento, são limitadas as empresas que oferecem o serviço de entrega no mesmo dia. Também existe o problema de não serem todas as regiões do território nacional abrangidas pelo atendimento, conforme pesquisa realizada pela Associação Brasileira do Comércio Eletrônico (ABCOMM). Isto posto, faz-se mister informar que o prazo médio de frete varia de 4 a 14 dias para as cidades de São Paulo e Manaus, respectivamente. Verifica-se, assim, que o cliente do comércio eletrônico brasileiro não está satisfeito com esse

cenário e, também, observa-se que os fatores que geram as maiores insatisfações são as opções de frete, entrega no prazo e, acompanhamento dos pedidos (EBIT, 2017).

Juntamente com as janelas de tempo, a alta fragmentação dos pedidos dificultam a programação e a roteirização, das entregas do *e-commerce* (ALLEN *et al*., 2017). Os clientes geralmente compram pequenas quantidades, enquanto esperam entrega rápida. Isso força o mercado competitivo, dos serviços de transporte, a responder dinamicamente à demanda emergente por transporte. Muitas vezes, para satisfazer o cliente, há transportadoras optam por fornecer seus serviços, mesmo que seu espaço de carregamento não seja otimizado (IWAN, KIJEWSKA e LEMKE, 2016).

Uma peculiaridade presente nas entregas domiciliares é o tempo de descarregamento, que comumente tende a ser maior, pois os entregadores precisam tocar na porta do destinatário, aguardar o cliente abrir a porta, entregar o pedido e, quando necessário, solicitar assinatura como prova de entrega. Este tempo em entregas domiciliares assistidas tende a ser maior do que o tempo gasto em rota pelo caminhão, por isso é considerado um direcionador de custos (SOMERS, 2014).

Outra característica das entregas B2C, que diferem das outras cadeias de suprimentos, é a logística reversa. Refere-se aos produtos devolvidos de compras feitas *online* e representam uma proporção considerável de todos os produtos entregues (ALLEN *et al*., 2017). De acordo com pesquisa realizada pela INVESP, cerca de 30% de todos os itens comprados *online* são devolvidos (SALEH, 2018). No Brasil, a regra que mede o direito de arrependimento, normativa presente no Código de Defesa do Consumidor, concede ao mesmo o direito de se arrepender, das compras não presenciais, no prazo de até 7 dias sem nenhum ônus (BRASIL, 1990). No entanto, o processo de troca, e devolução, apresenta problemas. De acordo com o relatório do *Webshoppers*[3], apenas três, em cada dez pessoas que pensaram em realizar uma troca, conseguiram efetivar o processo sem dificuldade. Duas em cada dez pessoas que pensaram em devolver a mercadoria, conseguiram fazer a devolução sem nenhum empecilho (EBIT, 2017).

As falhas nas entregas, as janelas de tempo, a logística reversa, os baixos fatores de carga e, as condições de tráfego, todos esses fatores, implicam em mais quilômetros a serem percorridos pelos veículos de carga, com mais emissões de poluentes lançados na atmosfera. A emissão de poluentes, derivados dos veículos de entrega, é reconhecida pela literatura como parte do problema da última milha (ARNOLD *et al*., 2018; BROWN e

[3] Webshoppers é o relatório de maior credibilidade sobre o comércio eletrônico brasileiro e considerado a principal referência para os profissionais do segmento(E-COMMERCEBRASIL, 2019)

GUIFFRIDA, 2014; LIU, WANG e SUSILO, 2017). Porém, como tal emissão não representa um custo direto aos empresários, o mesmo tende a ser desconsiderado (SOMERS, 2014). Do mesmo modo, ainda que os compradores *online* tenham uma maior conscientização ambiental, a disposição para pagar por entregas ecológicas é baixa, mais de dois terços desse público não deseja pagar taxas extras para receber tal tipo de entrega (MOROZ e POLKOWSKI, 2016).

Com uma quantidade tão grande de entregas não sucedidas e o alto custo e impacto ambiental das entregas a domicílio, torna-se importante racionalizar as entregas do comércio eletrônico (IWAN, KIJEWSKA e LEMKE, 2016). As principais alternativas para entrega em domicílio incluem: caixas de recepção, caixas de entrega, sistemas de acesso controlado, pontos de coleta e armários de entregas (ALLEN, THORNE e BROWNE, 2007). Essas iniciativas e outras são apresentadas na seção seguinte.

2.3 Medidas de *City Logistics* para *e-commerce*

Os varejistas *online* e suas transportadoras têm adotado várias medidas para diminuir os custos de entrega e atender as expectativas dos clientes. Além de reduzir custos, muitas dessas iniciativas resultam em maior eficiência nas operações de entrega e, consequentemente, também levam à redução no tráfego e seus impactos sociais e ambientais. Os varejistas *online* estão começando a oferecer serviços de entrega que não envolvem o envio de mercadorias para o endereço residencial o que reduzem a quantidade de entregas com falha. Essa prática reduz o tempo envolvido em dirigir e caminhar entre endereços de entrega residencial e encontrar vagas de estacionamento.

Esses sistemas alternativos permitem que mais pacotes sejam entregues a um número menor de locais sem o risco de falha de entrega, o que propicia a redução do custo unitário de entrega. Os Pontos de Coleta e Entrega ou como são conhecidos *Collection-and-Delivery Points* (CDPs) englobam o princípio de auto-coleta (do inglês *self-pick-up)*, que envolve o cliente no processo de entrega. Neste sistema as parcelas são entregues em um ponto de entrega escolhido pelo cliente e ele deve se deslocar até o local para retirar sua encomenda (ARNOLD *et al*., 2018).

Quando o varejista *online* possui uma loja física e está serve como ponto de coleta trata-se de um serviço conhecido como *Click & Collect.* A quantidade de lojas online que oferecem esse serviço tem aumentado, visto que além do ganho principal que é redução das entregas domiciliares com falhas as lojas têm observado que ao retirar o seu pedido

os consumidores tendem a realizar outra compra na loja física. No Brasil esse serviço é conhecido como “Compre no site, Retire na loja” e é ofertado principalmente pelas grandes lojas online como: Casas Bahia, Magazine Luiza, Centauro, entretanto, é limitado apenas para algumas localidades e produtos (MAGAZINE LUIZA, 2018).

As configurações de CDPs mais conhecidas são: (1) as estações de entrega automática, também conhecidas por *Delivery Lockers* (DL), que funcionam sem supervisão e os *Collection Point* (CP) que necessitam de supervisão (MORGANTI *et al*., 2014; WELTEVREDEN e ROTEM-MINDALI, 2009). Os DL são armários automatizados operados a partir de um código eletrônico, onde os entregadores utilizam este código para informar os clientes sobre a situação de suas encomendas (IWAN, KIJEWSKA e LEMKE, 2016). Já no caso dos *Collection Point* (CP), as encomendas são entregues em uma loja: lavanderia, posto de gasolina ou correios, por exemplo. Neste sistema, a loja é quem gerencia, recebe e entrega as mercadorias (DELL’AMICO; HADJIDIMITRIOU, 2012)

As principais vantagens do uso dos DL quando comparadas com os *Collection Point* são: os horários de funcionamento, tempo de coleta e anonimato. Por serem normalmente localizados em locais públicos os DL funcionam 24 horas não ficando vinculado ao horário de funcionamento de uma loja, os clientes que retiram suas compras nessas estações também não precisam esperar alguém para atendê-los. Além disso, coletar uma parcela em um DL pode ser feito anonimamente, já que nenhuma interação humana é necessária (IWAN, KIJEWSKA e LEMKE, 2016; WELTEVREDEN, 2008).

No entanto, os *Delivery Lockers* apresentam algumas desvantagens em comparação com os CP. Por exemplo, quando existe algum pagamento a ser feito os CP podem oferecer mais opções de pagamento que os DL como pagamento em dinheiro (WELTEVREDEN, 2008). Coletar uma parcela em uma DL requer conhecimento sobre como operá-lo, o que pode ser um impedimento para certos clientes usarem o serviço, enquanto no CP, o pessoal da loja é quem gerencia o procedimento de coleta. Além disso, algumas parcelas não podem ser entregues nos DL devido ao tamanho fixo dos armários. Os CP são mais flexíveis para armazenar pacotes de diferentes formas e tamanhos, pois os pacotes são armazenados em uma área dentro da loja (MORGANTI, DABLANC e FORTIN, 2014).

Os CP são localizados em uma loja e as DL geralmente são instalados em espaços públicos. Como tal, pode ser mais difícil estabelecer (rapidamente) uma rede de *Lockers*, já que muitas vezes é necessária permissão das autoridades locais para instalar os DL em

um local público. Além disso, devido à sua localização em espaços públicos, os DL podem ser mais sensíveis ao roubo e vandalismo, em comparação com os CP. No entanto, os CP demandam de uma loja que queira oferecer esse serviço e possua espaço e pessoal para operá-lo (WELTEVREDEN e ROTEM-MINDALI, 2009).

A escolha entre operar um CP ou instalar um DL apresenta fatores diferentes no entanto tanto, os DL como os CP apresentam as seguintes vantagens: (i) o cliente não precisa ficar o dia todo em casa esperando a entrega da mercadoria (ii) alta taxa de satisfação dos clientes; (iii) apresentam alto nível de segurança no serviço; (iv) reduz distâncias extras percorrida em função de reentregas; (v) possibilitam a otimização das rotas; (vi) possibilitam o rastreamento da entrega; (vii) possibilitam uma melhor utilização dos veículos; (viii) aumentam a atratividade dos locais onde estão instalados e (ix) o maior benefício: 100% das entregas são realizadas (DELL'AMICO e HADJIDIMITRIOU, 2012; MCLEOD, CHERRETT e SONG, 2006; MORGANTI *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2014; WELTEVREDEN, 2008).

Apesar das inúmeras vantagens, quando mal dimensionado esses sistemas podem gerar viagens extras de clientes em seus veículos privados para buscar seus pedidos. Para minimizar este problema, Dell'Amico e Hadjidimitriou (2012) reforçam que a localização adequada é importante para o sucesso do sistema, pois pode facilitar o encadeamento de viagens: o cliente pode conciliar uma ida ao CDP com seu trajeto diário (LIU, WANG e SUSILO, 2017; WELTEVREDEN, 2008; WELTEVREDEN, ROTEM-MINDALI, 2009).

Os *Delivery Lockers* são o foco da presente tese pois como evidenciado por Oliveira *et al.* (2017a) existe uma demanda potencial para uso destes sistemas e por funcionarem 24 horas por dia. Nos últimos anos, várias empresas têm obtido sucesso com a implantação dos DL. São exemplos disto: ByBox(United Kingdom), Givver(The Netherlands), Inpost(Poland), DHL Packstations(Germany), POPStation (Cingapura)e HiveBox (China) (IWAN, KIJEWSKA e LEMKE, 2016; MORGANTI *et al.*, 2014; WELTEVREDEN, 2008). Este sistema continua em constante ascensão visto que, em 2014, a Packstation da DHL contava com uma rede 2.650 *lockers* na Alemanha (MORGANTI *et al*., 2014) e atualmente esse número já é maior que 3.000 (DHL, 2018).

Nos EUA, os *Delivery Lockers* foram instalados pela Amazon, contendo mais de 2.000 pontos distribuídos em 50 cidades (AMAZON, 2018). No início de 2018, a Amazon inovou ao apresentar um novo local para seus clientes receberem suas entregas: seus próprios veículos. A população de dezenas de cidades dos EUA pode começar a receber

seus pedidos em um carro estacionado, desde que o veículo tenha a tecnologia adequada. Com alguns toques na tela do smartphone, o entregador pode destravar o veículo e deixar a caixa no porta-malas ou no banco traseiro. Para que a entrega no carro funcione, os clientes devem ter um veículo Chevrolet, Buick, GMC ou Cadillac, ano 2015 ou posterior, com uma conta ativa na *OnSta*r. Este sistema apresenta uma opção para as entregas do comércio eletrônico que não requer grandes investimentos, entretanto a principal preocupação são as questões de segurança (WINGFIELD, 2018).

No Brasil, a Via Varejo que administra as lojas online: Ponto Frio, Casas Bahia e Extra em parceria com a *InPost* (empresa global que atua no mercado de *Lockers*) e os Postos Ipiranga, implantaram os primeiros *Lockers* na cidade de São Paulo em janeiro de 2018. A empresa ainda conta com poucos DL pois a solução ainda está sendo avaliada pela empresa para posterior expansão (CONTENT, 2018). Outra iniciativa para as entregas do *e-commerce* são as "caixas de correio inteligentes", que são uma solução proposta para pelos correios para evitar falhas nas entregas do *e-commerce*. Elas imitam os *Lockers*, entretanto os interessados devem adquirir o equipamento padrão recomendado pelos correios. Esses sistemas foram instalados até agora somente em condomínios pois demanda de investimento prévio do lado dos consumidores e apresenta a desvantagem de só receberem entregas operadas pelos correios (CORREIOS, 2018).

Grande parte dos estudos que investigam esta alternativa para a última milha se preocupam em: (i) conceituar o tema (CULLINANE, 2009; DUCRET, 2014; VISSER, NEMOTO e BROWNE, 2014); (ii) caracterizar a demanda destes serviços (CARDENAS *et al*., 2016; IWAN, KIJEWSKA e LEMKE, 2016; KEDIA, KUSUMASTUTI e NICHOLSON, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017a; WELTEVREDEN, 2008; WELTEVREDEN e ROTEM-MINDALI, 2009) e (iii) desenvolver métodos e modelos matemáticos para analisar a potencial economia da utilização dos pontos de coleta (ARNOLD *et al.*, 2018; CARDENAS *et al.*, 2017; LIU, WANG e SUSILO, 2017; WANG *et al*., 2014).

Na Polônia, Iwan *et al*. (2016) analisaram a usabilidade e eficiência dos DL implantados pela Inpost. Ao questionarem os usuários sobre os fatores que determinavam uma localização adequada para utilizar este sistema, identificaram que: a localização deve estar próxima da residência (33%), ou a caminho do trabalho (21%), perto de centros comerciais (10%), perto de estações de transportes públicos (5%), perto de estacionamento (19%) e em locais seguros (11%). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Morganti, Dablanc e Fortin (2014) e Kedia, Kusumastuti e Nicholson

(2017). Estes últimos analisaram a aceitação dos CDPs pelos residentes de Christchurch, por meio de grupos focais, e afirmam que o horário de funcionamento, densidade de pontos da rede e vagas disponíveis para estacionamento podem incentivar o uso dos CDPs. Cardenas *et al.* (2016) analisaram a distribuição espacial das entregas do *e-commerce*, fracassadas e bem-sucedidas, em onze cidades belgas. Eles concluíram que para se obter uma modelagem eficaz do frete urbano é muito importante considerar e estabelecer o perfil dos consumidores do *e-commerce*. Comi e Nuzzolo (2016) corroboram essa necessidade e focam seus esforços em desenvolver uma estrutura de modelagem que possa ser utilizada para prever os fluxos de compras.

A partir de dados sócio demográficos e de uso de solo, Liu, Wang e Susilo, (2017) desenvolveram um modelo comportamental dos usuários dos CDPs para determinar a escolha do modo de transporte e padrão de viagem (se ocorre ou não o encadeamento com outra atividade) ao buscar sua mercadoria. Os autores relataram enfrentar grandes dificuldades para realizar o estudo devido à falta de informações exatas sobre a demanda online e que tiveram que fazer muitas estimativas durante o desenvolvimento do modelo.

Arnold *et al.* (2018) estudaram as viagens resultantes das compras online no contexto da cidade de Antwerp. Eles simularam o cenário atual, que trata de entregas à domicilio realizadas por furgões, e mais três cenários, que incluem o uso de CDPs, o uso de cargo bikes e um sistema híbrido. O sistema híbrido foi identificado como o cenário que traria melhores resultados em termos de custos operacionais e externos. A simulação realizada neste estudo é uma simulação estática que é resolvida pelo problema de roteamento de veículos. Essa mesma abordagem foi utilizada por Wang *et al.* (2014), ao simular os três tipos de entrega (AD, CP e DL) em cenários que variam a densidade dos sistemas instalados e da população. Os autores indicam o uso das DL para a situação de alta densidade populacional e grande quantidade de pedidos. Durand, Mahjoub e Senkel (2013) e Xiao, Jingjing e Tang (2013) também fazem uso de simulação estática e representam em seus trabalhos o espaço urbano como GRID trazendo conclusões pontuais para os operadores logísticos não discutindo acerca dos ganhos de todos os *stakeholders.* A simulação estática, segundo Van Kolck (2010), não estima o resultado para os vários agentes envolvidos no TUC, pois adapta o interesse individual de cada agente para perspectivas e conceitos globais da sociedade.

Os estudos descritos anteriormente mostram a importância dos *Delivery Lockers* para melhorar a eficiência da distribuição de bens urbanos. Contudo, não evidenciam as implicações que esta iniciativa pode trazer para todos os envolvidos no frete urbano. Este

estudo busca investigar a implantação dos *Delivery Lockers* em Belo Horizonte considerando as políticas públicas locais por meio de Modelagem e Simulação Baseada em Agentes.

2.4 Modelagem e Simulação

Montevechi *et al.* (2010) definem a simulação como sendo a importação da realidade para um ambiente controlado, no qual pode realizar mudanças de parâmetros e visualizar o desempenho do sistema, sem que haja riscos físicos e investimentos. Ela pertence a grande área da Pesquisa Operacional, basicamente há um problema a ser resolvido e a simulação é utilizada para encontrar a solução para esse problema (HILLIER e LIEBERMAN, 2012).

A simulação busca representar a realidade dos sistemas através do uso de modelos. Um sistema é definido como um conjunto de partes e elementos reais que, interagem entre si, a fim de atingir um determinado objetivo comum (CHWIF e MEDINA, 2015). De acordo com Robinson (2011) um modelo é uma representação simplificada da realidade construído para uma finalidade específica.

Por intermédio da simulação, soluções para uma diversidade de problemas podem ser encontradas sem intervir diretamente no objeto estudado. Além dessa vantagem, Sena (2017) destaca que a simulação apresenta resultados mais abrangentes quando comparada com outras ferramentas clássicas de Pesquisa Operacional, que em sua maioria, trazem resposta para problemas pontuais. PIDD (2004) complementa ainda que as ferramentas tradicionais puras não conseguem representar com fidelidade a dinâmica da transição dos efeitos durante o tempo de um sistema real e geralmente trabalha com valores médios dos comportamentos dos elementos reais.

De forma geral, Chwif e Medina (2015) classificam a simulação em dois tipos: a simulação computacional, que é realizada a partir da utilização de um computador e a simulação não computacional também denominada como experimentação, que não necessita de um computador e pode ser realizada por meio de: protótipos, jogos empresariais, *Role Playing Games*, dentre outros.

Devido a sua versatilidade, flexibilidade e poder de análise, a simulação computacional tem sido utilizada de forma crescente para auxílio à tomada de decisões (JAHANGIRIAN *et al.*, 2010). O modelo computacional é desenvolvido por meio de ferramentas matemáticas, e podem utilizar técnicas analíticas e experimentais

para efetuar cálculos a respeito dos elementos característicos do sistema em estudo, e análises sobre os resultados obtidos considerando diferentes cenários aplicados ao sistema (MIGUEL, MORABITO e PUREZA, 2009).

A complexidade é um componente natural dos sistemas reais. Essa complexidade ocorre por conta da natureza dinâmica e aleatória presentes nesses sistemas. Essas questões podem ser assimiladas com mais fidelidade através de um modelo de simulação. Por meio do computador, um modelo de simulação procura reproduzir o comportamento de um sistema real uma vez validado e permite responder a perguntas do tipo: *"O que aconteceria se?".* Cenários heterogêneos podem emergir a partir desse tipo de sentença. De fato, diversas análises a respeito do sistema em estudo podem ser efetuadas com base em um modelo de simulação. Contudo, uma das limitações dos modelos de simulação é a quantidade de tempo gasto na construção do modelo e, consequentemente, a demora em se obter respostas quanto ao resultado que se deseja alcançar (CHWIF e MEDINA, 2015).

Os modelos de simulação podem ser classificados em quatro tipos diferentes: estáticos, dinâmicos, determinísticos, estocásticos, contínuos e discreto (LAW e KELTON, 1991). A Tabela 2.1 apresenta as características destes modelos de simulação.

Tabela 2.1- Classificação dos modelos de simulação.

Características	**Modelos de Simulação**	
Tempo	**Estáticos:** Nos modelos de simulação estática, o sistema é representado levando em consideração um determinado momento. Neste caso, o tempo não desempenha papel relevante no modelo	**Dinâmicos:** A representação de um sistema à medida que o mesmo evolui no decorrer do tempo é a característica essencial dos modelos de simulação dinâmica. Portanto, o tempo é um elemento fundamental em um modelo de simulação dinâmica.
Entrada dos dados	**Determinísticos**: Um modelo de simulação é classificado como determinista por não conter elementos de probabilidade. Assim, o conjunto de dados de entrada e as relações especificadas no modelo irão gerar dados de saída deterministas	**Estocásticos:** A essência dos modelos de simulação estocásticos está nos dados de entrada aleatórios. Por consequência, os dados de saída também são aleatórios. É normal, nesse tipo de modelo, a presença de componentes probabilísticos
Variáveis dependentes	**Continua:** Acompanha continuamente a dinâmica no sistema ao longo do tempo, sem saltos discretos de um evento ao outro. Assim, na simulação contínua o tempo é quebrado em pequenos intervalos e o estado do sistema é avaliado de acordo com o que ocorre dentro de cada intervalo	**Discreta:** Cada evento ocorre em um determinado instante de tempo e marca uma mudança de estado no sistema. Entre eventos consecutivos, considera-se que o sistema não sofre mudança alguma, assim, a simulação pode saltar diretamente do instante de ocorrência de um evento para o próximo.

Fonte: (KELTON e LAW, 2000)

A partir dessa classificação, os modelos de simulação ainda podem ser desenvolvidos utilizando as seguintes abordagens de simulação:

- Simulação de Monte Carlo;
- Simulação Contínua;
- Simulação de Sistemas Dinâmicos;
- Simulação a Eventos Discreto;
- Simulação Baseada em Agentes.

Os modelos de simulação comumente utilizados para auxiliar a tomada de decisão em logística urbana preocupam-se em primeiro estimar os pontos de origem e destino das mercadorias, e com isso, calcular a rota ótima, considerando as condições de tráfego e, finalmente gerar os parâmetros de saída (ARNOLD *et al*., 2018; DURAND, MAHJOUB e SENKEL, 2013). Tal análise é estática, uma vez que apresenta um valor ótimo global para constantes de custo, demanda e fluxo de tráfego. Dessa forma, os impactos das medidas de logística urbana não são estimados para os vários agentes envolvidos. A Modelagem e Simulação Baseada em Agentes permitem incorporar o comportamento dos atores envolvidos e suas reações ante implantação de medidas e políticas públicas, permitindo analisar os efeitos ligados a sustentabilidade e aspectos econômicos e sociais (VAN KOLCK, 2010).

Nesta seção foram apresentadas as definições e classificações sobre os termos de simulação e modelagem. No entanto, a seção que segue trata a especificidade da tese em questão, que busca realizar uma modelagem e simulação baseada em agentes para o transporte urbano de cargas avaliando medidas para o *e-commerce*, dessa forma a literatura sobre MSBA nesta área é discutida a seguir.

2.5 Simulação Baseada em Agentes

De acordo com Taniguchi *et al*. (2012), a maioria dos modelos de logística urbana não consideram os interesses individuais de cada agente, adaptando os objetivos e perspectivas individuais para objetivos e perspectivas comuns. Dessa forma, os impactos das medidas da logística urbana não são estimados para os vários agentes envolvidos. Bons resultados têm sido alcançados ao se utilizar Modelagem e Simulação Baseadas em Agentes (do inglês *Agent-based simulation models* - ABSM) para avaliar o comportamento e reações dos atores urbanos ante implantação de políticas públicas. Esses modelos começaram a ser desenvolvidos nos últimos anos e geraram grande interesse na

área de logística urbana (DAVIDSSON *et al*., 2005; TANIGUCHI, THOMPSON e YAMADA, 2012b).

Por ser uma área de estudo relativamente nova quando comparada com a simulação à eventos discretos, infelizmente não há uma definição universal para agentes. Entretanto, sabe-se que os agentes apresentam autonomia, característica fundamental que difere a simulação baseada em agentes da simulação a eventos discretos. Embora essa diferença seja motivo de divergência a Tabela 2.2 compara as duas formas de simulação (SIEBERS *et al*., 2010).

Tabela 2.2 - Características que definem os tipos de modelo.

Modelo SED	**Modelo SBA**
Orientado à processo; foco é na modelagem do sistema como um todo	Baseado no indivíduo; foco é a modelagem das entidades e a interação entre elas
Abordagem de modelagem *top-down*	Abordagem de modelagem *bottom-up*
Entidades passivas e a inteligência é modelada a parte no sistema	Entidades ativas e a inteligência é representada individualmente
Filas são elementos-chave	Sem conceito de filas
Fluxo de entidade atravessando o sistema; comportamento macro é modelado	Sem conceito de fluxo; comportamento macro emerge do comportamento dos agentes individuais
Distribuições de entrada são frequentemente baseados em dados (objetivamente) coletados/medidos	Distribuições de entrada são frequentemente baseadas em dados teóricos e/ou subjetivos

(Fonte: (SIEBERS *et al*., 2010)

Para Macal e North, (2013), considerando o propósito de modelagem de sistemas reais, os agentes precisam ter algumas propriedades e atributos:

(i) **Modularidade**: todo agente é identificável unicamente com um conjunto de atributos, comportamentos e/ou capacidade decisória;

(ii) **Autonomia**: o funcionamento do agente é independente do restante dos demais elementos, outros agentes e o ambiente o qual ele está imerso;

(iii) **Sociabilidade:** agentes trocam informações entre si e com o ambiente, através de protocolos de comunicações e comportamento e

(iv) **Condicionalidade;** o estado de um agente varia conforme o tempo.

A Simulação Baseada em Agentes (SBA) pode ser separada em quatro categorias (Tabela 2.3), de acordo com a propriedade dos agentes(MACAL, 2016).

Tabela 2.3 -Definições para SBA baseada na propriedade dos agentes.

Tipo	Comportamento	Interações	Adaptabilidade
SBA individual	Prescrito	Limitadas	Não
SBA autônomo	Autônomo	Limitada	Não
SBA interativa	Autônomo	Entre outros agentes e o ambiente	Não
SBA adaptativa	Autônomo	Entre outros agentes e o ambiente	Agentes mudam o comportamento durante a simulação

Fonte: (MACAL, 2016)

O primeiro tipo de agente, o individual, apresenta menos complexidade. É a primeira evolução que os elementos entidade e recurso advindos da simulação a eventos discretos. Possui a capacidade de agir independentemente durante a simulação. Caso essa capacidade de agir seja feita de forma dinâmica, ou seja, de forma não-prescrita e observando as mudanças do ambiente, o agente será considerado autônomo (SENA, 2017).

Em uma situação em que há uma interação de um agente autônomo com os demais, o mesmo adentra na categoria de agente autônomo. Por fim, há a possibilidade do agente modificar o seu comportamento conforme ele vai aprendendo, alterando para que ele evolua para uma estrutura que aumente a possibilidade de êxito em relação ao objetivo pretendido. Ele também é conhecido como agente aprendiz (SHOHAM, POWERS e GRENAGER, 2007).

Os MSBA, quando utilizados para representar o comportamento de vários agentes dentro de um sistema, são comumente chamados de Sistema Multi-Agente (*Multi-Agent System* - MAS). De forma geral, o MAS considera a interação de cada agente com o seu ambiente, seguindo os seus comportamentos e objetivos pré-estabelecidos Figura 2.4. Um agente pode ser entendido como um sistema autônomo com um objetivo determinado, que opera assincronamente e, quando necessário, pode atuar de modo coordenado com outros agentes (FOX, BARBUCEANU e TEIGEN, 2000). Esses agentes têm como características a autonomia, a capacidade de perceber, raciocinar e agir em seu ambiente, bem como a habilidade de interagir socialmente e de se comunicar com a finalidade de realizar tarefas (HUHNS e SINGH, 1997)

Figura 2.4 -Representação do modelo multi-agente
Fonte:(WOOLDRIDGE, 2002)

De acordo com Luck *et al*. (2005), um MAS pode ser utilizado em dois paradigmas: como um sistema de decisão multi-agente ou como um sistema de simulação multi-agente. No primeiro, os agentes que participam do sistema devem tomar decisões conjuntas como um grupo. Essas decisões são tomadas a partir de em alguns mecanismos estabelecidos, que podem ser baseados no mercado e em fatores econômicos, como contratos e leilões, por exemplo (ROORDA *et al*., 2010). Já os sistemas de simulação multi-agente são utilizados para simular alguns domínios do mundo real. A simulação fornece uma saída de algum tipo especificado para auxiliar o processo de decisão do usuário. Neste caso, a decisão é realizada por uma pessoa, não pelo sistema de software. De acordo com Davidsson *et al*. (2005), esta última situação é um sistema de apoio à decisão (*Decision Support system* - DSS).

No que diz respeito ao transporte urbano de carga, existem vários interessados (varejista, transportadora, embarcador, cliente etc) que possuem objetivos diferentes perante a movimentação de mercadorias. Por esta razão, os trabalhos nesse contexto que utilizam MSBA são tratados como *Multi-Agent Systems* (ANAND, VAN DUIN e TAVASSZY, 2016; DAVIDSSON *et al.*, 2005) e, em geral, essa modelagem é utilizada para compreender e analisar a resposta dos diferentes agentes às medidas e políticas de frete (WANGAPISIT; TANIGUCHI; QURESHI, 2013).

Anand, Duin e Tavasszy, (2016) fornecem em seu estudo um *framework* para auxiliar a estudos que envolvem a modelagem baseada em agentes. Esse estudo dá continuidade ao estudo de Anand, Van Duin e Tavasszy (2014). Vallino, Maggi e Beretta (2019) utilizaram de MAS para avaliar políticas promovidas pelo município de Turim no

projeto europeu NOVELOG. Este projeto lida com políticas que pretendem desencadear comportamentos mais ecológicos nos varejistas durante o processo de abastecimento. O modelo é baseado na ideia de que o comportamento ecológico depende de características econômicas e sociais e sensibilidade ambiental individual. Os resultados mais eficazes são obtidos a partir de incentivos monetários para a compra de um veículo ecológico ou pela combinação de políticas de preço.

Elbert e Friedrich, (2018), Firdausiyah, Taniguchi e Qureshi, (2019) e van Heeswijk, Larsen e Larsen, (2019) utilizaram a MSBA para avaliar as entregas em Centros de Consolidação Urbana (CCU) por diferentes perspectivas. Elbert e Friedrich, (2018) avaliaram a implantação dos CCU segundo cenários que alternam políticas de restrição de veículos de cargas e segundo os autores quanto mais restritivos são os cenários mais atrativo passa a ser o uso CCU. Heeswijk, Larsen e Larsen (2019) realizaram uma SBA aplicada à cidade de Copenhague. Os autores testaram várias combinações de medidas, e apresentam quais fornecem condições favoráveis para melhorar as chances de sucesso a longo prazo do CCU estudado. Firdausiyah, Taniguchi e Qureshi, (2019) utilizaram o CCU como medida para o seu estudo, mas o foco central foi utilizar a Aprendizagem baseada em reforço em Programação dinâmica adaptável à simulação multi-agente, eles mostraram que esta técnica supera a *Q-learning* estudada por Teo, Taniguch e Qureshi (2014) no quesito modelar o comportamento dos agentes.

Marcucci *et al*. (2017) desenvolveram um modelo multi-agente para apoiar as decisões de TUC em um ambiente de zona de baixa emissão de poluentes, em Roma. Nesse modelo, as partes interessadas cooperam em um processo participativo de tomada de decisão, visando à construção de um consenso, através de um ciclo de reuniões onde as medidas políticas são discutidas e coletivamente deliberadas para equilibrar os interesses conflitantes. Cada simulação do modelo reproduz a decisão entre a situação atual e uma determinada política de frete urbano. Da mesma forma, Schroeder *et al*. (2012) avaliaram cenários variando diferentes iniciativas, onde os embarcadores e os prestadores de serviços de transporte são os agentes que, ao tomarem decisões conjuntas, conseguiram melhorar seus processos logísticos. Os autores apresentam os resultados para um exemplo teórico e representam o espaço urbano por meio de um GRID. Essa mesma abordagem de representação é adotada por Teo *et al*. (2012), para analisar a implantação de iniciativas e políticas públicas para o TUC que controlem a poluição gerada por caminhões. Segundo os autores, o pedágio urbano (*cordon-based*) trouxe

melhores resultados ao fornecer uma maior redução da poluição em comparação com a precificação baseada na distância.

A capacidade do MSBA de capturar a hetoregeineidade dos vários *stakeholders* da logística urbana e suas interações é destacada por Sopha *et al*. (2016). Em seu trabalho, a simulação multi-agente é utilizada para resolver o problema de roteamento dinâmico de veículos, simulando o problema para o caso da cidade de Yogyakarta. Fikar, Hirsch e Gronalt, (2018) utilizaram a SBA para avaliar o uso do uso de bicicletas de cargas para entregas em restaurantes. Os autores encontraram que o sucesso dessa inciativa depende de se ter um número alto de bicicletas ativas disponíveis e incorporar estratégias de consolidação para garantir entregas pontuais. Oliveira *et al*. (2017a) relatam como o uso de MSBA pode auxiliar os atores de frete urbano a tomar decisões em situações de inundações em locais da rede e, com isso, reduzir os impactos no transporte urbano de mercadorias. Wangapisit *et al*. (2014) investigaram sistemas de entrega conjunta e gerenciamento de estacionamento usando modelos multi-agentes e constataram que a restrição de estacionamento pode estimular os agentes a utilizarem mais centros de distribuição urbanos (*Urban Distribution Centers*- UDCs). Um resumo dos estudos que utilizam MSBA abordados neste trabalho é apresentado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Resumo dos trabalhos de simulação baseada em agentes revisados

Autores	**Aplicação**	**Problema tratado**	**Software**	**Tipo MAS**
(ANAND, VAN DUIN e TAVASSZY, 2016)	Genérico	Uma estrutura participativa de jogos de simulação	SMUrFS	Não realizaram
(ALHO *et al*., 2017)	Singapura	Várias medidas	SimMobility	Decisão
(ALVES *et al*., 2019b)	Brasil	Delivery Locker	Anylogic	Simulação
(BOUSSIER *et al*., 2011)	França	Vagas de estacionamento compartilhadas	VISSIN	Decisão
(OLIVEIRA *et al*., 2017b)	Brasil	Vulnerabilidade	Matsim	Simulação
(ELBERT e FRIEDRICH, 2018)	Alemanha	Centro de Consolidação Urbano	Anylogic	Simulação
(FIKAR,HIRSCH e GRONALT, 2018)	Áustria	Entregas de Bicicletas	Anylogic	Decisão
(FIRDAUSIYAH, TANIGUCHI e QURESHI, 2019)	Japão	Centro de Consolidação Urbano	Matlab	Decisão
(LIEDTKE,MATTEIS e WISETJINDAWAT, 2015)	Japão	Restrição de veículos pesados	Matsim	Decisão
(MARCUCCI *et al*., 2017b)	Roma	Meidas de restrições de circulação (*Limited Traffic zone*)	Netlogo	Decisão
(SCHROEDER *et al*., 2012)	Genérico	Várias medidas	Matsim	Decisão
(SOPHA, SIAGIAN eASIH, 2016)	Indonésia	Problema roteamento dinâmico de veículos	NetLogo	Simulação
(TEO,TANIGUCHI e QURESHI, 2012b)	Genérico	Pedágio Urbano Baseado na distância e cordon	Não especificado	Decisão
(VALLINO, MAGGI; e BERETTA, 2019)	Itália	Restrição de veículos pesados e Veículos Elétricos	NetLogo	Decisão
(VAN HEESWIJK, LARSEN e LARSEN, 2019)	Dinamarca	Centro de Consolidação Urbano	Não especificado	Decisão
(WANGAPISIT *et al*., 2014)	Genérico	Várias medidas	Não especificado	Decisão

A maior parte destes trabalhos da Tabela 2.4 utilizam MAS como um sistema de decisão multi-agente e analisam políticas que buscam de alguma forma restringir a circulação de veículos ou estudaram algum caso especifico como um CCU ou CDU. Nenhum desses trabalhos analisa os impactos da aplicação de CDPs no ambiente urbano por meio de MSBA, que é o foco desse trabalho. Para tanto, a MAS foi construída tendo como plataforma operacional o software Anylogic® para analisar políticas para o transporte urbano de cargas do comércio eletrônico.

2.6 Projeto de experimentos

Em um estudo de simulação, nem todas as variáveis de decisão tem igual influência na variável de resposta. Uma análise de sensibilidade pode ser realizada com o objetivo de selecionar as variáveis mais importantes daquelas que podem até mesmo ser eliminadas das análises mais detalhadas (MONTEVECHI, MIRANDA e FRIEND, 2012). Neste sentido, tem-se o Projeto de experimentos (DoE- do inglês *Design of Experiments*) que por definição é uma metodologia baseada em métodos estatísticos, cujo objetivo é a otimização do planejamento e execução de experimentos e análise de seus resultados, por meio da minimização e controle do erro experimental, ou seja, dos efeitos gerados por fatores não controláveis (RIBEIRO, 1999). O DoE possibilita a análise de dados por métodos estatísticos de maneira sistematizada levando a conclusões válidas e objetivas.

Por se tratar de um processo de planejamento de experimentos, o DoE faz com que seja possível estimar como os resultados ou respostas dos experimentos são afetados por mudanças pré-determinadas nos fatores de interesse (MONTGOMERY, 2001). O DoE permite avaliar os efeitos de múltiplos fatores em respostas de interesse, por meio de um estudo simultâneo desses fatores em diferentes níveis experimentais. Os autores ressaltam que como consequência do uso desta metodologia, tem-se a redução do tempo de análise dos resultados obtidos e dos custos envolvidos em todo o processo experimental (MONTGOMERY, 2001). Para que seja possível o uso da abordagem estatística no planejamento e análise de experimentos Segundo Montgomery (2001), é necessário seguir as seguintes etapas:

(i) Reconhecimento do problema;

(ii) Definição dos fatores e seus respectivos níveis;

(iii) Seleção das variáveis resposta;

(iv) Escolha do arranjo experimental;

(v) Realização dos experimentos e;

(vi) Por fim são utilizados métodos estatísticos para estimação dos efeitos dos fatores estudados, como por exemplo, a análise de variância (ANOVA) e análise de regressão e, em seguida, são interpretados e analisados os resultados e propostas melhorias.

2.7 Análise Bibliométrica

Uma análise bibliométrica foi realizada no dia 29/08/2019 com a finalidade de comprovar a contribuição científica da presente tese. Os termos pesquisados foram: "*Urban Logistics"*, "*City Logistics"* e "*Simulation"* ou "*Simulate".* As bases de dados consultadas foram*: Scopus* e *Web of Science*. As bases pesquisadas são consideradas importantes no meio acadêmico, uma vez que contém importantes periódicos multidisciplinares e reconhecidos internacionalmente (HERCULANO; NORBERTO, 2012). Os mesmos autores salientam a importância da base de dados *Scopus*, considerada a maior base de artigos e resumos. A Tabela 2.5 apresenta a quantidade de artigos encontrados nas bases utilizando os termos pesquisados.

Tabela 2.5 -Análise bibliométrica: número de trabalhos publicados

BASES	WOS	SCOPUS	**TOTAL**
TERMOS	*Simulation/Simulate*	*Simulation/Simulate*	
City Logistics/ Urban Logistics	98	125	223

Os 223 artigos completos publicados em periódicos, revisados por pares e escritos em inglês encontrados, foram avaliados, e destes foram excluídos 62 artigos redundantes. Logo, 161 artigos foram selecionados para a avaliação qualitativa. Nesta fase, leu-se título, *abstract*, objetivos, métodos, resultados e discussões dos 161 artigos, com o objetivo de filtrar ou excluir trabalhos que não guardavam relações com as questões chave de pesquisa. Após a avaliação da qualidade dos artigos, 136 foram selecionados para a extração dos dados. Nesta etapa da pesquisa os dados dos artigos foram extraídos e transportados para uma planilha eletrônica, a partir da codificação de termos chave das questões de pesquisa.

O propósito de realizar essa análise é elaborar um panorama sobre as pesquisas em Logística Urbana (LU) que utilizam a simulação, indicando desdobramentos e sinalizando tendências e relações de integração. Para a analisar essas relações e

tendências a partir das discussões presentes nos artigos amostrados, foram definidas seis questões de pesquisa:

Q1: Para que (objetivos) a simulação é usada na LU?

Q2: Quais técnicas e ferramentas são usadas na simulação em LU

Q3: Quais os principais temas abordados pelos artigos envolvendo a simulação em LU?

Q4: Quais os softwares mais utilizados no processo de Simulação?

Q5: A simulação é baseada em modelos genéricos ou modelos abstraídos de um caso real?

Q6: Qual o tipo de simulação usada nas aplicações em LU?

A Figura 2.5 apresenta a evolução ao longo dos anos no número de trabalhos sobre LU e *City Logistics* que envolvem simulação.

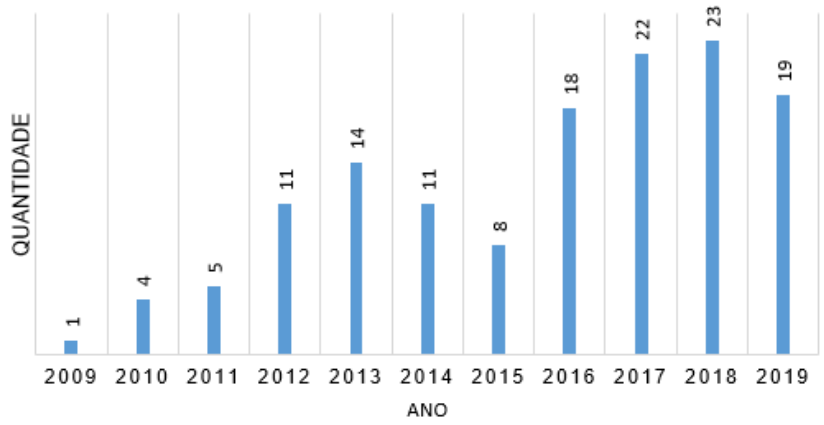


Figura 2.5- Artigos Publicados por Ano

De acordo com a Figura 2.5 houve um incremento substancial de publicações. Entre 2015 e 2019 foram produzidos 90 artigos, o equivalente a 66,2% de toda a publicação. Em apenas cinco anos o número de artigos atingiu mais da metade do total. Nos anos de 2009 e 2010 a produção foi incipiente, 05 trabalhos foram publicados (3,7%). Esse resultado pode ser explicado em parte, pela evolução do conceito de Logística Urbana e pelo interesse de pesquisadores em compreender o comportamento do transporte urbano de cargas utilizando ferramentas computacionais (FIORAVANTI e JUNIOR, 2019) ou melhorar o desempenho a partir da otimização (PERBOLI e ROSANO, 2019).

Há uma evolução substancial no número de publicações, denotando a importância da simulação para melhorar o processo decisório (FIKAR, HIRSCH e GRONALT, 2018)

ou reduzir a complexidade das atividades do Transporte Urbano de Cargas (TUC) (GAUDRON, TAMAYO e LA FORTELLE, 2019; KASZUBOWSKI, 2019). Existe o interesse da comunidade científica em explorar temáticas associadas à Logística urbana e Simulação.

Ao analisar para quais finalidades os pesquisadores buscam aplicar à Simulação em LU. Os objetivos dos artigos foram agrupados em categorias conforme indicado por Oliveira, Lima e Montevechi (2016), Sokolowski e Banks (2009) e Banks *et al*. (2010), adaptando-as para os fins desta pesquisa. Os objetivos foram transcritos, analisados e consolidados para se enquadrarem nos critérios dos autores citados. A Tabela 2.6 mostra a distribuição dos artigos de acordo com a categorização dos objetivos.

Tabela 2.6- Categorização dos objetivos.

Objetivos	Número de artigos	Percentual
Testar e avaliar novos cenários/projetos/modelos	68	50,0
Desenvolver jogos/simuladores	15	11,0
Prever resultados potenciais	15	11,0
Revisão	14	10,3
Subsidiar o processo decisório	9	6,6
Melhorar o desempenho de variáveis do modelo/sistema	8	5,9
Compreender e/ou diagnosticar problemas/sistema	3	2,2
Validar modelos e/ou experimentos	2	1,5
Usar a M&S para o ensino e educação	2	1,5
TOTAL	136	100,0

A partir da análise dos trabalhos, pode-se concluir que modelagem e simulação é utilizada principalmente para testar e avaliar novos cenários, desenvolver jogos/simuladores e prever resultados potenciais, representando estes objetivos junto com a revisão 72% do total dos trabalhos. Verifica-se que uma parte considerável dos trabalhos buscou conceituar e revisar o tema (ALHO *et al.*, 2014; ANAND, VAN DUIN e TAVASSZY, 2016; GOMEZ-MARIN *et al.*, 2019; GRULER, ARMAS e JUAN, 2016; KARAKIKES e NATHANAIL, 2017; MAGGI e VALLINO, 2016; NUZZOLO, COPPOLA e COMI, 2013; NUZZOLO, PERSIA e POLIMENI, 2018; PISKOREK, BARSKI e NOENNIG, 2015; RUSSO e COMI, 2012, 2016, 2011, TANIGUCHI, THOMPSON e YAMADA, 2010, 2012) representando 10,3% do total dos trabalhos.

Foram identificadas as principais técnicas e ferramentas usadas nos trabalhos analisados. Na maioria dos artigos, pode-se observar o uso de mais de uma ferramenta como a combinação de: *survey*, métodos de otimização e estudo de caso (PINTO, GOLINI e LAGORIO, 2016; SAETTA e CALDARELLI, 2016), framework e estudo de caso (ALHO *et al*., 2017) e micro-simulação de tráfego e estudo de caso (ALHO *et a*l.,

2016; BHUIYAN, AWASTHI e WANG, 2015; BOUSSIER *et al.*, 2011; MUÑUZURI *et al.*, 2013). As principais técnicas utilizadas foram o estudo de caso (33,8%), simulação de tráfego (25%), métodos de otimização (25%) e problema de roteamento de veículos (22,8%). Verifica-se ainda que são poucos os trabalhos (9,6%) que apresentam o uso completo da técnica de modelagem e simulação e incluem as etapas: de concepção ou formulação do modelo, implementação do modelo e análise dos resultados do modelo, como é proposta por Banks *et al.* (2010) e Chwif e Medina (2015).

Quanto aos principais temas centrais dos Artigos, 67,7% estudam com alguma medida de *City Logistics*, 9% buscam prever de algum modo a demanda, 6,1% realizaram alguma simulação de tráfego e 3,8% usam a simulação para estudar a interação dos *stakeholders* a maior parte dos artigos que tem o tema central a interação dos *stakeholders* tratam de revisar o tema (ANAND, VAN DUIN e TAVASSZY, 2016; MAGGI e VALLINO, 2016; NUZZOLO, PERSIA;e POLIMENI, 2018), apresentar uma nova forma de validação (ANAND *et al*., 2016) e usar a simulação para o ensino e educação (ANAND, VAN DUIN e TAVASSZY, 2014).

Como a maior parte dos trabalhos lidam com alguma medida de *City Logistics*, reuniu-se as que são mais estudadas na Figura 2.6. Na figura são apresentadas as medidas que obtiveram no mínimo três ocorrências.

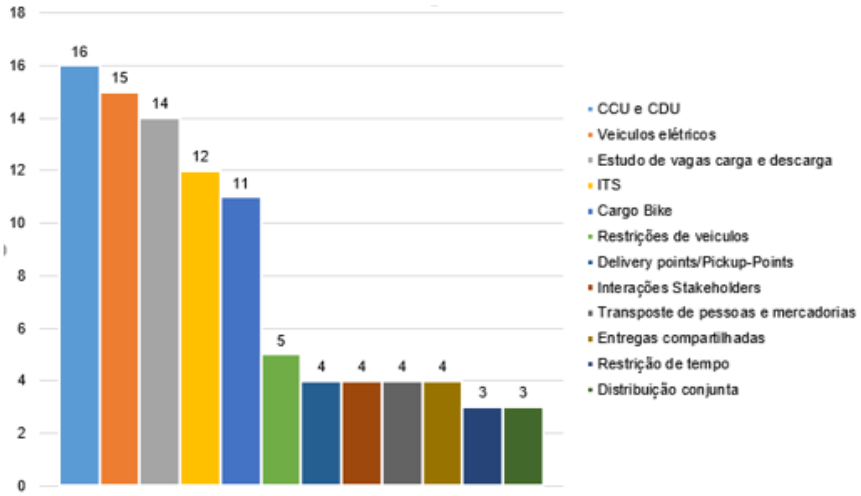


Figura 2.6 - Medidas de *City Logistics* que são temas centrais dos estudos.

Como visto, quatro trabalhos estudam a implantação dos DLs. Durand, Mahjoub e Senkel (2013) estudaram um sistema de entregas mistas B2C (*Business to Consumer)*[4]

[4]B2C é uma abreviação da expressão em inglês *Business to Consumer* ou em português, de Empresa para Consumidor, o B2C é uma operação comercial onde a venda de produtos, serviços ou informações é efetuada diretamente entre a empresa e o consumidor final ou cliente.

e B2B (*Business to Business)*[5] onde existe o uso dos DLs. No entanto, o objetivo central do trabalho foi avaliar um sistema de cooperação de entregas e não o impacto do uso dos *lockers*. Já Arnold *et al*. (2018), Kiousis, Nathanail e Karakikes (2019) e Alves *et al.* (2019b) avaliaram cenários com a implantação dos DLs, enquanto, Kiousis, Nathanail e Karakikes (2019) realizaram uma simulação microscópica dos fluxos de tráfego de mercadorias, Arnold *et al*. (2018) realizaram uma simulação estática e representaram o espaço urbano como um GRID. Alves *et al.* (2019b) consideraram as diferentes ações dos agentes envolvidos no transporte urbano de cargas face a implantação dos *Delivery Lockers* e tentativas de entrega com falhas. Este último trabalho apresenta os resultados iniciais desta tese.

Os *softwares* mais utilizados nos artigos são apresentados na Tabela 2.7. Na categoria "Não houve/Não deixa claro" (36.5%) estão os artigos que realizaram alguma revisão e não aplicaram a simulação e os que utilizaram *softwares* na simulação, entretanto, não foi possível identificá-los ou não foram citados pelos autores. Outros *softwares* (26,3%) representam a soma de todos os programas individuais de fabricantes diferentes e aqueles trabalhos que buscam desenvolver um *software* e/ou aplicativo.

Tabela 2.7 - Principais Softwares Utilizados

Softwares	**Número de artigos**	**Percentual**
Não houve/não deixa claro	49	36,0
Matlab®	15	11,0
Arena ®	8	5,9
AIMSUN®	5	3,7
VISSIM®	4	2,9
Anylogic®	4	2,9
Excel	4	2,9
Netlogo®	4	2,9
CLASS	3	2,2
CPLEX	3	2,2
MATsim®	3	2,2
C++	3	2,2
Outros	31	22,8
Total	136	100

O programa MATLAB® foi o mais utilizado, os trabalhos que fizeram uso desse software realizaram modelagens de caráter mais matemático. A maior parte dos trabalhos que utilizaram o MATLAB® realizaram algum tipo de otimização (FIRDAUSIYAH, TANIGUCHI e QURESHI, 2019; FU, CHEN e CHEN, 2014; LETNIK *et al.*, 2018;

[5] B2B é uma abreviação da expressão em inglês *business-to-business*, que em tradução livre significa algo como *"de empresa para empresa". São duas empresas que fazem negócios como cliente e fornecedor. Tal negócio pode ser produto ou serviço*

SHANG *et al.*, 2019; WANG, LIU e SHANG, 2013). O pacote comercial ARENA® segue em segundo lugar foi usado em 8 (5,9%) artigos. O Programa AIMSUN® é comumente utilizado para realizar micro-simulação de tráfego (ADITJANDRA *et al.*, 2016; ALHO *et al.*, 2016; MELO, MACEDO e BAPTISTA, 2019). O *software* MAtsim (LIEDTKE, MATTEIS e WISETJINDAWAT, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2017b; SCHROEDER *et al.*, 2012), Anylogic (ALVES *et al.*, 2019b; ELBERT e FRIEDRICH, 2018; FATNASSI, CHEBBI e CHAOUACHI, 2017; FIKAR, HIRSCH e GRONALT, 2018) e Netlogo (MARCUCCI *et al.*, 2017; SAETTA e CALDARELLI, 2016; SOPHA, SIAGIAN e ASIH, 2016) são softwares mais utilizados em estudos de SBA. Não se buscou comparar softwares, todavia, verificar os programas mais utilizados para simular a LU e quais são os softwares utilizados para realizar SBA.

Respondendo a quinta questão, buscou-se analisar se a simulação realizada nos trabalhos foi aplicada em casos reais na LU, como mostra a Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Aplicação da Simulação em Logística Urbana.

Aplicação	**Número de artigos**	**Percentual**
Modelo genérico caracterizado	52	38,2
Aplicação real	40	29,4
Modelo genérico	23	16,9
Não houve aplicação	21	15,4
Total	136	100,0

A maior parte dos artigos utilizaram de um modelo genérico caracterizado para realizar suas simulações. Esses trabalhos utilizam alguma caracterização real, como informações geográficas, porém não são embasados em dados reais. Isto é explicado devido à grande dificuldade de obtenção de dados e a complexidade de se realizar estudos reais em LU (ALVES *et al.*, 2019a). Os estudos que envolvem aplicações reais (29,4%) são mais específicos e não envolvem a LU como um todo e sim focados em resolver e compreender um problema específico (GONZALEZ-FELIU, 2018; HUANG, 2012; LEBEAU *et al.*, 2013; PINTO, GOLINI e LAGORIO, 2016; RABE, 2018; RINCÓN *et al.*, 2017; RUSSO, MUSOLINO e TRECOZZI, 2013). Em 15,4% dos artigos não houve aplicação, enquanto em 23 casos o modelo de simulação foi genérico.

A tipologia da simulação normalmente considera a natureza do sistema que se deseja modelar e simular. Pode-se observar que vários pesquisadores na área convergem quanto aos tipos de simulação (BANKS *et al.*, 2010; MACAL e NORTH, 2013; SARGENT, 2013; SOKOLOWSKI e BANKS, 2009). Assim, foram identificados os seguintes tipos de simulação: simulação a eventos discretos (SED), simulação estática

(SE), simulação a de trafego (ST), simulação dinâmica (SID), simulação de monte carlo (SMC), simulação baseada em agentes (SBA) e a simulação combinada (SCO), que pode mesclar a aplicação de dois ou mais métodos de simulação. A Tabela 2.9 ilustra os tipos de simulação, em percentuais, usados em LU.

Tabela 2.9 - Tipo da Simulação

Tipo de Simulação	Número de artigos	Percentual
Simulação estática (SE)	38	27,9
Simulação tráfego (ST)	34	25
Simulação baseada em agentes (SBA)	12	8,8
Simulação a eventos discretos (SED)	11	8,1
Simulação combinada (SCO)	8	5,9
Simulação de Monte Carlos (SMC)	7	5,1
Simulação dinâmica (SID)	5	3,7
Não houve/não deixa claro	21	15,4
Total	**136**	**100,0**

A simulação estática é o tipo de simulação mais utilizada (27,9%), a simulação de tráfego ocupa o segundo lugar representando 25% dos trabalhos. Todavia, constata-se que, nos últimos anos a SBA, vem se destacando na comunidade científica. Embora Taniguchi, Thompson e Yamada (2012) indiquem que a simulação baseada em agentes é uma técnica emergente, verifica-se apenas 12 artigos utilizaram a SBA (8,8%) sendo que destes 83,3% foram publicados nos últimos 5 anos. Mesmo que incipiente, pesquisas sobre agentes em LU parecem ser uma tendência emergente. Há situações em que a ST, SE e a SED não conseguem captar a dinâmica do evento ou tratar de forma adequada os agentes e as variáveis a eles associadas.

A maior parte dos trabalhos utilizam a simulação e modelagem baseada em agentes para analisar medidas que buscam de alguma forma restringir a circulação de veículos e/ou para um caso específico, sem analisar os impactos da aplicação dos *Delivery Lockers* no ambiente urbano.

Investigou-se os artigos que tratavam como tema central as entregas do *e-commerce* deixando livre o tipo de simulação. Embora o *e-commerce* seja tratado pelos pesquisadores da área de logística urbana como *trend* topic (tópico de tendência), ele ainda é pouco abordado em estudos de simulação. Dentre os 136 artigos avaliados, somente nove estudam esse tema (ALVES *et al.*, 2019b; ARNOLD *et al.*, 2018; CAGLIANO *et al*., 2014; CLEOPHAS e EHMKE, 2014; DURAND, MAHJOUB e SENKEL, 2013; KIOUSIS, NATHANAIL e KARAKIKES, 2019; TEO, TANIGUCHI e QURESHI, 2012; XIAO, JINGJING e TANG, 2013; ZISSIS, AKTAS e BOURLAKIS, 2018). Como citado anteriormente, somente os trabalhos de Durand, Mahjoub e Senkel

(2013), Arnold *et al*. (2018), Kiousis, Nathanail e Karakikes (2019) e Alves *et al.* (2019b) avaliam cenários com a implantação dos DL. Somente no estudo de Alves *et al.* (2019b) foi considerado os interesses de todos os *stakeholders* da logística urbana e o espaço urbano real.

Por meio da análise das principais bases de artigos acadêmicos foi possível constatar o caráter inédito da presente tese, que deixará como contribuição científica um modelo de simulação baseada em agentes para auxiliar a tomada de decisão. Com esse modelo, pretende-se analisar a implantação de *delivery lockers* e seu efeito para os diversos *stakeholders* do transporte urbano de cargas.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A classificação do método de pesquisa serve para orientar o pesquisador, bem como potencializar os resultados obtidos, tornando-os menos subjetivos e cientificamente aceitos. Dessa maneira, este capítulo classifica a presente pesquisa e descreve os procedimentos metodológicos adotados para alcançar os objetivos propostos neste estudo.

3.1 Classificação da pesquisa

A presente pesquisa é classificada quanto a sua natureza como aplicada, pois representa a busca de uma solução para um problema real, que é o transporte urbano de mercadorias do *e-commerce*, objetivando encontrar alternativas que traga melhorias para o ambiente urbano e seus *stakeholders* (MIGUEL, MORABITO e PUREZA, 2009). Quanto aos seus objetivos, é caracterizada como uma pesquisa normativa, propõe e analisa políticas e ações referenciadas na literatura para o transporte urbano de cargas do *e-commerce*, afim de apresentar uma solução para o problema estudado (BERTRAND e FRANSOO, 2002).

Em relação à abordagem do problema, classifica-se como quantitativa, uma vez que os dados de entrada e saída da simulação são representados de forma mensurável em dimensões pré-definidas. Por fim, o método utilizado para desenvolvimento dessa tese foi a modelagem e simulação, utilizando um ambiente computacional. Dentro do objetivo proposto neste trabalho é o método mais adequado, pois permite a análise da implantação dos *Delivery Lockers* para as entregas do *e-commerce*, por meio de cenários comparativos, sem que haja a necessidade de intervir no sistema real (BERTRAND e FRANSOO, 2002). A Figura 3.1 situa a pesquisa nas quatro classificações, conforme propõe Miguel, Morabito e Pureza (2009).

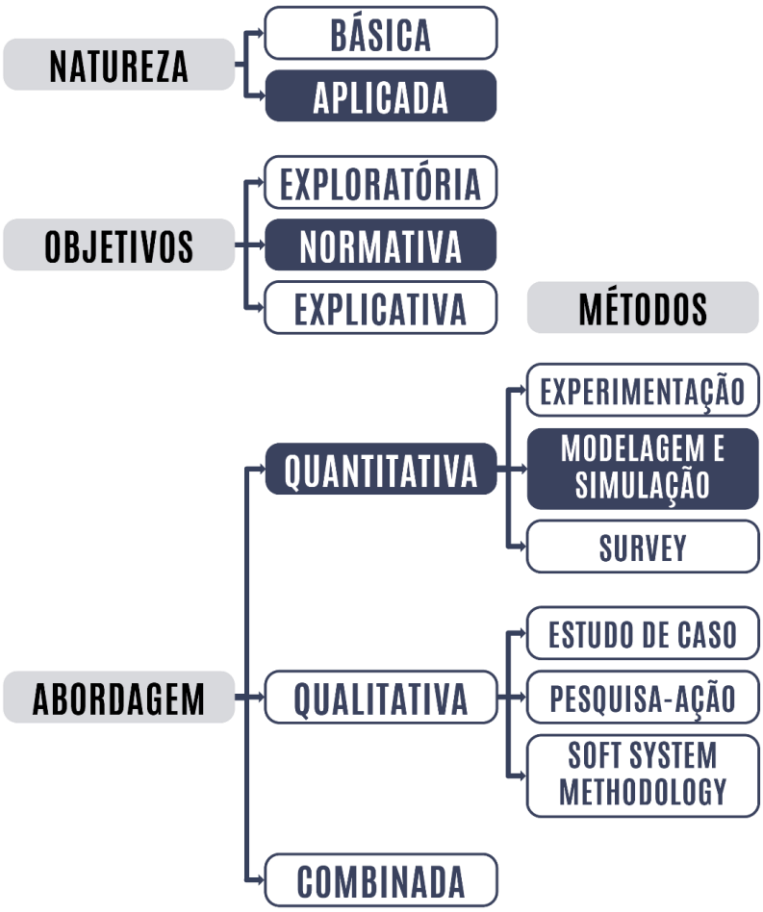


Figura 3.1 -Classificação da pesquisa
Fonte: Miguel, Morabito e Pureza (2009)

3.2 Etapas para a Modelagem e Simulação

A modelagem e simulação deste estudo segue estrutura proposta por Banks *et al.* (2010) e Chwif e Medina (2015) como apresentado na Figura 3.2. Essa estrutura compreende três etapas principais: concepção ou formulação do modelo, implementação do modelo e análise dos resultados. A primeira fase (ou etapa) permite entender o sistema a ser simulado e os seus objetivos, engloba a construção do modelo conceitual, validação de tal modelo, documentação e modelagem dos dados de entrada. A segunda fase consiste na construção, implementação e validação do modelo computacional. Já na fase de análise o modelo computacional está pronto para realização dos experimentos, nesta fase são efetuadas várias “rodadas” do modelo e os resultados da simulação são analisados e documentados.

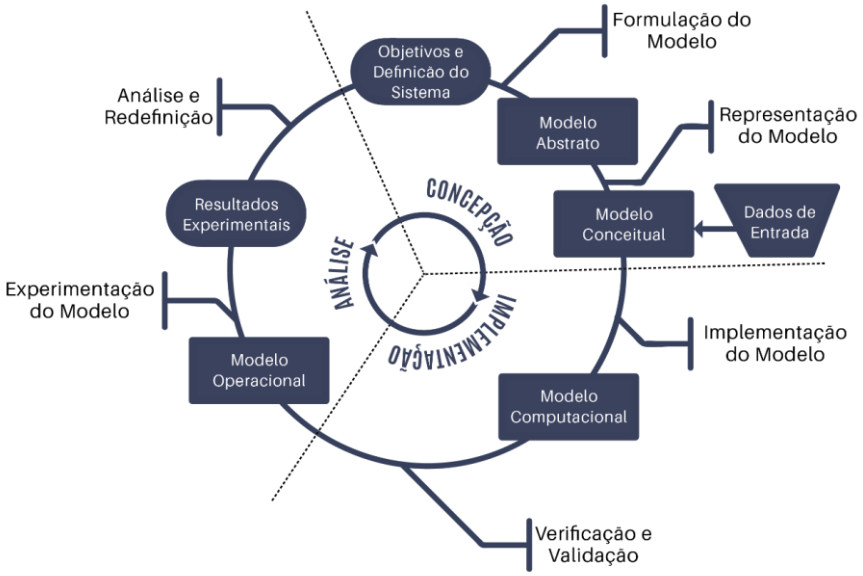


Figura 3.2 -Etapas do processo de modelagem e simulação.
Fonte: Chwif e Medina (2015)

O processo de modelagem inicia-se com a construção do modelo abstrato/conceitual. De acordo com Robinson (2011), a modelagem conceitual é uma descrição específica do modelo que será simulado, sem ainda desenvolver a programação do modelo em software específico. Esta modelagem descreve os objetivos, entradas, saídas, conteúdo, pressupostos e simplificações do modelo. As próximas secções abordam a etapa de concepção do modelo em sua base conceitual, e a construção e implementação do modelo computacional.

3.3 Concepção

Na etapa de concepção, o analista de simulação deve entender claramente o sistema a ser simulado e os seus objetivos, através da discussão do problema com especialistas. Ainda, questões como o nível de detalhe pretendido no modelo são discutidas. Logo após a definição do sistema e seus objetivos, parte-se para construção do modelo conceitual e, finalmente, a sua validação.

3.3.1 Objetivos e definição do sistema

Marcucci *et al*. (2017) afirmam que nem todas as medidas de c*ity logistics* são implementadas com sucesso. Isto se deve principalmente à falta de conhecimento dos tomadores de decisão locais em relação às diferentes operações logísticas (KEDIA, KUSUMASTUTI e NICHOLSON, 2017). Além disso, a heterogeneidade observada nas

preferências dos *stakeholders* reduz a chance de uma aceitação geral da medida. Diante disso, Taniguchi *et al*. (2012) enfatizam que modelos baseados em agentes são capazes de captar o comportamento dinâmico de ambos os interessados, bem como estudar e compreender quais são as suas respostas à diferentes políticas e medidas (DAVIDSSON *et al*., 2005).

Dessa forma, neste trabalho busca-se desenvolver um MSBA que represente o transporte urbano de mercadorias do *e-commerce*. Toda a modelagem será realizada baseada em ações e interações dos *stakeholders* do processo, que são representados como agentes na simulação.

3.3.2 Construção e documentação do modelo conceitual

Para a construção do modelo foram necessárias informações sobre o comportamento do agente que realiza uma ação, que geram então os outputs que permitem analisar os cenários. O modelo considera a interação dos quatro principais agentes envolvidos no processo de entregas de mercadorias do comércio eletrônico:

(i) Transportadora;

(ii) Loja do comércio eletrônico;

(iii) *Delivery lockers*;

(iv) Cliente.

A modelagem de cada agente é apresentada nas subseções a seguir.

3.3.3 Modelagem dos Agentes

Modelagem do Cliente e dos Delivery Lockers (DL)

A simulação é iniciada no momento em que os clientes realizam a compra. O modelo, separa-se os clientes em dois tipos diferentes, conforme as suas preferências de local de entrega, pois as ações executadas por eles são diferentes. O primeiro tipo de cliente é o que opta por receber a sua entrega à domicílio, este possui 1 estado no qual ele realiza a compra e aguarda o recebimento, entretanto a entrega só acontece se ele estiver em casa quando ele está ausente ele não recebe a mercadoria, no entanto dependendo do cenário simulado o a transportadora pode realizar mais duas tentativas de entrega, devido a política das três tentativas de entrega.

O segundo tipo de cliente é o que escolhe receber sua entrega nos *Delivery Lockers*, este por sua vez, possui 3 estados: (i) Realizando a compra, (ii) Movimentando a mercadoria e (iii) Retirando a compra no *Locker*. Primeiro, ele faz o pedido e escolhe

qual DL ele quer receber a sua mercadoria. Assumiu-se que o *Agente Cliente* prefere receber a sua mercadoria no DL mais próximo de sua casa, conforme sugerido em Iwan *et al*. (2016), Morganti *et al*., (2014a) e Kedia, Kusumastuti e Nicholson (2017). O software possui uma função chamada *"neareast agent"* que foi utilizada para identificar o DL mais próximo dos clientes. Após realizar essa escolha, o cliente fica aguardando a entrega do seu pedido, quando o pedido é entregue no DL ele recebe então uma mensagem de "Pedido Entregue" enviada pelo *Agente Caminhão*. O cliente então se desloca até o DL para retirar o seu pedido, e então retorna para casa. O software separa os dois tipos de clientes aleatoriamente respeitando o parâmetro de entrada adotado.

Quando o pedido do *Agente Cliente* que opta por receber à domicílio não é entregue, existem situações nas quais ele pode retirar o pedido no Centro de Distribuição (CD) da transportadora do *e-commerce* ou no *Delivery Locker* mais próximo. Nessa situação acrescenta-se dois estados ao diagrama de estado deste cliente, que seria o Coletando Pedido não entregue e Retornando para Casa. Os *Delivery Lockers* por sua vez possuem no modelo dois parâmetros que são, a localização e os clientes com seus pedidos que serão entregues. A representação gráfica da modelagem do cliente pode ser observada na Figura 3.3.

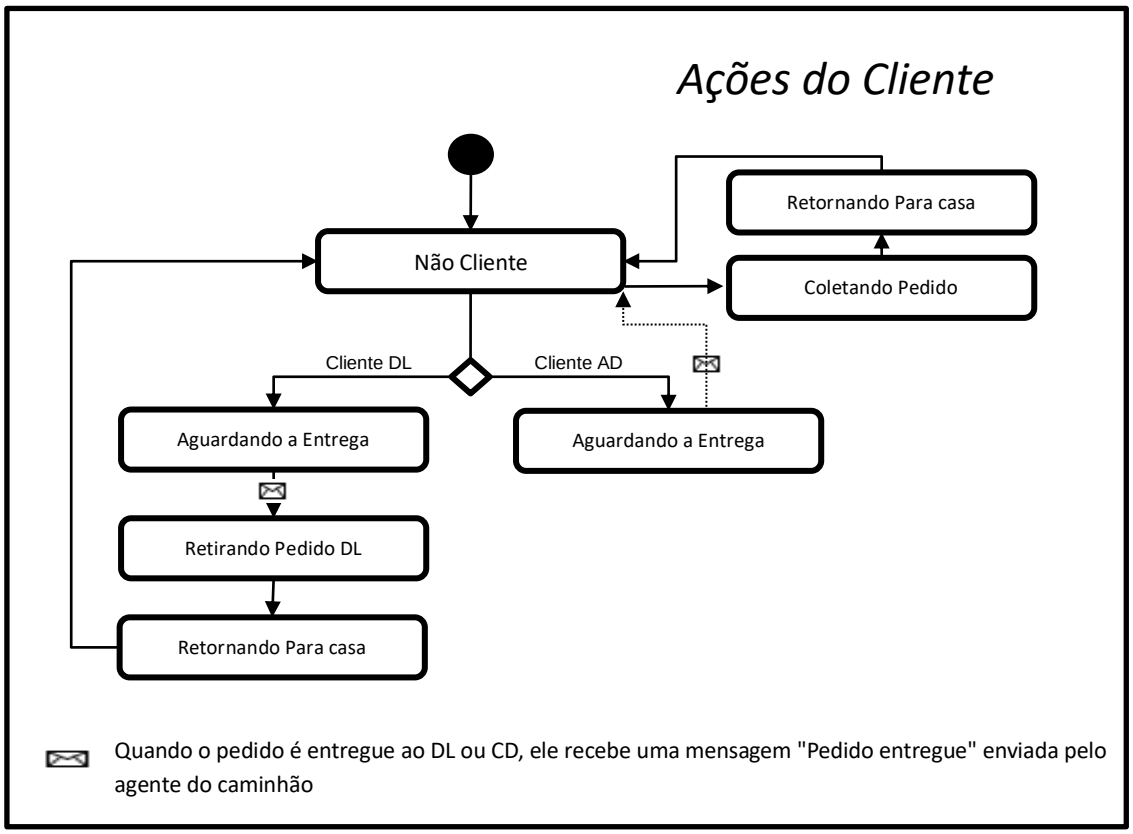


Figura 3.3 - Diagrama de estado Agente Cliente.

Os DLs no modelo interagem com a transportadora e com os clientes, que entregam e recebem os pedidos nestes locais. Os DLs são um tipo de Agente inanimado que possuem apenas uma localização. O objetivo deste agente é hospedar o maior número de pedidos possíveis e aumentar o seu ganho.

Pedidos e modelagem da Loja

Os pedidos são recebidos e gerenciados pelo *Agente Loja*. Cada pedido possui um determinado volume e peso e um endereço, que depende da escolha do cliente: pode ser sua casa ou o DL. Assim que os pedidos vão sendo realizados, a loja inicia o processo de formação da carga, (a carga neste modelo contém uma coleção de pedidos). Este processo obedece à dois fatores: a capacidade do caminhão e o tempo. O tempo refere-se a quantos dias um cliente espera para receber o seu pedido e foi utilizado o tempo médio informado pelo Ebit (2019). Assim que um desses fatores é atendido, uma carga é enviada para a transportadora. O *Agente Loja* ainda utiliza uma heurística para montar a carga, ou seja, os pedidos são separados em uma carga de acordo com a proximidade dos clientes e o agente ainda separa em uma mesma carga os pedidos referentes ao mesmo DL. Consequentemente, essa heurística melhora a rota realizada pelo caminhão. Os pedidos não entregues têm prioridade perante os outros pedidos e são alocados na carga do dia seguinte para o reenvio, pois obedecem a política das três tentativas. O diagrama de estado do processo descrito está representado na Figura 3.4.

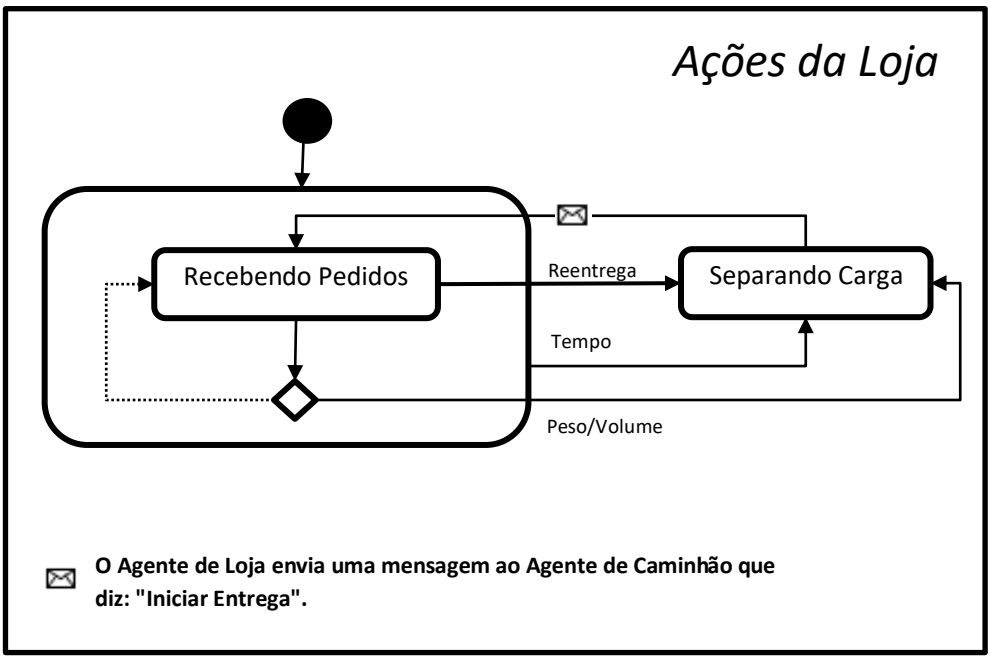


Figura 3.4 - Diagrama de estado do Agente Loja.

Transportadora

A transportadora gerencia um número específico de caminhões para realizar a entrega da loja. E possui um centro de distribuição próximo a região de entrega que é a origem e destino final da rota dos caminhões. O processo de modelagem foi realizado a partir das ações do caminhão, que inicia a simulação no centro de distribuição aguardando a formação da carga. Se existe uma carga, o *Agente Loja* envia a mensagem "Iniciar Entrega" para o *Agente Caminhão*.

A rota do caminhão segue o princípio do algoritmo do vizinho mais próximo. O caminhão deve sair do ponto de partida v_i e encontrar sempre o nó mais próximo v_k que ainda não foi visitado. Continua-se assim até que todos os nós tenham sido visitados e, por fim, retorna-se ao ponto de partida v_k (BODIN, 1983). O ponto de partida neste modelo é o centro de distribuição (CD) da transportadora, ao sair do CD o Agente Caminhão faz uma lista de destinos, pois, como citado, os pedidos são entregues tanto na casa dos clientes como em pontos de DL. A partir desta lista, o algoritmo identifica qual o destino que está mais próximo e se desloca até ele. Na situação em que o destino mais próximo é um ponto de DL o *Agente Caminhão* verifica entre os outros pedidos da carga se existe outro com este mesmo destino e então descarrega e distribui todos os pedidos nos armários. Após esse processo ele envia uma mensagem de "Pedido Entregue" ao *Agente Cliente* para que ele possa retirar seu pedido. Já quando o destino é a casa do *Agente Cliente*, se o cliente estiver em casa o pedido é entregue; se o cliente estiver ausente o pedido retorna ao CD para uma posterior tentativa de entrega ou retirada do cliente. Quando acontece uma falha na entrega o caminhão também pode entregar o pedido em um local alternativo, como por exemplo: um *Delivery Locker* mais próximo.

Os tempos de entrega incluem tempo de parada do caminhão e descarregamento. No caso do DL, o tempo de descarregamento é função do número de pedidos entregues. Quando ocorre uma falha na entrega o único tempo contado é o de parada. Por fim, após percorrer a sua rota, o *Agente Caminhão* retorna ao CD, e aguarda até que outra carga seja enviada a ele. Todo o processo de entrega realizado pelo caminhão está representado na Figura 3.5.

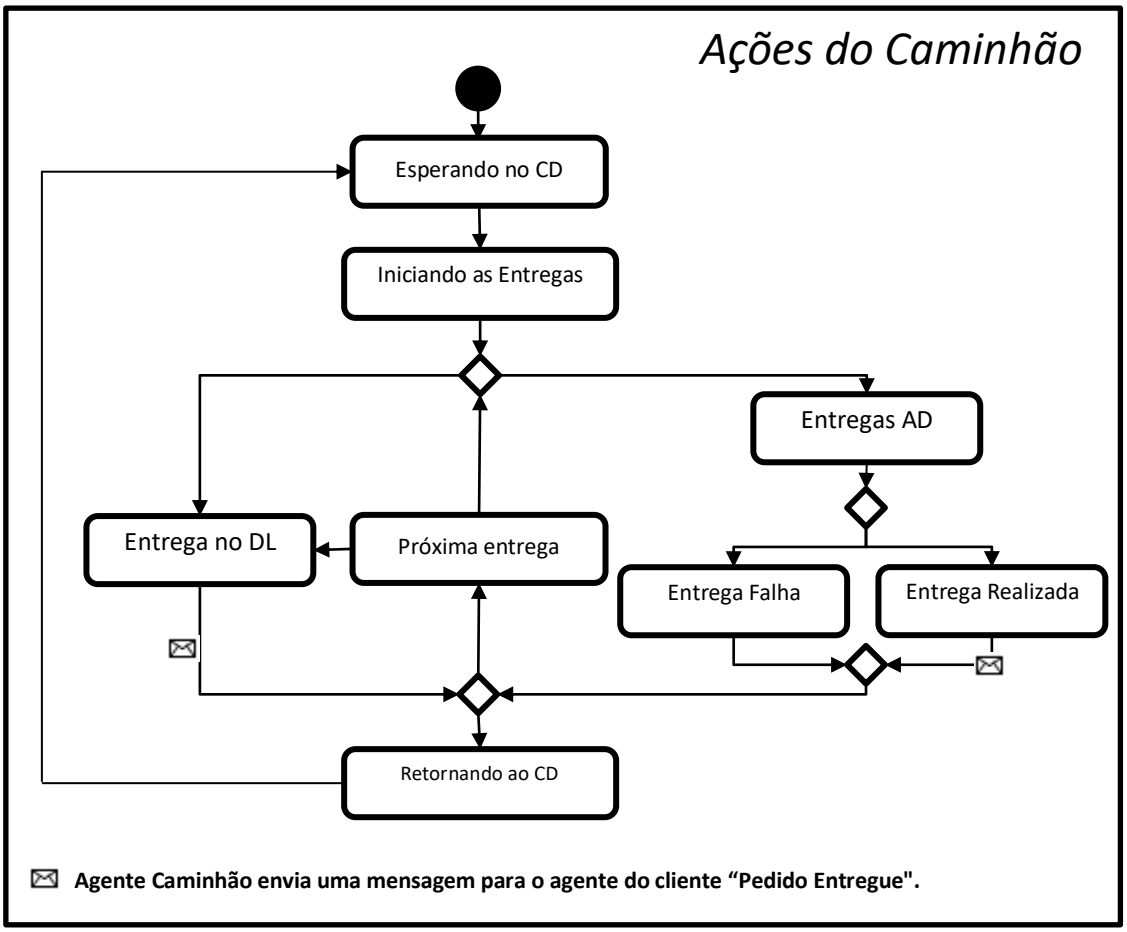


Figura 3.5 -Diagrama de estado do Agente Caminhão

As interações comentadas acima são ilustradas na Figura 3.6, e a Figura 3.7, apresenta o resumo dos objetivos e comportamentos dos agentes.

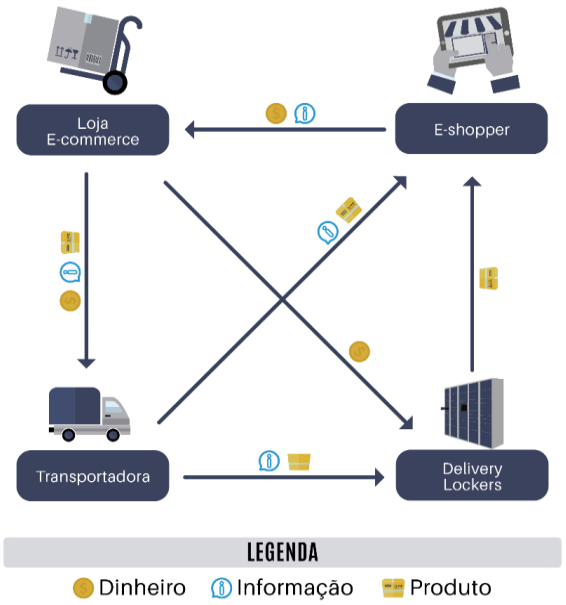


Figura 3.6 -Interações entre os agentes do modelo proposto.

	OBJETIVO	COMPORTAMENTO
TRANSPORTADORA	Completar o seu roteiro de entregas para atender a demanda diária com o minimo de quilômetros percorridos.	Tomar decisões sobre a rota e reentrega e fornecer informações aos clientes sobre suas encomendas.
LOJA E-COMMERCE	Melhorar o seu nível de serviço, com maior número de entregas realizadas.	Realiza a venda e gerencia as cargas.
DELIVERY LOCKERS	Maximizar o uso de Delivery Locker se atrair consumidores as lojas que estão instalados.	Realiza a venda e gerencia as cargas.
CLIENTES	Receber as suas encomendas e percorrer menor distância para buscá-las.	Capacidade de escolher local de entregas e de movimentar para retirar pedidos.

Figura 3.7 -Objetivo e comportamento dos Agentes

3.3.4 Validação do modelo conceitual

Sargent (2013) explica que a validação é a determinação de que as teorias e suposições presentes no modelo conceitual estão corretas e que a representação da entidade problema é razoável para a finalidade do modelo. O autor apresenta três métodos de validação, sendo eles validação *face-a-face*, passo a passo estruturado e acompanhamento. Dentre estes optou-se por utilizar da validação *face-a-face*: Segundo Maciel (2013), a validação “face a face” é uma das técnicas mais utilizadas para esse fim, devido sua ampla aplicação encontrada na literatura, sua aplicação em vários trabalhos confirmam esta afirmação (BARBIERI, 2016; GONÇALVES; *et al.*, 2019; LOPES e LIMA, 2017; SENA, 2017). Nessa técnica, o modelo conceitual é apresentado para especialistas que detêm um nível de conhecimento sobre o sistema modelado. Esses especialistas têm o papel de determinar se o modelo conceitual e/ou o seu comportamento é coerente com a realidade.

O modelo conceitual construído nesta tese foi apresentado a um grupo de especialistas da área de transporte urbano, dentre eles pesquisadores e responsáveis pelos processos de entrega e roteirização em transportadoras do *e-commerce*. Esses especialistas avaliaram se as ações e interações de cada agente que foram modeladas estão coerentes com a realidade. O modelo foi discutido em um primeiro momento e passou

por duas rodadas de adequação. O modelo conceitual final apresentado, segundo estes especialistas representa de maneira adequada o sistema estudado.

Após validado o modelo conceitual, a próxima fase é a implementação que compõe-se pelos passos: Construção do Modelo Computacional, Verificação e Validação do Modelo Computacional.

3.3.5 Construção do Modelo de Simulação

Com o modelo conceitual construído passou-se para a implementação deste em ambiente computacional. O modelo computacional foi desenvolvido e implementado no software Anylogic®. Como visto, na revisão este software está entre os softwares mais utilizados nos estudos de MSBA em logística urbana (ALVES *et al.*, 2019b; ELBERT e FRIEDRICH, 2018; FATNASSI, CHEBBI e CHAOUACHI, 2017; FIKAR, HIRSCH e GRONALT, 2018). E para o caso estudado se torna muito útil por ter a além da funcionalidade de MSBA um mapa com Sistema de Informação Geográfica (SIG- também conhecido como GIS, acrónimo inglês de *Geographic Information System*). A Figura 3.8 apresenta a tela do ambiente de simulação GIS.

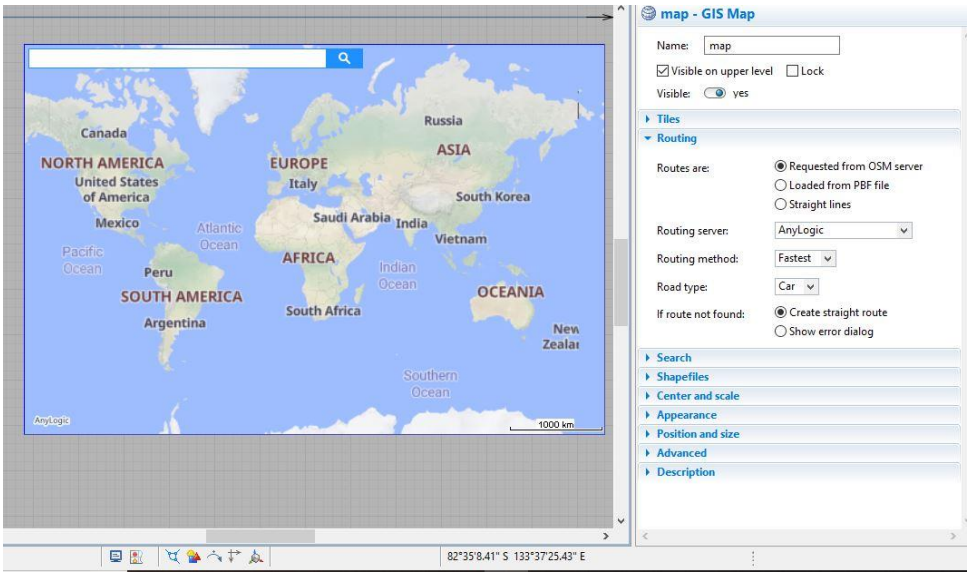


Figura 3.8 -Ambiente de simulação

A forma do mapa GIS permite que a simulação contenha os dados do ambiente georreferenciados e, ainda, é capaz de inserir agentes neste meio, onde pode-se recuperar sempre que necessário a localização no mapa de um agente, mover o agente com a velocidade especificada de um local para outro ao longo das rotas existentes (ANYLOGIC, 2018).

A implementação é baseada no *OpenMap*, que é um kit de ferramentas de visualização geo-espacial. Uma das principais funcionalidades do *OpenMap* é poder localizar seus componentes no mapa. No *OpenMap*, as projeções são componentes que lidam com as traduções entre coordenadas de latitude e longitude e locais de tela (ANYLOGIC, 2018). No modelo computacional implementado, os DLs e o CD possuem uma localização fixa no mapa. O agente cliente é alocado aleatoriamente e possui a capacidade de escolher uma rota e se movimentar, assim como os caminhões. Os elementos do software além do Mapa GIS utilizados para modelar computacionalmente os agentes estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Elementos utilizados na simulação baseada em agentes

ILUSTRAÇÃO	NOME	FUNÇÃO
	Agente	Tem a capacidade de representar diversos componentes presentes em sistemas reais através de atributos e comportamentos
	Parâmetro	Utilizados para representar algumas características do objeto modelado.
	Variável	Geralmente são usadas para armazenar os resultados da simulação do modelo ou modelar algumas unidades de dados ou características do objeto, mudando com o tempo.
	Coleção	Representa um grupo de objetos, são usadas para definir objetos de dados que agrupam vários elementos em uma única unidade.
	Função	Retornará o valor de uma expressão toda vez que o usuário a chamar do modelo.
	Schedule	É um elemento especial que permite definir como alguns valores mudam no tempo de acordo com o padrão definido (opcionalmente cíclico).
	Evento	É a maneira mais simples de agendar alguma ação no modelo.
	Indicador de estado inicial	Usado para indicar o estado inicial de um diagrama de estado.
	Estado	O estado representa um local de controle com um conjunto particular de reações a condições e / ou eventos.
	Transição	Uma transição denota um comutador de um estado para outro. Uma transição indica que, se o evento de disparo especificado ocorrer e a condição de proteção especificada for verdadeira, o diagrama de estado alternará de um estado para outro e executará a ação especificada.
	Ponto de entrada	Aponta para o estado inicial dentro de um estado composto.
	Branch	Representa uma ramificação de transição e / ou um ponto de conexão. Usando ramificações, você pode criar uma transição que tenha mais de um estado de destino, bem como várias transições que se mesclam para executar uma ação comum.

Considerando que os agentes sigam as mesmas regras (interações e ações) modeladas, o modelo desenvolvido pode ser utilizado em qualquer região ou cidade, pois a região GIS pode ser facilmente alterada, assim como os parâmetros de entrada que suportam o modelo (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Parâmetros de entrada do modelo computacional

Agente	**Parâmetros**
Cliente	Número de pedidos por ano
	Localização (latitude e longitude)
	% Clientes que recebem pedidos casa
	% Clientes que escolhem receber nos DL
	Tempo de espera para receber pedidos
Pedido	Quantidade de pedidos por dia
	Volume
	Peso
	Endereço de entrega: Casa ou DL
	% de pedidos não entregues na 1 tentativa
	% de pedidos não entregues na 2 tentativa
	% de pedidos não entregues na 3 tentativa
Delivery Lockers	Localização (latitude e longitude)
	Número de Clientes
Transportadora	Quantidade de caminhões
	Tempo de parada
	Tempo de descarregamento cliente Casa
	Tempo de descarregamento cliente DL
	Carga associada
	Velocidade média caminhões
	Capacidade dos caminhões

Os valores determinísticos ou estocásticos dos parâmetros podem ser definidos de acordo com a situação que se pretende simular.

3.3.6 Verificação e Validação do Modelo de Simulação

A verificação do modelo computacional é um processo que consiste em assegurar que a implementação e a programação computacional foram aplicadas corretamente a partir do modelo conceitual. O processo de verificação foi efetuado em duas etapas como utilizado por Barbieri (2016) e sugerido em Banks *et al.* (2010). Primeiramente, comparou-se a lógica e os elementos do modelo computacional com a lógica e os elementos do modelo conceitual validado. Após essa comparação, a segunda etapa foi executada utilizando o *debugger build model*[6] no software Anylogic®.

Durante esse processo de verificação, foram localizados os erros e corrigidos. A maior parte desses erros estava relacionada com o uso errado da linguagem de

[6]É uma funcionalidade do software Anylogic® que auxilia na localização e depuração dos erros

programação JAVA. A verificação foi finalizada no momento em que erros estruturais e lógicos não foram mais identificados no modelo computacional construído.

Com o modelo computacional verificado, iniciou-se a fase de validação. Um MSBA é utilizado para simular as ações e interações de entidades com o objetivo de avaliar seus efeitos no sistema como um todo. Em um nível abstrato, um modelo baseado em agentes (MBA) é uma representação simples dos agentes e das interações entre eles. A tomada de decisão dos agentes é baseada em regras atribuídas a eles. Em um MBA, o resultado do modelo é o resultado de decisões internas e pode diferir diante de uma alteração no caminho de decisão.

Neste sentido, pode-se dizer que são o conjunto de regras embutidas em cada agente e seu comportamento modelado para tomar uma "determinada ação" em uma "determinada situação", que são verdadeiramente responsáveis pela saída do modelo e, portanto, não podem ser ignorados durante a validação de MBAs.

Anand *et al. (*2016) explicam que embora o alto grau de complexidade que se pode representar seja um dos grandes diferenciais de um MSBA, esta mesma complexidade não garante que cada execução de simulação siga a mesma sequência, levando ao conflito na saída final e tornando o conceito de validação diferente do que em um experimento bem controlado. Dessa forma, os autores revelam que procedimentos comumente utilizados de validação estatística não funcionem adequadamente nesse tipo de simulação e sugere que mecanismos de validação como *face a face* podem trazer bons resultados.

A validação *face a face* é uma técnica de validação amplamente utilizada e sugerida por Sargent (2013). Assim como na validação do modelo conceitual (garantir que o modelo represente satisfatoriamente o sistema simulado), foi utilizada a técnica de validação *face a face* para validar os resultados encontrados computacionalmente. De acordo com Chwif e Medina (2015), neste processo o analista (pessoa que construiu o modelo) discutirá com quem realmente entende do processo que foi simulado.

Neste processo, inicialmente apresentou-se a animação da simulação e os resultados obtidos aos gestores de duas transportadoras do *e-commerce*. Esses gestores são responsáveis pelo processo de formação de roteiros e programação das entregas. Mesmo se tratando de empresas distintas, pode-se observar que os processos são muito próximos e correspondem aos resultados encontrados no modelo computacional. Por se tratar de MSBA, foi apresentado a estes gestores as ações e interações com os demais agentes para verificar se estas estavam condizentes com a realidade. A partir da observação, principalmente da animação, eles puderam afirmar que as ações e interações

dos agentes estão condizentes com o que é de fato realizado no dia-a-dia das transportadoras.

A validação dos cenários onde existem a implantação dos DL foi discutida com o gestor de uma transportadora que participa do teste desta iniciativa em São Paulo e no Rio de Janeiro. Segundo ele, o processo de entregas no *Lockers* está bem representado no modelo, pois não remete grandes mudanças de construção. Somente a consolidação da carga que está sendo realizada de forma correta pelos Agentes.

Após validado o modelo, foi realizada a análise do número de replicações e tempo de simulação que serão utilizados em cada experimento. Para isso, foi analisado a combinação de 3, 5, 10 e 15 e replicações para 15, 30, 180 e 365 dias. A Tabela 3.3 apresenta a média das replicações, desvio padrão e coeficiente de variação

Tabela 3.3 - Análise do Número de Replicações

	σ	$\bar{x}$	CV	σ	$\bar{x}$	CV	σ	$\bar{x}$	CV	σ	$\bar{x}$	CV
N° Replicações		**3**			**5**			**10**			**15**	
15 Dias												
Distância Caminhão(km)	35.3	778.7	**4.5**	37.9	784.5	**4.8**	34.6	775.9	**4.5**	38.7	768.6	**5**
Tempo Viagem(min)	10.5	338	**3.1**	8.3	338.8	**2.5**	6.4	336.8	**1.9**	6.4	336.3	**1.9**
N° de Carga	0.6	32.7	**1.8**	0.4	32.8	**1.4**	0.3	32.9	**1**	0.3	32.8	**1**
Pedido/carga	0.6	39.7	**1.5**	0.5	39.4	**1.4**	0.5	39.3	**1.2**	0.5	39.3	**1.2**
Distância Cliente(km)	0.1	2.2	**3.7**	0.1	2.2	**3.3**	0.1	2.2	**3**	0.1	2.2	**3**
Total Pedidos	19.16	1293	**1.48**	14.76	1297	**1.14**	10.29	1300	**0.79**	10.29	1295	**0.79**
30 Dias												
Distância Caminhão(km)	63.79	1536.9	**4.15**	77.07	1513.9	**5.09**	59.96	1531.6	**3.91**	55.88	1536.2	**3.64**
Tempo Viagem(min)	0.08	5.55	**1.47**	0.08	5.55	**1.47**	0.09	5.58	**1.59**	0.09	5.59	**1.56**
N° de Carga	0.58	66.33	**0.87**	0.58	66	**0.87**	0.47	66	**0.71**	0.38	66	**0.57**
Pedido/carga	0	39	**0**	0	39.2	**0**	0.42	39.2	**1.08**	0.49	39.33	**1.24**
Distância Cliente(km)	0.05	2.16	**2.29**	0.05	2.22	**2.23**	0.11	2.18	**4.92**	0.09	2.19	**4.28**
Total Pedidos	23.25	2618	**0.89**	23.25	2604	**0.89**	17.82	2605	**0.68**	14.74	2607	**0.57**
180 Dias												
Distância Caminhão(km)	462.8	9315.1	**4.97**	394.9	9472.8	**4.17**	309.6	9549.5	**3.24**	297.7	9518.7	**3.13**
Tempo Viagem(min)	0.08	5.55	**1.4**	0.07	5.58	**1.24**	0.06	5.6	**1.07**	0.07	5.59	**1.19**
N° de Carga	1	407	**0.25**	0.84	407.2	**0.21**	0.82	407.3	**0.2**	0.8	407.07	**0.2**
Pedido/carga	0	39	**0**	0	39	**0**	0	39	**0**	0	39	**0**
Distância Cliente(km)	0.09	2.16	**3.96**	0.08	2.19	**3.77**	0.07	2.2	**3.35**	0.08	2.2	**3.56**
Total Pedidos	34.43	16042	**0.21**	26.07	16048	**0.16**	27.85	16043	**0.17**	30.46	16032	**0.19**
365 Dias												
Distância Caminhão(km)	628.61	19198.7	**3.27**	612.14	19048.7	**3.21**	635.45	18911.5	**3.36**	636.1	18958.9	**3.36**
Tempo Viagem(min)	0.06	5.62	**0.98**	0.06	5.6	**1.13**	0.06	5.58	**1.11**	0.06	5.59	**1.1**
N° de Carga	0.58	813.33	**0.07**	1.14	812.6	**0.14**	1.07	812.6	**0.13**	1.1	812.93	**0.14**
Pedido/carga	0	39	**0**	0	39	**0**	0	39	**0**	0	39	**0**
Distância Cliente(km)	0.08	2.24	**3.37**	0.06	2.26	**2.58**	0.1	2.21	**4.51**	0.1	2.19	**4.46**
Total Pedidos	34.99	32059	**0.11**	46.13	32034	**0.14**	38.7	32035	**0.12**	38.48	32041	**0.12**

σ : desvio padrão

$\bar{x}$: média aritmética

CV: coeficiente de variação

-

Como observado na Tabela 3.3 as variações entre as replicações são pequenas, principalmente nos cenários que simulam 365 dias. Como pode-se verificar para a distância do caminhão, o coeficiente de variação com 3 replicações é 3,27% e quando se realiza 15 replicações passa a ser 3,36%, uma diferença de 0,11%; Nos experimentos que simulam 365 dias não se verificam grandes variações entre 3, 5, 10 e 15 replicações. Desse modo, optou-se por utilizar o tempo de 365 dias e 3 replicações para rodar os cenários. Além da análise estatística das replicações, um fator determinante para escolha do número de replicações foi o tempo de execução do modelo, que foi de 12 horas para uma replicação de 365 dias, por exemplo, ficando inviável computacionalmente executar um número muito alto de replicações.

3.3.7 Análise de custos

A fim de se obter resultados globais comparáveis para cada cenário, foram analisados os resultados encontrados na simulação para cada agente, em termos de custos e ganhos obtidos em cada cenário. Os custos e ganhos calculados foram

- Custo com combustível,
- Custo com tempo,
- Custos externos,
- Custo de reentrega e
- Ganho por hospedagem de pedido.

O custo com combustível (C_c) foi obtido conforme a Equação 3.1. A partir do consumo de combustível (C) por veículo, preço do combustível e a distância percorrida (D).

$$C_c = C \times p \times D \tag{3.1}$$

A definição do valor monetário de tempo de acordo com Oliveira et al. (2017b), é controversa. Entretanto, para uma base comum de análise utilizou-se a adaptação da formulação proposta em ANTP (1999), conforme a Equação 3.2.

$$C_T = \frac{w \times ES \times FA \times HP}{y_w} \times t_v \times n_v \tag{3.2}$$

em que:

C_T= Custo total do tempo de viagem;

w = Renda média mensal dos transportadores;

ES = Encargos sociais de 95,02% (1,9502);

FA = Possibilidade de uso alternativo do tempo (0,3);

HP = Percentual de uso produtivo do tempo do transportador;

yw = Número de minutos de trabalho por mês;

tv = Tempo de viagem do transportador (min).

Nv = Número de viagens realizadas

Como custos externos(C_E) (Equação 3.3), considerou-se as externalidades causadas pelos veículos de entrega e por viagens do cliente. Como a quantificação exata dos custos correspondentes ainda está em discussão na literatura, optou-se pelas externalidades que mais recebem atenção, como emissão, ruído e congestionamento. Escolheu-se os valores de custo correspondentes com base nos cálculos em Cardenas *et al*. (2017) e COMMISSION (2014) .

$$C_E = k \times D \tag{3.3}$$

Onde:

k = coeficiente de emissões;

D = distância percorrida.

Pela Equação 3.4 é calculado o custo de reentrega (C_{ree}) para aqueles clientes que não receberam os seus pedidos (serão simulados posteriormente nos Cenários 1 e 2), considerando que estes queiram ordenar outro reenvio do seu pedido. Para cada novo reenvio considerou-se o valor cobrado de um frete mínimo por pedido de 20 reais (C_r) (EBIT, 2018). A quantidade de pedidos não entregues (P_{ne}) é obtida na simulação.

$$C_{ree} = C_r \times P_{ne} \tag{3.4}$$

Por fim, foi utilizado a Equação 3.5 para calcular os ganhos que os DLs têm ao hospedar um pedido (G_h). Foi utilizado como base o valor de 5 reais por pedido (k_h) a quantidade de pedidos hospedada (Q_h) é resultado da simulação (OLIVEIRA et al., 2017c).

$$G_{hos} = k_h \times Q_h \tag{3.5}$$

Dessa forma, foram calculados para o Agente Caminhão: os custos com combustível (C_{CT}), custo com tempo da viagem (C_T) e os custos externos (C_{ET}). A partir

dos dados fornecidos por NTC & Logística (2018), foram obtidos os valores da renda média de 4776,00 reais (assumindo um motorista por veículo) e das horas médias trabalhadas no mês (220 horas) pelos transportadores. Além disso, para o percentual do uso produtivo do tempo foi considerado o recomendado por ANTP (1999), quando o dado não estiver disponível (0,5). O tempo de viagem do transportador foi obtido a partir da própria simulação.

Para o Agente Cliente foram calculados os custos de reentrega (C_{ree}), custos com combustível (C_{cc}) e custos externos (C_{EC}), para aqueles clientes que utilizam o modo motorizado para retirar sua encomenda. Para o cálculo dos custos externos e de combustível dos clientes, considerou-se a escolha modal dos clientes para buscar seu pedido. Se um cliente usa seu carro, sua viagem contribui para os custos externos relacionados à entrega. Por outro lado, caminhar ou andar de bicicleta não resulta em externalidades. Intuitivamente, quanto maior a distância entre um cliente e o DL mais próximo, maior a probabilidade de ele usar um carro. Descobertas de escolhas modais na Bélgica (ARNOLD et al., 2018; CARDENAS et al., 2016) confirmam essa hipótese, e desses trabalhos extraímos as seguintes probabilidades: se a distância entre cliente e DL for menor que 200 m, o cliente usará seu carro em 10% dos casos; se estiver entre 200 m e 500 m, a probabilidade aumenta para 30%; entre 500 m a 1000 m, para 50%; e para distâncias superiores a 1000 m, para 70%. Dessa forma, os resultados da simulação permitem encontrar o percentual de clientes para cada faixa.

A soma do Custo com Combustível do Caminhão (C_{CT}), Custo Externo do Caminhão (C_{ET}), Custo com o Tempo (C_T), Custo com Combustível do Cliente (C_{CC}), Custo Externo do Cliente (C_{EC}), Custo de Reentreega (C_{ree}) representam o custo total do sistema, como pode-se observar na Equação 3.6.

$$C_{TOTAL} = C_{CT} + \mathrm{C}_{ET} + C_T + C_{CC} + \mathrm{C}_{EC} + C_{ree} \tag{3.6}$$

Com a Equação 3.7, obteve-se o lucro líquido (L_L) considerando os ganhos e custos obtidos em cada cenário e o resumo com todos os parâmetros utilizados nos cálculos dos custos é apresentado na Tabela 3.4.

$$L_L = G_h - C_{TOTAL} \tag{3.7}$$

Tabela 3.4 - Parâmetros utilizados para o cálculo do lucro líquido

Parâmetros	**Quantidade**
Consumo de combustível Caminhão	0,13 Ldiesel/km
Consumo de combustível Carro	0,11 Lgasolina/km
Custo do Diesel (L)	R$ 3,537
Custo da Gasolina(L)	R$ 4,609
Renda média mensal dos transportadores	R$ 4.476,00
Possibilidade de uso alternativo do tempo	0,3
Percentual de uso produtivo do tempo	0,5
Tempo trabalho	13.200 min/mês
Fator Custo Externo Caminhão	R$ 3.192/km
Fator Custo Externo Carro	R$ 2.47/km
Ganho Hospedar pedido	R$ 5/pedido
Custo reenvio	R$ 20/pedido

4 SIMULAÇÃO

O modelo computacional foi implementado para região conhecida como "*Contorno*" da cidade de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, Brasil. A cidade possui aproximadamente 2,5 milhões de habitantes, distribuídos em 331 km^2, sendo a sexta área urbana mais populosa do Brasil. A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) possui 5,8 milhões de habitantes distribuídos em 34 municípios, sendo a terceira maior aglomeração urbana do Brasil e representa a maior centro político, financeiro, comercial, educacional e cultural de Minas Gerais, representando cerca de 40% da economia e 25% da população do estado. A RMBH é a 62ª maior aglomeração urbana do mundo, a sétima maior da América Latina e a maior do Brasil, fora da região do Rio-São Paulo. Belo Horizonte tem o quinto maior PIB das cidades brasileiras e uma população motorizada de 1.783.961 veículos (68% de carros, 16% de carga leve, 12% de motocicletas, 3% de pesados e 1% de ônibus), indicando um índice de motorização de 1,4 habitantes por veículo (IBGE, 2011).

A região do contorno recebe este nome pois é limitada pela avenida do contorno, esta região compreende os bairros: Barro Preto; Santo Agostinho; Lourdes; Savassi; Funcionários; Boa Viagem; e parte dos bairros Santa Efigênia e Floresta. Esta área de estudo foi escolhida pela maior disponibilidade dos dados e por ser economicamente relevante para a cidade Belo Horizonte. Apresenta uma alta urbanização, o que contribui para o surgimento de problemas relacionados a entregas de mercadorias nesta região (IBGE, 2011). Além disso, existe uma elevada densidade populacional, principalmente de pessoas com maior renda. Dessa forma, considerando os resultados de Oliveira *et al*. (2017a), essa região concentra uma parcela significativa de potenciais consumidores do comércio eletrônico, residentes ou em atividade laboral. A região simulada é apresentada na Figura 4.1.

Atualmente, grande parte das entregas do *e-commerce* em Belo Horizonte são domiciliares. No contexto brasileiro, essas entregas obedecem a política das três tentativas, ou seja, quando a entrega não ocorre em uma primeira tentativa, podem acontecer até duas tentativas nos dias seguintes. Fica evidente que esta política gera mais viagens e consequentemente aumenta os custos do frete. Dessa forma, este estudo busca investigar uma alternativa para as re-entregas com a implantação dos DLs e estimar os impactos deste novo sistema.

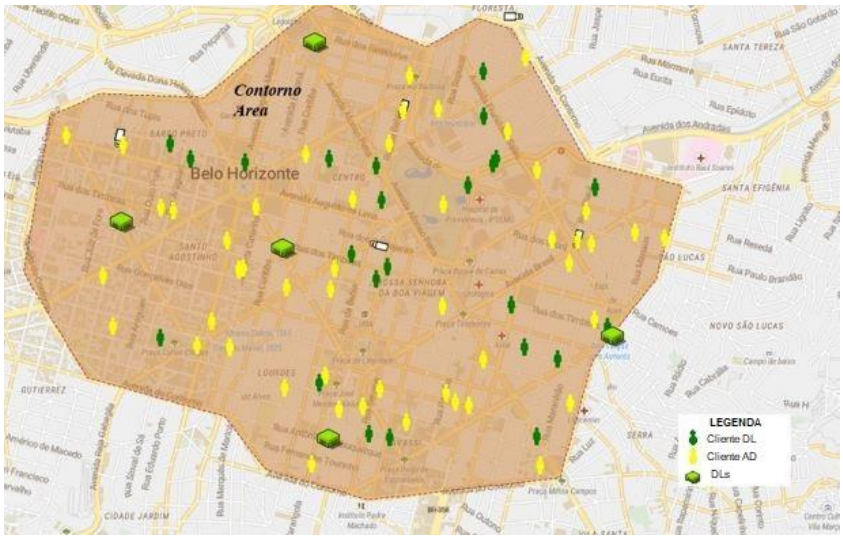


Figura 4.1 - Região Simulada

Conforme identificado por Oliveira *et al.* (2017a), o percentual de clientes que realiza compras online é de 30% da população, ou seja, tem-se cerca de 28.105 clientes na região estudada. No modelo, as residências dos clientes foram localizadas dentro da região do contorno. Geograficamente, estas residências foram dispostas de forma homogênea dentro da região.

A quantidade de DLs representada no modelo seguiu a proporção de 5 para cada 100.000 habitantes. Essa proporção foi utilizada baseada em cidades onde esses sistemas já estão em operação (MORGANTI *et al.*, 2014; WELTEVREDEN e ROTEM-MINDALI, 2009). Na região estudada, existem 93.684 habitantes e, portanto, cinco DL foram considerados na simulação. Quanto à localização dos *Delivery Lockers*, segundo Weltevreden (2008), os supermercados estão entre os principais locais onde são instalados esses sistemas. Como essa também foi a preferência declarada pelos clientes do comércio eletrônico em estudo de Oliveira *et al*. (2017a), adotou-se, no modelo, os supermercados como os locais de instalação. Foram escolhidos supermercados em operação na região do contorno, geograficamente dispersos.

O tipo de veículo utilizado na simulação foi um veículo de carga pequeno. Eles são os mais utilizados pelos correios e transportadoras do *e-commerce* para realizar as entregas da última milha por não apresentarem restrição de circulação (especificações de peso 1500 kg e volume 10 m^3).

O número de caminhões (N_T) necessários para realizar as entregas de um dia é dado de acordo com a demanda diária (Demanda) e o número de pedidos/dia que cada caminhão consegue entregar (Tamanho da Carga), como expresso na Equação 4.1.

$$N_T = \frac{Demanda}{Tamanho\ da\ Carga} \quad (4.1)$$

De acordo com as entrevistas realizadas com as transportadoras de diversas cidades e com base na literatura, o número de pedidos entregues por um caminhão varia de acordo com: o tempo médio de parada, a quantidade de pedidos entregues em uma parada (densidade de pedidos) e a produtividade do motorista. Este valor varia entre 50 a 120 pedidos/dia por caminhão.

Como os pedidos entregues nos *lockers* tem um volume e peso pequeno, se a formação da carga fosse em função da capacidade do caminhão (Volume e Peso), uma carga teria em torno de 300 pedidos. Entregar esse número de pedidos, além de impraticável no período de trabalho, segundo as entrevistas com as transportadoras, não é indicado por questões de roubo de carga. Dessa forma, o tamanho da carga foi obtido por experimentação no software, sendo que o tempo de viagem (Equação 4.2) deve respeitar o limite de horas de trabalho (8 horas/dia consideramos uma tolerância de 10% neste valor).

Por meio do modelo é possível obter: o tempo em rota (T_R), número de pedidos descarregados (n_{pd}), que são aqueles que de fato são entregues e o número de insucessos (n_{ins}), que são aqueles pedidos que não são entregues. A soma do número de insucessos e o número de pedidos descarregados é o Tamanho da Carga que o caminhão consegue entregar em um número determinado de horas, considerando os tempos: de parada (T_P), de descarregamento (T_D), insucessos (T_{ins}) e da rota (T_R). Os três primeiros são parâmetros de entrada do modelo.

$$T_{Viagem} = T_R + T_P \times n_P + T_D \times n_{pd} + T_{ins} \times n_{ins} \quad (4.2)$$

Com o Tamanho da Carga obtido, calcula-se o número de caminhões (Equação 4.1) necessários para entregar a demanda diária que se deseja simular. É importante ressaltar que a experimentação no modelo deve-se ser mais criteriosa possível, uma vez que existem cenários com uma alta taxa de reentrega. Sendo assim, a demanda diária sofre um incremento em função dos pedidos de reentrega.

Desse modo, um teste de experimentação é realizado para obter o valor inicial do tamanho da carga, respeitando o limite de horas trabalhadas e, assim, calcula-se um número inicial de caminhões. Posteriormente, realizam-se outros testes (quantos forem

necessários) para averiguar se com o número de caminhões definido é possível entregar todos os pedidos. Por exemplo, para:

- uma demanda diária de 80 pedidos/dia;
- tempo de parada de 5 minutos;
- tempo de descarregamento de 2 minutos e
- tempo de insucesso de 1 minuto.

Pela primeira experimentação, obteve-se que o tamanho da carga para essa demanda seria de 40 pedidos/caminhão. Pela Equação 4.1 encontrou-se um número inicial de 2 caminhões necessários. No entanto, em uma segunda experimentação, observou-se que dois caminhões não foram suficientes para entregar todos os pedidos em função do alto número de pedidos de reentrega. Sendo assim, realizou-se outras experimentações e encontrou-se um número de 3 caminhões.

Como observado na Equação 4.2, o tempo de uma entrega engloba o tempo em rota, o tempo de descarregamento e o tempo de parada. No entanto, o tempo de descarregamento por se tratar de entregas individuais e pequenas é um valor pequeno comparado com o tempo de parada (que envolve encontrar uma vaga e caminhar até o local da entrega). Adotou-se para o tempo de descarregamento uma distribuição de tempo triangular médio em torno de 2 minutos para entregas realizadas e 1 minuto quando o cliente não está em casa.

Para o parâmetro de entrada velocidade do caminhão, foi identificado junto as transportadoras entrevistadas que para entregas da última milha a velocidade média em regiões urbanas está em torno de 12 km/hora. Este mesmo valor tem sido adotado por pesquisadores em diversos estudos (ARNOLD *et al.*, 2018; MASTEGUIM, CUNHA e PONCE, 2018).

Além dos parâmetros de entrada discutidos acima para a simulação do modelo desenvolvido neste trabalho, também são necessário a taxa de implantação dos DLs, a taxa de insucesso das entregas nas 1°, 2° e 3° tentativas e o tempo de parada. Optou-se por realizar uma análise de sensibilidade para observar como a variação destes parâmetros influencia nos resultados do modelo, já que valores estão em contínua discussão na literatura e de difícil obtenção junto as transportadoras.

4.1 Análise de sensibilidade

Uma análise de sensibilidade pode ser realizada em um estudo de simulação com o objetivo de selecionar as variáveis mais importantes daquelas que podem até mesmo ser eliminadas das análises mais detalhadas (MONTEVECHI, MIRANDA e FRIEND, 2012). Neste sentido, foi utilizado a metodologia de Projeto de Experimentos *(Design of Experiment* – DoE) para auxiliar as análises e possibilitar a identificação das variáveis de maior importância no modelo simulado, além de descobrir se há interações entre as variáveis (MONTEVECHI, MIRANDA e FRIEND, 2012). Os parâmetros (variáveis) de um modelo de simulação podem ser chamados de fatores (KLEIJNEN *et al.*, 2005). Outros termos utilizados ao se projetar um experimento é o "nível", que são as possíveis variações consideradas para cada fator e o "*step",* que é o passo ou a diferença entre um nível e outro (CHUNG, 2004). Por fim, tem-se a "Variável de Resposta" que é uma medida de desempenho ou saída de um modelo de simulação (KELTON e LAW, 2000). A combinação dos níveis de todos os fatores criará um cenário no DoE que será então simulado em nosso modelo.

As técnicas de projetos experimentais mais utilizadas na literatura são: o Planejamento Fatorial Completo, o Planejamento Fatorial Fracionado, os arranjos de Taguchi e a Metodologia de Superfície de Resposta (MIRANDA, 2012). Neste trabalho, foi adotado o Planejamento Fatorial Completo Geral. Um Fatorial Completo geral permite a varredura completa da região de estudo, pois utiliza todos os fatores e respectivos níveis (para 95% de confiança).

Foi utilizado o software estatístico Minitab® para o desenvolvimento da matriz experimental do DoE e para as análises estatísticas realizadas posteriormente. Para mais informações sobre o DoE, pode-se consultar Montgomery (2005), Banks *et al.* (2010). Os parâmetros de entrada que compuseram o DoE e os níveis de cada um estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Parâmetros utilizados para a composição do DOE

	Nível -	**Nível +**	**Step**
% DL	0	0.45	0.225
% I1	0.05	0.25	0.2
% I2	0.5	0.8	0.3
% I 3	0.6	0.8	0.2
TP	5	10	5

Como observado na Tabela 4.1, o parâmetro %DL, que se refere a taxa de uso pelos clientes dos *Lockers,* é o único parâmetro que se têm 3 níveis no DoE. Seguiu-se o

valor próximo ao encontrado no estudo de Oliveira *et al.* (2017a) para o "nível +", que indica uma propensão ao uso dos DL pelos clientes do *e-commerce* de Belo Horizonte em 43%. Escolheu-se esse valor como maior valor, pois conforme observado na literatura nos países onde os *Iockers* então em uso, a taxa de utilização em nenhum caso ultrapassa este valor (CARDENAS et al., 2017). Os demais níveis foram então menores que este valor, sendo que o "nível - " buscou representar uma situação onde não se utiliza os DL. Como a implantação de DL é o foco central deste estudo, optou-se por simular cenários com um valor intermediário, de 25,5%.

Com relação as taxas de insucesso das entregas, para a primeira tentativa (%I1) buscamos valores na literatura e em entrevistas com as transportadoras, tanto para o "nível +" quanto para o "nível - ". Em entrevista com as transportadoras, verificou-se que a taxa de insucesso em alguns locais pode ser bem menor que as indicadas na literatura. Segundo as transportadoras, isso é resultado de estratégias como: ligar para o cliente ausente, deixar o pedido com vizinho e deixar o pedido na portaria do prédio. Foi destacado por eles que, no Brasil, a existência de portaria nos prédios em cidades maiores contribui para a maior realização das entregas. Por isso, utilizamos um valor de 5% de insucesso na primeira tentativa como indicado pelas transportadoras para "nível -". O valor de "nível +" foi obtido a partir da literatura, e utilizado o valor de 25%, por ser o valor mais recorrente encontrado na literatura (EDWARDS *et al.*, 2008; MCLEOD, CHERRETT e SONG, 2006; SONG *et al.*, 2009; SONG, CHERRETT e GUAN, 2011).

Segundo Arnold *et al.* (2018), McLeod *et al.* (2006) e Song *et al.* (2009), as entregas que falharam na primeira tentativa têm uma chance maior de falha na segunda ou terceira tentativa de entrega, variando entre 50% e 80%. Dessa forma, adotou-se uma taxa maior de falhas para as segundas e terceiras tentativas. Utilizou-se para a taxa de insucesso 2 (%I2) o "nível - " de 50% e "nível+" de 80%. Como a taxa de insucesso 3 tende a ser ainda maior que a taxa de insucesso 2, utilizou-se valores de 60% e 80% para "nível - " e "nível +", respectivamente.

O tempo de parada influencia diretamente no tempo total da viagem, para tanto foi realizado a análise de sensibilidade para esse parâmetro. Em estudo de Oliveira (2014), identificou-se que o tempo médio de parada para a Região do Contorno é de 9.5 minutos. Conforme levantado com as transportadoras, este tempo varia de local para local. Alguns trabalhos acadêmicos que lidam com as entregas do *e-commerce* tem adotado um tempo médio de parada menor que 9,5 minutos (ARNOLD *et al.*, 2018; MASTEGUIM, CUNHA e PONCE, 2018; SIIKAVIRTA *et al.*, 2008). Neste sentido, adotou-se como

“nível +” o valor de 10 minutos, seguindo como sugere o estudo de Oliveira (2014) e 5 minutos para o “nível - ”.

Depois de definidos os fatores e níveis, iniciou-se o desenvolvimento da matriz experimental do DoE e a simulação dos cenários. Para a experimentação, foram simulados cenários com demanda de 80 pedidos/dias e 3 caminhões de entrega. Da combinação de todos os parâmetros e níveis entre si resultaram 48 diferentes cenários.

Após rodados os experimentos, foi realizado a análise de variância (ANOVA) para estimação dos efeitos dos fatores estudados nas variáveis de resposta. Neste estudo, as variáveis de resposta de interesse são aquelas utilizadas para realizar o cálculo dos custos: distância total percorrida pelos caminhões, distância média percorrida pelos clientes, tempo de viagem médio e os próprios custos. Calculou-se a ANOVA em relação a estas variáveis (Tabela 4.2) e em relação aos custos (Tabela 4.3).

Tabela 4.2 - Análise de Variância (ANOVA) das variáveis de saída

ANOVA para	**Distância Total Caminhões**	**Tempo de Viagem Médio**	**Distância média dos Clientes**
DL	**0,000**	**0,000**	**0,000**
%I1	**0,000**	**0,000**	0,178
%I2	0,329	0,157	0,558
%I3	0,896	0,868	0,178
TP	**0,014**	**0,000**	0,332
DL*%I1	**0,048**	**0,003**	0,313
DL*%I2	0,930	0,777	0,707
DL*%I3	0,802	0,645	0,485
DL*TP	0,667	**0,000**	0,763
%I1*%I2	0,333	0,824	0,332
%I1*%I3	0,769	0,349	0,558
%I1*TP	0,599	**0,003**	0,558
%I2*%I3	0,343	0,190	0,086
%I2*TP	0,505	0,618	0,845
%I3*TP	0,551	0,439	0,086
R^2 =	95,07	99,54	99,73
R^2(adj)=	91,41	99,20	99,53
R^2(pred)=	84,40	98,55	99,14
p-valor	0,875	0,154	0,243

Tabela 4.3 - Análise de Variância (ANOVA) dos Custos

ANOVA Para	**CCT**	**CET**	**CT**	**Cree**	**CEC**	**CCC**	**Gho**
DL	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
%I1	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	0,158	0,158	0,766
%I2	0,329	0,329	0,137	**0,000**	0,805	0,805	0,599
%I3	0,896	0,896	0,961	**0,001**	0,730	0,730	0,696
TP	**0,014**	**0,014**	**0,000**	0,577	0,463	0,463	0,154
DL*%I1	**0,048**	**0,048**	**0,000**	**0,000**	0,134	0,134	0,764
DL*%I2	0,930	0,930	0,742	**0,022**	0,883	0,883	0,293
DL*%I3	0,802	0,802	0,875	0,920	0,706	0,706	0,486

DL*TP	0,667	0,667	**0,000**	**0,000**	0,681	0,681	0,591
%I1*%I2	0,333	0,333	0,097	**0,028**	0,845	0,845	0,090
%I1*%I3	0,769	0,769	0,515	0,790	0,970	0,970	0,235
DL*TP	0,599	0,599	**0,000**	0,213	0,782	0,782	**0,033**
%I2*%I3	0,343	0,343	0,435	0,376	**0,038**	0,038	0,707
%I2*TP	0,505	0,505	0,851	0,462	0,896	0,896	0,420
%I3*TP	0,551	0,551	0,618	0,384	0,414	0,414	0,777
R^2 =	95,0	95,07	99,76	99,91	99,42	99,42	99,99
R^2(adj)=	91,47	91,41	99,58	99,84	98,99	98,99	99,98
R^2(pred)=	84,40	84,40	99,24	99,71	98,17	98,17	99,99
p-valor	0,201	0,875	0,512	0,717	0,054	0,054	0,053

Com base na análise estatística, observa-se que os valores de R^2 são bem próximos a 100% e indicam que o ajuste do modelo foi satisfatório. A adequação do modelo estatístico foi verificada por meio do teste de normalidade de Anderson Darling para os resíduos. Os resíduos de todas as variáveis de resposta analisadas apresentaram comportamento adequado às condições de normalidade do experimento. Pelo teste de Anderson Darling não se pode rejeitar a hipótese de que os resíduos seguem uma distribuição normal, uma vez que todos os p-valores encontrados são maiores que 0,05.

De acordo com os resultados encontrados na Tabela 4.2 e na

Tabela 4.3Tabela 4.3 é possível observar que nem todos os cinco fatores interferem significativamente nas variáveis de resposta. Destacou-se na tabela os p-valores que são menores que o nível de significância adotado ($p - valor < \alpha$ e $\alpha = 0,05$), sendo as variáveis correspondentes a estes, aquelas que apresentam maior influência no modelo. Nota-se que o parâmetro %DL possui importância significativa sobre as variáveis de resposta. A taxa de insucesso na primeira tentativa de entrega (%I1) e o tempo de parada (TP) possuem significância em todos os resultados que se referem ao caminhão: Distância percorrida pelo caminhão, Tempo médio de viagem, Custo Combustível do Caminhão, Custo Externo do Caminhão e Custo com Tempo.

A única variável de resposta que demostrou significância para o %I2 e %I3 foi o Custo de Reentrega, o que já era esperado, pois esse custo é calculado em função do número de pedidos não entregues. Mesmo que a porcentagem seja pequena existe uma diferença entre os cenários com parâmetros diferentes.

Da mesma forma, na interação de segunda ordem os fatores que interferem nas variáveis de respostas são: DL*%I1, DL*TP e %I1*TP. A única exceção foi o Custo Externo do Cliente, onde existe uma interação significativa entre os %I2*%I3 e o Custo de Reentrega com interações entre: DL*%I1, DL*%I2, DL*TP e %I1*%I2. DL*%I1.

Pode-se observar graficamente a interação dos parâmetros para cada fator em cada variável de resposta (APÊNDICE A). A linha de referência horizontal representa a média geral dos dados e as retas, que representam os fatores, têm por objetivo mostrar a magnitude dos efeitos. Quanto maior for a inclinação da reta mais impacto (positivo ou negativo) o respectivo fator causará no nas variáveis de resposta.

A partir dos gráficos da interação dos parâmetros, pode-se confirmar que os parâmetros que mais influenciam as respostas são: %DL, %I1 e TP. Embora o %I2 e %I3, apresentaram uma variância significativa nos custos de reentrega, pelo gráfico pode-se observar que o %I1 possui uma inclinação maior que os outros dois. Com isso, conclui-se que a %DL, o %I1 e o TP são os parâmetros que, quando variados, são capazes de alterar significativamente a maioria dos resultados e consequentemente os custos. Sendo estes fatores relevantes e que serão considerados nas elaborações dos próximos cenários da simulação.

4.2 Elaboração dos Cenários Comparativos

Os cenários elaborados para realizar a simulação computacional consideraram diferentes tentativas de entrega e a implantação dos *Delivery lockers*. O primeiro cenário é tido como cenário base, por ser o que mais se assemelha com a realidade.

Cenário 1 (ou cenário base) - entregas AD e 3 tentativas de entrega

Neste cenário, todos os pedidos devem ser entregues em casa e existe a política das três tentativas de entrega. Quando o cliente não está em casa para receber o pedido e este não é entregue podem acontecer mais duas tentativas de entrega por dois dias consecutivos A dinâmica deste cenário está ilustrada na Figura 4.2.

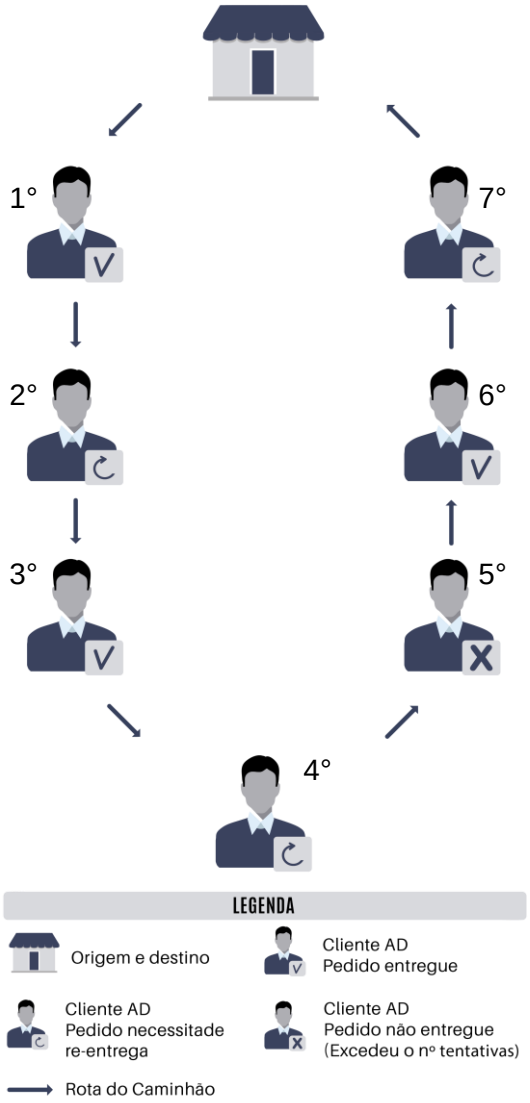


Figura 4.2 -Dinâmica de entregas do Cenário 1.

A Figura 4.2 representa a dinâmica de entrega para o Cenário Base. O caminhão inicia sua rota no centro de distribuição e se dirige a sua primeira entrega. Como no exemplo apresentado na Figura 4.2 o primeiro cliente está em sua casa, o pedido é entregue. Na segunda entrega, o cliente não se encontra em sua residência, entretanto essa é a primeira tentativa de entrega, pela política das três tentativas de entrega ainda poderá ocorrer para esse pedido mais duas tentativas de entregas nos dias seguintes. Da mesma forma que, o primeiro cliente o terceiro está em casa, e recebe seu pedido. O quarto cliente repete a situação do segundo cliente. Já o quinto cliente apresenta uma situação diferente das anteriores, pois o cliente não se encontra em sua residência e essa já é a terceira tentativa de entrega, desse modo, esse cliente não receberá o seu pedido, a não ser que solicite um novo envio. Outro envio usualmente não está incluso no frete pago inicialmente o que gera um novo custo ao cliente. O sexto cliente encontra-se em casa e

recebe o seu pedido. O sétimo não está em casa, mas como o segundo e quarto cliente, não excedeu as tentativas de entrega e poderá receber o seu pedido no dia seguinte. Após entregar todos os pedidos o caminhão retorna ao CD de origem.

Espera-se que este cenário seja o "pior cenário" por demandar muitas tentativas de entrega e por todas as entregas serem Assistidas Domiciliares (AD). No próximo cenário, buscou-se verificar quais seriam os ganhos obtidos mantendo a situação de reentrega, entretanto utilizando os *Delivery Lockers* para receber uma porcentagem dos pedidos. Espera-se obter ganhos tanto em redução de entregas falhas como em quilômetros percorridos.

Cenário 2 –implantação dos DL e as 3 tentativas entregas:

Agora há uma porcentagem de clientes que opta por receber suas entregas nos DL. Permanecem as entregas AD e, para este caso, as três tentativas de entrega. Este processo é apresentado na Figura 4.3.

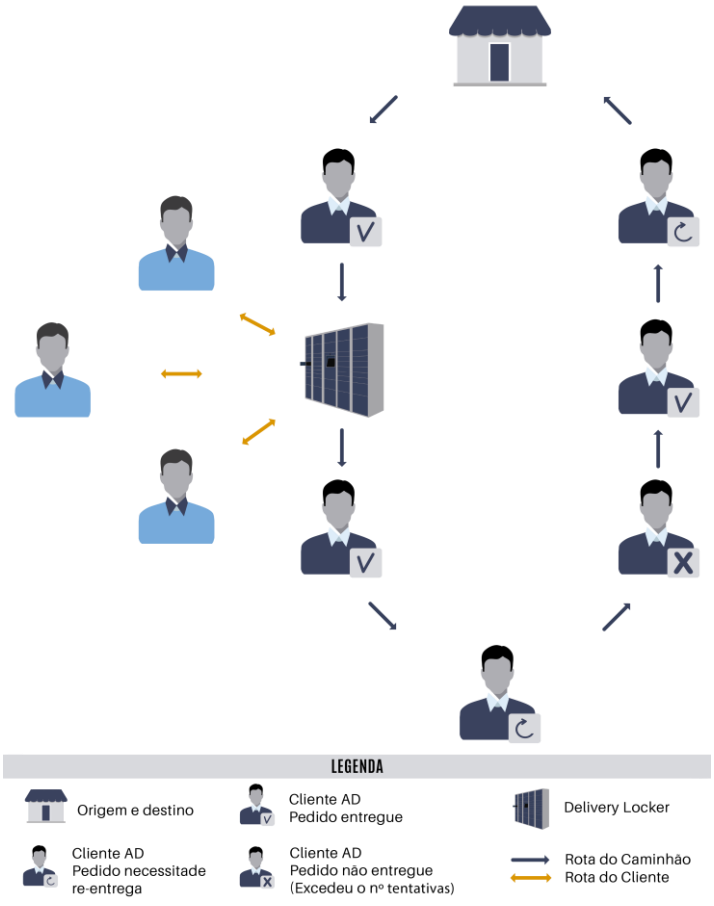


Figura 4.3- Dinâmica de entregas do Cenário 2

Cenário 3 – sem as 3 tentativas e entrega no CD

Os clientes continuam a escolher onde preferem receber as suas entregas. Contudo, para as entregas à domicilio, se a entrega não for realizada na primeira tentativa, o entregador transporta a encomenda para o CD, que avisará aos clientes para que eles se direcionem até o CD para recolher suas encomendas (Figura 4.4).

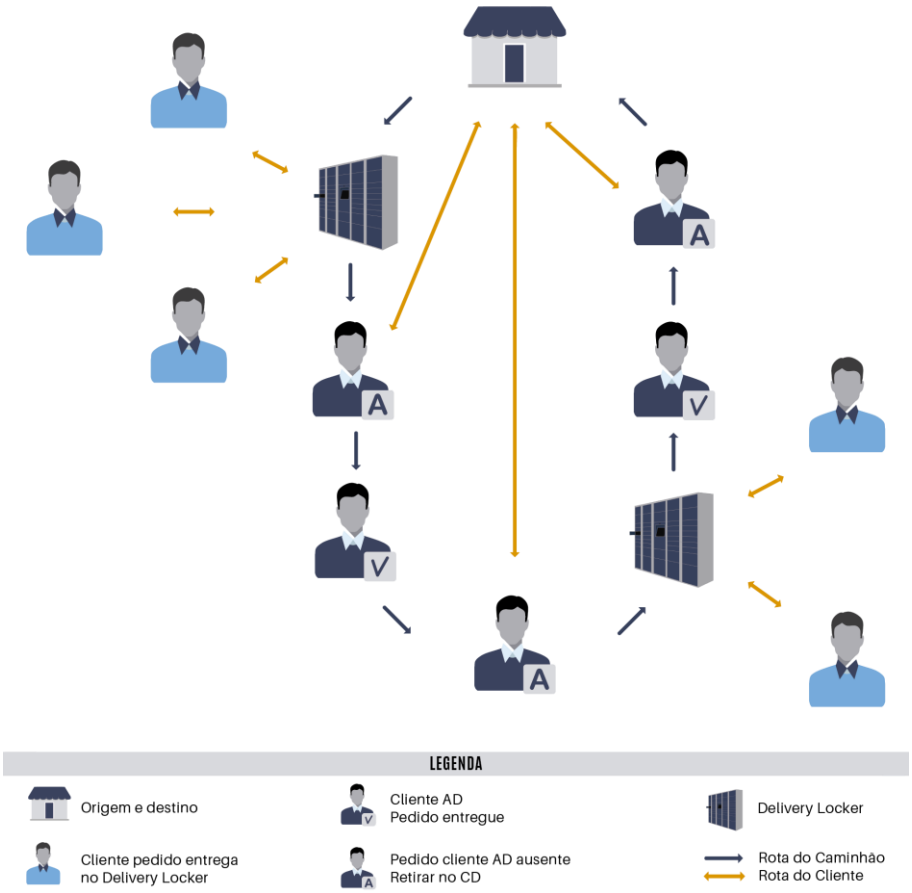


Figura 4.4 -Dinâmica de entregas do Cenário 3

No Cenário 3, simula-se uma situação onde é excluída as três tentativas de entrega, e os pedidos falhos (que não são entregues, pelo fato dos clientes estarem ausentes) devem ser retirados pelos clientes no Centro de Distribuição da loja. Nesta situação espera-se que a rota do caminhão possa ser menor, bem como a quantidade de viagens por terem menos cargas a serem transportadas, já que não é mais necessário incluir na carga pedidos em situação de reentrega. Pretende-se analisar qual é a distância média que os clientes deverão percorrer para buscar os seus pedidos com falha no CD

Cenário 4 - sem as 3 tentativas e reentrega no DL

Neste caso, os clientes ainda podem escolher onde preferem receber as suas entregas. Contudo, se a entrega AD não for realizada na primeira tentativa, o entregador deixa a encomenda no DL mais próximo da casa do cliente e avisa ao cliente que o seu pedido está no DL aguardando a retirada. A dinâmica de entregas deste cenário está representada na Figura 4.5.

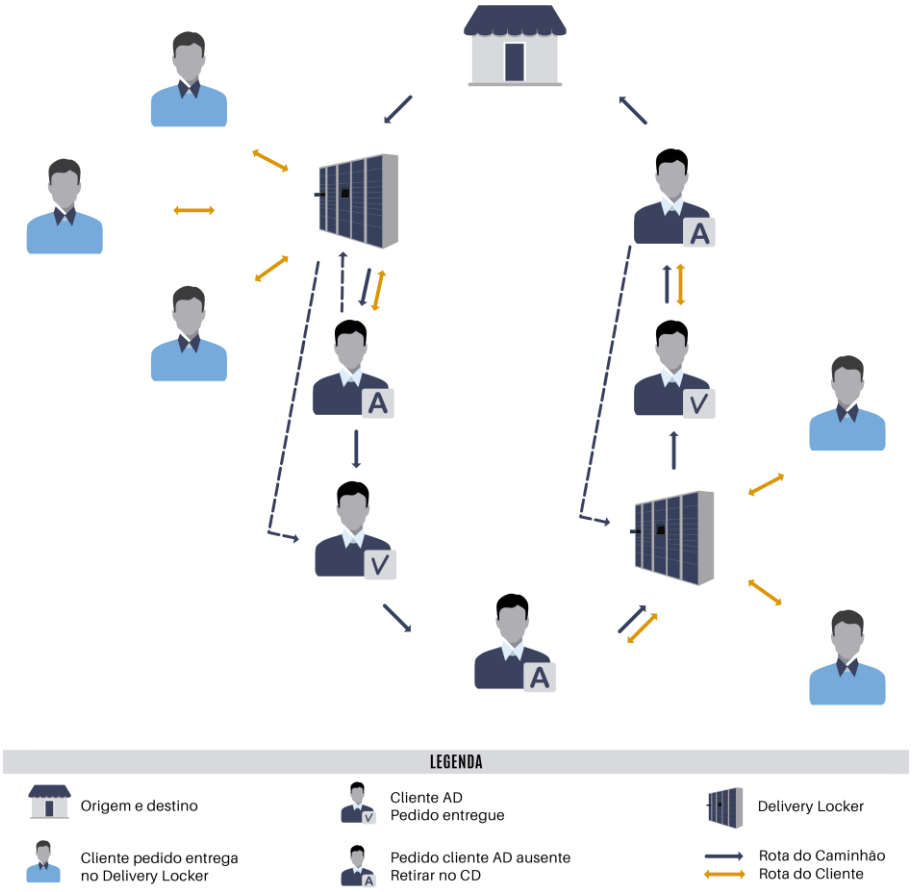


Figura 4.5 - Dinâmica de entregas do Cenário 4.

O quarto e último cenário analisado exclui as tentativas de reentrega, porém diferente do Cenário 3 os pedidos com falha são entregues nos *Delivery Lockers*. Espera-se que este cenário seja o que traga ganhos maiores para todos os *stakeholders* e que o caminhão possa reduzir sua rota, bem como o número de viagens em consequência de menores cargas. Além disso, espera-se que os *Delivery Lockers* hospedem mais pedidos, e a distância média percorrida pelos clientes para buscar seus pedidos com falha possa ser menor que a obtida no Cenário 3, em virtude do uso dos DLs.

No desenvolvimento dos cenários citados, foi adicionado as variações dos parâmetros de entrada que apresentaram significância no DoE. Ainda, variou-se o número de pedidos realizados pelos clientes em um ano em: 1, 3 e 6. Considerando que se na região estudada se cada cliente realizar 1 pedido/ano tem-se em média 80 pedidos/dia.

Dessa forma, buscou-se estudar as alterações nesta demanda para de 1 pedido/ ano para 3 pedidos/ano (240 pedidos/dia), e para 6 pedidos/ano (480 pedidos/dia).

A escolha por simular diferentes densidades de pedidos partiu do pressuposto que em cidades e/ou áreas com maior densidade populacional tem-se um número maior de pedidos realizados. Assim, variando as densidades pode-se realizar suposições sobre o funcionamento das entregas do *e-commerce* em cidades de pequena, média e grande densidade populacional. Além do porte das cidades, esses valores podem representar a diferença entre a atuação de transportadoras com uma baixa, média e alta participação do mercado.

As Figuras 4.6 e 4.7 apresentam a lógica de concepção dos cenários. Como pode-se observar nas figuras os cenários foram agrupados em dois diferentes grupos. O grupo de cenários que simulam a existência ou não da política das três tentativas de entregas e a implantação dos DLs: Grupo de Cenários Base, Grupo de Cenários 2, Grupo de Cenários 3, Grupo de Cenários 4 (Figura 4.6). O segundo grupo altera esses cenários de acordo com os parâmetros de entrada considerados relevantes no DoE e varia o número de pedidos por dia (Figura 4.7).

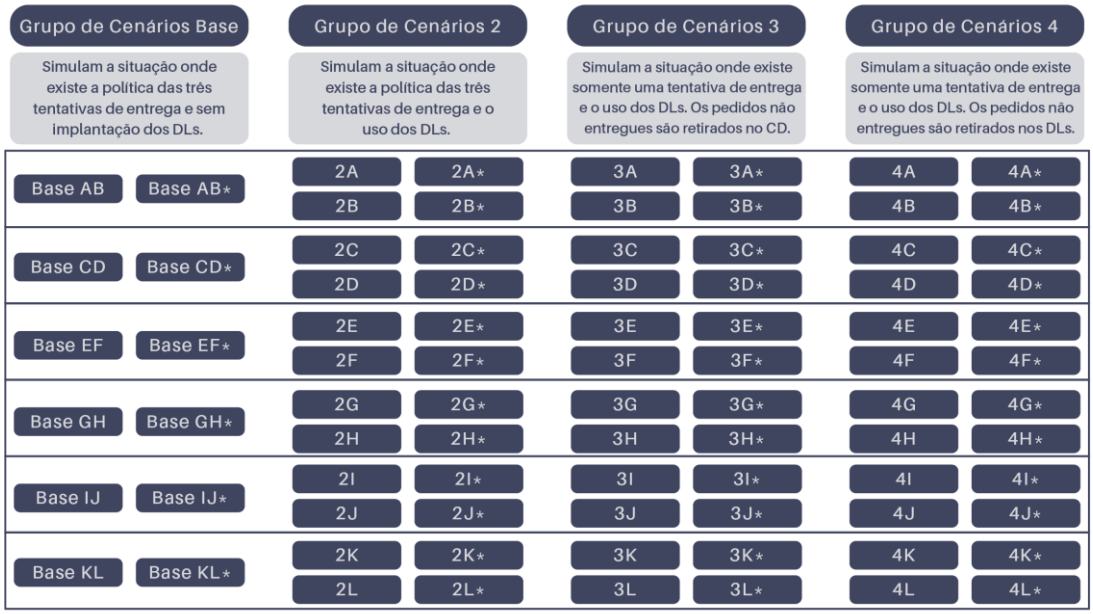


Figura 4.6 - Grupo de Cenários

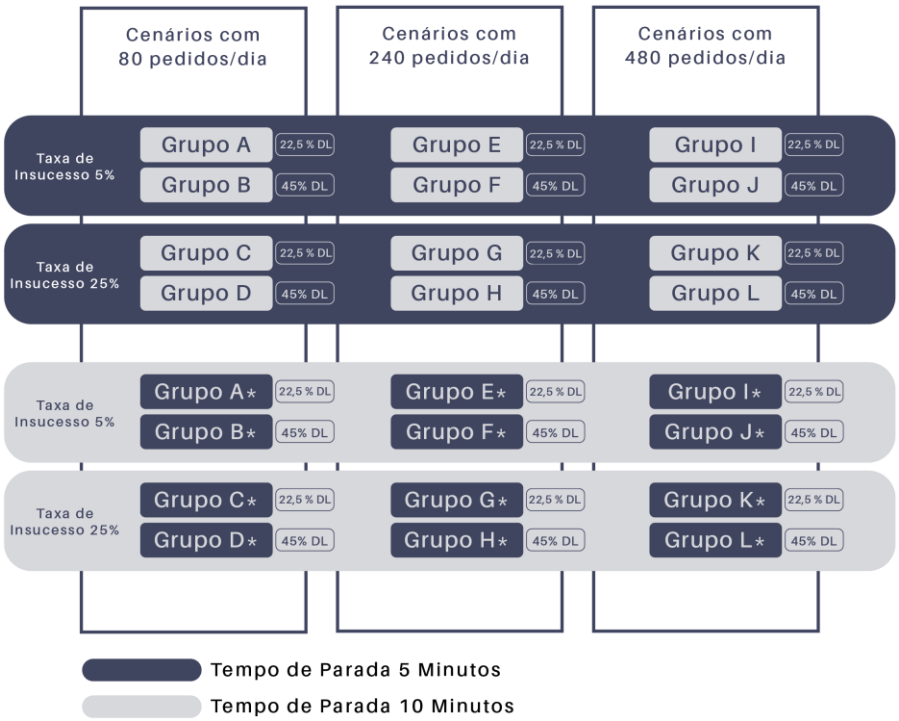


Figura 4.7 - Lógica de concepção dos cenários

O Grupo A e B são cenários que simulam uma demanda de 80 pedidos/dia, com tempo de parada de 5 minutos e taxa de insucesso na primeira tentativa de 5%. O Grupo B difere do grupo A com relação a porcentagem de uso dos DLs, o Grupo A simulam 25% de uso e o Grupo B 45%. O Cenário Base AB não simula a implantação dos DLs, sendo este o cenário de comparação para o Grupo A e B. O Grupo A*, Grupo B* Grupo Base AB* diferem do Grupo A e B somente em relação ao parâmetro tempo de parada, que passa a ser de 10 minutos. Todas as demais construções seguiram a mesma lógica.
A Tabela 4.4 apresenta a combinação de todos os possíveis cenários considerando o que foi descrito acima.

Tabela 4.4 - Cenários Simulados

N° Pedido	**Tempo Parada**	**%DL**	**%I1**	**Nome Cenário**	**N° Pedido**	**Tempo Parada**	**%DL**	**%I1**	**Nome Cenário**
80	5	0	5	Base AB	80	10	0	5	Base AB*
		22.5	5	2A			22.5	5	2A*
		45	5	2B			45	5	2B*
		22.5	5	3A			22.5	5	3A*
		45	5	3B			45	5	3B*
		22.5	5	4A			22.5	5	4A*
		45	5	4B			45	5	4B*
		0	25	Base CD			0	25	Base CD*
		22.5	25	2C			22.5	25	2C*
		45	25	2D			45	25	2D*
		22.5	25	3C			22.5	25	3C*
		45	25	3D			45	25	3D*
		22.5	25	4C			22.5	25	4C*
		45	25	4D			45	25	4D*

240	5	0	5	Base EF	240	10	0	5	Base EF*
		22.5	5	2E			22.5	5	2E*
		45	5	2F			45	5	2F*
		22.5	5	3E			22.5	5	3E*
		45	5	3F			45	5	3F*
		22.5	5	4E			22.5	5	4E*
		45	5	4F			45	5	4F*
		0	25	Base GH			0	25	Base GH*
		22.5	25	2G			22.5	25	2G*
		45	25	2H			45	25	2H*
		22.5	25	3G			22.5	25	3G*
		45	25	3H			45	25	3H*
		22.5	25	4G			22.5	25	4G*
		45	25	4H			45	25	4H*
480	5	0	5	Base IJ	480	10	0	5	Base IJ*
		22.5	5	2I			22.5	5	2I*
		45	5	2J			45	5	2J*
		22.5	5	3I			22.5	5	3I*
		45	5	3J			45	5	3J*
		22.5	5	4I			22.5	5	4I*
		45	5	4J			45	5	4J*
		0	25	Base KL			0	25	Base KL*
		22.5	25	2K			22.5	25	2K*
		45	25	2L			45	25	2L*
		22.5	25	3K			22.5	25	3K*
		45	25	3L			45	25	3L*
		22.5	25	4K			22.5	25	4K*
		45	25	4L			45	25	4L*

%DL -Taxa de uso de *Delivery Lockers*
%I1 – Taxa de insucesso na primeira tentativa de entrega

Por experimentação, conforme explicado na secção 3.3.7, obteve-se o número de caminhões para as diferentes demandas diárias e tempos de parada, os valores obtidos são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Número de caminhões utilizados na simulação

Pedidos/dia	Tempo de Parada(min)	N° caminhões
80	5	3
	10	3
240	5	4
	10	5
480	5	6
	10	7

4.3 Resultados

Nesta secção serão apresentados os resultados das simulações realizadas. Todos os resultados foram calculados a partir da média das 3 replicações. A Tabela 4.6 apresenta os resultados referentes aos números de pedidos: entregues nos DLs, entregues em casa, reentregas e não entregues.

Tabela 4.6 - Resultados da Simulação em relação ao número de pedidos

CENÁRIO	N° PAD	N° PDL	N° REE	N° PNE	TOTAL	CENÁRIO	N° PAD	N° PDL	N° REE	N° PNE	TOTAL	CENÁRIO	N° PAD	N° PDL	N° REE	N° PNE	TOTAL
Base AB	28225	0	2119	565	30344	**Base EF**	84609	0	6141	1692	90750	**Base IJ**	169102	0	12381	3382	181482
2A	21899	6559	1681	438	30139	**2E**	65560	19733	4847	1311	90140	**2I**	131292	39285	9660	2626	180237
2B	15540	13153	1240	311	29933	**2F**	46621	39374	3520	932	89515	**2J**	93362	78573	6927	1867	178863
3A	21447	6621	1133	0	29201	**3E**	64556	19611	3403	0	87570	**3I**	128843	39401	6896	0	175140
3B	15264	13147	789	0	29200	**3F**	45523	39611	2436	0	87570	**3J**	91555	78734	4851	0	175140
4A	21470	6597	1129	0	29196	**4E**	64462	19761	3347	0	87570	**4I**	129011	39388	6741	0	175140
4B	15311	13092	794	0	29197	**4F**	45828	39366	2376	0	87570	**4J**	91564	78747	4829	0	175140
Base CD	24067	0	10078	2407	34145	**Base GH**	72057	0	30152	7206	102209	**Base KL**	143875	0	60424	14387	204299
2C	18652	6578	7853	1865	33083	**2G**	55832	19695	23579	5583	99106	**2K**	111685	39406	46729	11169	197820
2D	13235	13172	5612	1324	32019	**2H**	39567	39550	16683	3957	95800	**2L**	79305	78710	33525	7931	191540
3C	16945	6608	5647	0	29200	**3G**	50729	19786	17055	0	87570	**3K**	101737	39373	34031	0	175141
3D	12076	13128	3997	0	29201	**3H**	36236	39322	12012	0	87570	**3L**	72239	78853	24048	0	175140
4C	16969	6572	5656	0	29197	**4G**	50819	19684	17067	0	87570	**4K**	101771	39426	33943	0	175140
4D	11946	13206	4045	0	29197	**4H**	36085	39391	12094	0	87570	**4L**	72239	78930	23971	0	175140
Base AB*	28253	0	2148	565	30401	**Base EF***	84666	0	6356	1693	91022	**Base IJ***	169199	0	12360	3384	181559
2A*	21922	6542	1704	438	30168	**2E***	65585	19811	4950	1312	90346	**2I***	131092	39517	9701	2622	180310
2B*	15534	13172	1208	311	29914	**2F***	46642	39467	3542	933	89651	**2J***	93193	78812	7064	1864	179069
3A*	21581	6556	1085	0	29222	**3E***	64578	19678	3344	0	87600	**3I***	128828	39525	6781	0	175134
3B*	15256	13170	813	0	29222	**3F***	45796	39402	2403	0	87601	**3J***	91442	78886	4812	0	175140
4A*	21551	6477	1162	0	29190	**4E***	64342	19842	3416	0	87600	**4I***	128931	39465	6744	0	175140
4B*	15224	13138	828	0	29190	**4F***	45845	39364	2391	0	87600	**4J***	91450	78868	4822	0	175140
Base CD*	24071	0	10135	2407	34206	**Base GH***	65854	0	27186	6585	93040	**Base KL***	140402	0	58590	14040	198991
2C*	18649	6565	7943	1865	33157	**2G***	52019	18407	21507	5202	91933	**2K***	104258	37148	43224	10426	184630
2D*	13238	13192	5606	1324	32036	**2H***	39641	39418	16929	3964	95988	**2L***	79274	78808	33678	7927	191760
3C*	17097	6569	5560	0	29222	**3G***	50931	19684	16985	0	87600	**3K***	101801	39382	33957	0	175140
3D*	12041	13176	4008	0	29222	**3H***	36116	39493	11991	0	87600	**3L***	72054	78995	24091	0	175140
4C*	17010	6576	5604	0	29190	**4G***	50808	19763	17029	0	87600	**4K***	102029	39316	33795	0	175140
4D*	12058	13130	4002	0	29190	**4H***	36101	39499	12000	0	87600	**4L***	72277	78739	24124	0	175140

N° PAD – Número de pedidos entregues em casa
N° PDL -Número de pedidos entregues nos *Delivery Lockers*
N° REE – Número de reentregas
N° PNE – Número de pedidos não entregues

Ao comparar o Grupo de Cenários 2, que simulam a implantação dos DLs e mantém as três tentativas de entrega com os seus respectivos Grupo de Cenários Base (Tabela 4.6), verifica-se que os cenários que possuem 45% de clientes DL (Grupos B, D, F, H, J e L) têm seu número de pedidos entregues aumentados em média em 45% em comparação com os seus respectivos Cenários Base. Da mesma forma, os cenários que possuem 22.5% de clientes DL, Grupos A, C, E, G, I e K, apresentam um aumento médio de 22.5% em seus pedidos entregues quando comparados com o Cenário Base. Desse modo, pode-se dizer que a cada 1% de clientes DL reduz em 1% o número de reentregas.

Os cenários que simulam a política das três tentativas de entrega apresentam um número de reentregas alto. Contudo, o Grupo de Cenários 2, que simula a implantação dos DL, conseguiu reduzir entre 21 e 44% o número de reentregas, quando comparados com os cenários sem o uso de *Lockers.* O Grupo de Cenários 3 e 4 não consideram a política das três tentativas e quando comparados ao Grupo de Cenários Base apresentam uma redução entre 45 e 62% do número de tentativas de entregas. Essa redução acontece porque nestes cenários somente na primeira tentativa de entrega pode acontecer a falha. Os pedidos falhos do Grupo de Cenários 3 e 4 são aqueles que o entregador não conseguiu entregar em casa. Entretanto, nestes cenários, após a primeira tentativa falha, os clientes conseguem retirar os seus pedidos ou no CD (cenário 3) ou no DL mais próximo (cenário 4). Nestes cenários todos os pedidos são entregues.

As Tabelas 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam os resultados referentes a distância percorrida pelo caminhão e pelos clientes, tempo médio de viagem do caminhão, número de cargas, tamanho da carga e a distância por pedido (um indicador-chave de desempenho calculado). Cada carga corresponde a uma viagem realizada pelo caminhão.

Tabela 4.7 - Resultados da Simulação para o Grupo de Cenários 2 e Grupo de Cenários Base

Cenários	N° Carga Total	Tamanho Carga Médio	Tempo Viagem Médio(min)	Distância Total(km)	Dist/ Pedido	Distância CAD Média(km)	Distância CDL Média(km)	Distância Carro Total(km)
Base AB	752	40	417	22902	0.75	0	0	0
2A	750	40	438	20975.3	0.69	0	2.29	8982
2B	745	40	359	17166.7	0.57	0	2.26	17963
Base CD	833	40	384	24154.3	0.7	0	0	0
2C	806	40	407	21921.8	0.66	0	2.34	9506
2D	785	40	355	19419.6	0.6	0	2.24	17171
Base AB*	872	35	497	21843.1	0.72	0	0	0
2A*	865	35	498	19833	0.66	0	2.28	8976
2B*	856	35	359	17129.2	0.57	0	2.17	16729
Base CD*	981	35	492	26042.4	0.76	0	0	0
2C*	951	35	481	22575.2	0.68	0	2.25	8818
2D*	917	35	355	19525.3	0.61	0	2.22	17370
Base EF	1300	70	387	29822.3	0.33	0	0	0
2E	1290	70	497	30218.5	0.33	0	2.16	25446
2F	1279	70	465	29717.2	0.33	0	2.2	52105
Base GH	1460	70	391	37558.8	0.37	0	0	0
2G	1422	70	484	38223.4	0.38	0	2.23	26376
2H	1372	70	458	35060.7	0.36	0	2.14	49426
Base EF*	1824	50	408	34814	0.38	0	0	0
2E*	1824	50	492	35177.5	0.39	0	2.17	25512
2F*	1824	50	470	35533.1	0.39	0	2.15	50801
Base(GH)*	1866	50	411	39496.9	0.42	0	0	0
2G*	1846	50	474	38544.3	0.42	0	2.3	25242
2H*	1926	50	457	39058.4	0.4	0	2.22	52262
Base(IJ)	2018	90	365	3776.76	0.2	0	0	0
2I	2007	90	505	37560.2	0.21	0	2.17	50300
2J	1990	90	460	35214.1	0.19	0	2.16	98236
Base KL	2272	90	368	49715.9	0.24	0	0	0
2K	2199	90	473	45605.8	0.23	0	2.2	51340
2L	2131	90	449	43876.2	0.23	0	2.17	100423
Base IJ*	2596	70	375	41660.7	0.23	0	0	0
2I*	2578	70	483	41397.8	0.23	0	2.12	48876
2J*	2559	70	449	40403.3	0.22	0	2.18	100344
Base KL*	2846	70	395	50499.1	0.25	0	0	0
2K*	2641	70	473	45822.4	0.25	0	2.19	49109
2L*	2744	70	456	48244.1	0.25	0	2.2	103394

Distância CAD: Distância percorrida pelo cliente que escolhe receber sua entrega em casa
Distância CDL: Distância percorrida pelo cliente que escolhe receber sua entrega nos DLs

Tabela 4.8 - Resultados da Simulação para o Grupo de Cenários 3

Cenários	N° Carga Total	Tamanho Carga Médio	Tempo Viagem Médio(min)	Distância Total(km)	Dist/ Pedido	Distância CAD Média(km)	Distância CDL Média(km)	Distância Carro Total(km)
3A	730	35	461	20289.8	0.69	5.35	2.15	14452
3B	731	35	372	17753.4	0.6	5.52	2.26	22074
3C	730	35	434	20539.1	0.7	5.7	2.23	40908
3D	731	35	351	17473.1	0.6	5.46	2.25	39380
3A*	834	40	493	18266.1	0.62	5.38	2.26	14598
3B*	834	40	401	16408.3	0.56	5.41	2.16	20725
3C*	834	40	479	19578	0.67	5.44	2.27	39174
3D*	834	40	389	17058.7	0.58	5.52	2.26	40059
3E	1251	70	487	27402.7	0.31	5.35	2.27	45022
3F	1251	70	456	26686.3	0.3	5.52	2.17	63517
3G	1251	70	441	26955.1	0.31	5.34	2.19	116934
3H	1251	70	422	25874.3	0.29	5.54	2.23	119077
3E*	1752	50	466	30482.3	0.35	5.4	2.3	45716
3F*	1752	50	444	30353.6	0.35	5.5	2.3	67625
3G*	1752	50	437	31032.2	0.35	5.5	2.3	119803
3H*	1752	50	429	31979.8	0.36	5.3	2.1	113862
3I	1946	90	485	31631.4	0.18	5.55	2.11	87053
3J	1947	90	450	32631.6	0.18	5.55	2.19	128335
3K	1946	90	432	32614.1	0.18	5.47	2.28	239797
3L	1946	90	408	31504.1	0.18	5.49	2.17	233466
3I*	2190	70	459	35052.9	0.2	5.39	2.14	85942
3J*	2187	70	427	35624.1	0.2	5.23	2.26	131693
3K*	2190	70	416	35821.2	0.2	5.52	2.17	237966
3L*	2187	70	397	35358.4	0.2	5.47	2.21	237700

Distância CAD: Distância percorrida pelo cliente que escolhe receber sua entrega em casa
Distância CDL: Distância percorrida pelo cliente que escolhe receber sua entrega nos DLs

Tabela 4.9 - Resultado da Simulação para Grupo de Cenários 4

Cenários	N° Carga Total	Tamanho Carga Médio	Tempo Viagem Médio(min)	Distância Total(km)	Dist/ Pedido	Distância CAD Média(km)	Distância CDL Média(km)	Distância Carro Total(km)
4A	765	35	438	20436.1	0.7	2.25	2.27	10688
4B	765	35	354	17231.6	0.6	2.32	2.17	17625
4C	764	35	459	23422.5	0.8	2.27	2.3	16962
4D	765	35	367	19267.9	0.66	2.15	2.17	21981
4A*	834	40	519	19456.7	0.66	2.23	2.27	10241
4B*	834	40	412	16877.3	0.58	2.15	2.22	18531
4C*	834	40	533	21733.5	0.75	2.25	2.28	16674
4D*	835	40	422	18718.2	0.64	2.24	2.15	22279
4E	1251	70	505	28714.9	0.32	2.3	2.2	30527
4F	1251	70	468	27482	0.31	2.21	2.2	52678
4G	1251	70	506	30971.9	0.35	2.04	2.26	46955
4H	1251	70	479	31399.7	0.36	2.2	2.13	64736
4E*	1752	50	491	33817.9	0.38	2.24	2.22	31039
4F*	1752	50	460	32083.5	0.36	2.09	2.18	53755
4G*	1752	50	504	37079	0.42	2.21	2.14	48521
4H*	1752	50	474	35101.3	0.4	2.11	2.14	64641
4I	1946	90	512	36285.4	0.2	2.1	2.1	56276
4J	1946	90	470	35758.2	0.2	2.24	2.15	105718
4K	1946	90	502	39634.8	0.22	2.2	2.2	98476
4L	1946	90	467	38998.4	0.22	2.17	2.18	133454
4I*	2502	70	484	38283	0.21	2.15	2.25	62691
4J*	2502	70	443	37575.1	0.21	2.13	2.23	111284
4K*	2502	70	489	43957.2	0.21	2.19	2.2	95435
4L*	2502	70	457	43258.4	0.21	2.27	2.1	127545

Comparando os Grupos de Cenários Base com o Grupo de Cenários 2 de mesma configuração (Tabela 4.7), verifica-se que os cenários que simulam a demanda de 80 pedidos/dia (Grupo A, B C, D, A*, B*, C* e D*) apresentam uma redução na distância percorrida pelos caminhões entre 9 e 25% em relação ao cenário base respectivo. Quando aumenta-se a demanda para 240 pedidos/dia (Grupo E, F, G, H, E*, F*, G,* H*), as distâncias percorridas pelos caminhões no Grupo de Cenários base e Grupo de Cenários 2 são praticamente as mesmas. Podendo até ser maior no Cenário 2, com é o caso dos Cenários 2E, 2G e 2E. Para os cenários com 480 pedidos/dia (Grupo I, J, K, L, I*, J*, K,* L*), a distância percorrida pelos caminhões nos Cenários 2 para todos os grupos é menor quando comparadas com seus respectivos Cenários Base, essa redução chega a ser de até 11%.

O Grupo de Cenários 3 e 4 apresentam distâncias menores em todos os casos quando comparados com o Grupo de Cenários Base, respectivo (Tabela 4.8 e Tabela 4.9). Esse efeito era esperado devido à redução no número de locais de entrega e das tentativas de reentrega (FORKERT e EICHHORN, 2007). Esse resultado corrobora com o encontrado por Cardenas *et al*. (2016) e Esser e Kurte (2007), que obtiveram uma redução dos quilômetros percorridos pelos veículos de carga (*vehicle-kilometers traveled*-VKT) com um número pequeno de implantação de pontos de coleta.

Somente a implantação dos DLs, não seria suficiente para reduzir a distância percorrida (Grupo de Cenários 2). No entanto, quando junto com a implantação dos DLs excluímos a política das três tentativas (Grupo de Cenários 3 e 4), verifica-se que as distâncias percorridas chegam a ser menores em até 37%. As distâncias maiores apresentadas no Grupo de Cenários 4 em comparação com as do Grupo de Cenários 3 são explicadas pelo fato de que no Cenário 4, quando não ocorre a entrega, o entregador precisa se dirigir ao DL mais próximo para deixar a encomenda, sendo que esse DL pode não estar na sua rota ou até já ter sido visitado anteriormente. No Cenário 3, quando o pedido não é entregue, ele é transportado junto com os demais pedidos não entregues de uma única vez ao CD, que usualmente é o ponto de destino da rota, o que não acarreta parada adicional.

Analisou-se também o número de quilômetros percorridos pelos clientes ao buscar suas mercadorias. Os Clientes AD são aqueles que inicialmente optam por receber seus pedidos em casa. Os Clientes DL são aqueles que escolhem receber seus pedidos nos *Lockers*. A distância média percorrida pelos Clientes DL está entre 2.1 km e 2.3 km. Esse fator é importante porque um efeito indesejado da implantação do DL é a viagem extra

de clientes em seus veículos particulares para receber seus pedidos. Se os armários puderem ser acessados em distâncias curtas, os clientes tenderão a pegar seus pedidos a pé ou associar suas viagens diárias em seus veículos particulares com uma parada em uma DL (ou seja, sem distância adicional).

Do contrário, tem-se maiores distâncias médias percorridas pelos Clientes AD no Grupo de Cenários 3, que sugerem o maior uso de modos motorizados para recolher seus pedidos. Quando o local onde os clientes buscam suas entregas falhas passa a ser o DL (Grupo de Cenários 4), tem-se uma redução de 60% da distância individual média percorrida. Este é um ganho muito positivo, pois quanto menor a distância maior será a tendência dos clientes em buscarem suas encomendas por meios não motorizados. O Grupo de Cenários 4 apresentam uma alternativa melhor tanto para os clientes que escolheram receber suas encomendas nas DL quanto para aqueles que utilizariam o sistema para buscar uma entrega não realizada. Segundo McLeod *et al*. (2006), a maior parte dos clientes preferem retirar sua entrega falha em um DL ao invés de ir buscá-las no CD quando isto representar uma economia em tempo e distância percorrida.

Um indicador de desempenho importante analisado foi a distância média por pedido. Verifica-se que esta distância é muito maior nos Cenários com 80 pedidos/dia, sendo em média 0,65 km/pedido no Grupo de Cenários 2, 0,63 km/pedido no Grupo de Cenários 3 e 0,67 km/pedido no Grupo de Cenários 4. Nos Grupos I, J, K e L, cenários com 480 pedidos/dia, esse valor cai para 0,23; 0,19 e 0,21 km/pedido para o Grupo de cenários 2, 3 e 4, respectivamente. Nos cenários com 240 pedidos/dia, o caminhão entrega em média 3 pedidos por parada, quando aumenta-se para 480 pedidos/dia, esse valor é em média 5 pedidos/parada. Diferente dos cenários simulados com 80 pedidos/dia onde tem-se uma média de entrega de 1 pedido/parada.

4.3.1 Resultados dos Custos

Com os resultados obtidos na simulação, foram calculados os custos e ganhos de cada Grupo de Cenários. A Tabela 4.10 apresenta os resultados do cálculo dos custos para os Grupos de Cenários A, B, C e D; Estes cenários foram simulados para demanda diária de 80 pedidos/dia e 5 minutos de tempo de parada. A Tabela 4.11 apresenta os resultados do cálculo dos custos para os Grupos de Cenários E, F, G e H. Estes cenários foram simulados para demanda diária de 240 pedidos/dia e 5 minutos de tempo de parada. A Tabela 4.12 apresenta os resultados do cálculo dos custos para os Grupos de Cenários I, J, K e L. Que foram simulados para demanda diária de 480 pedidos/dia e 5 minutos de

tempo de parada. A Figura 4.8 apresenta o Custo total de cada cenário simulado e a Figura 4.9 apresenta o Lucro Líquido.

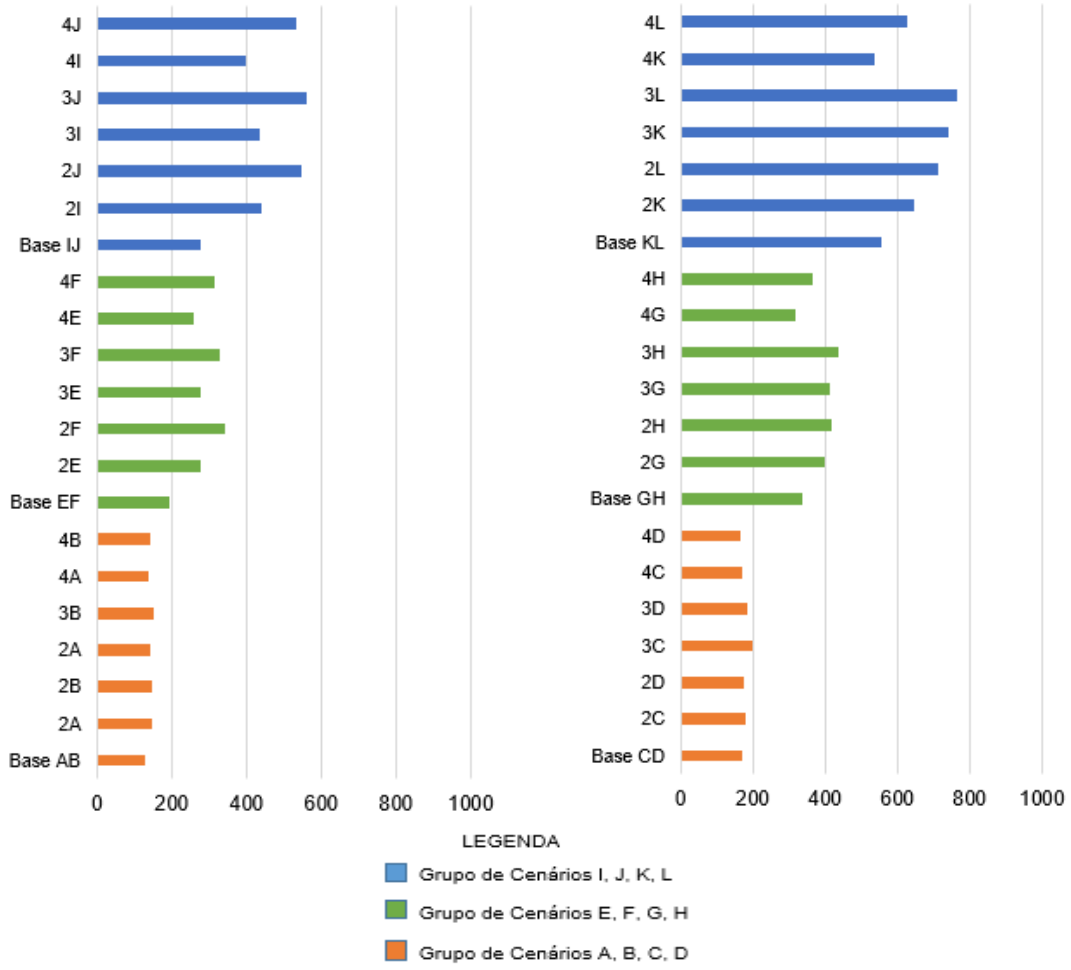


Figura 4.8 - Gráfico dos custos totais

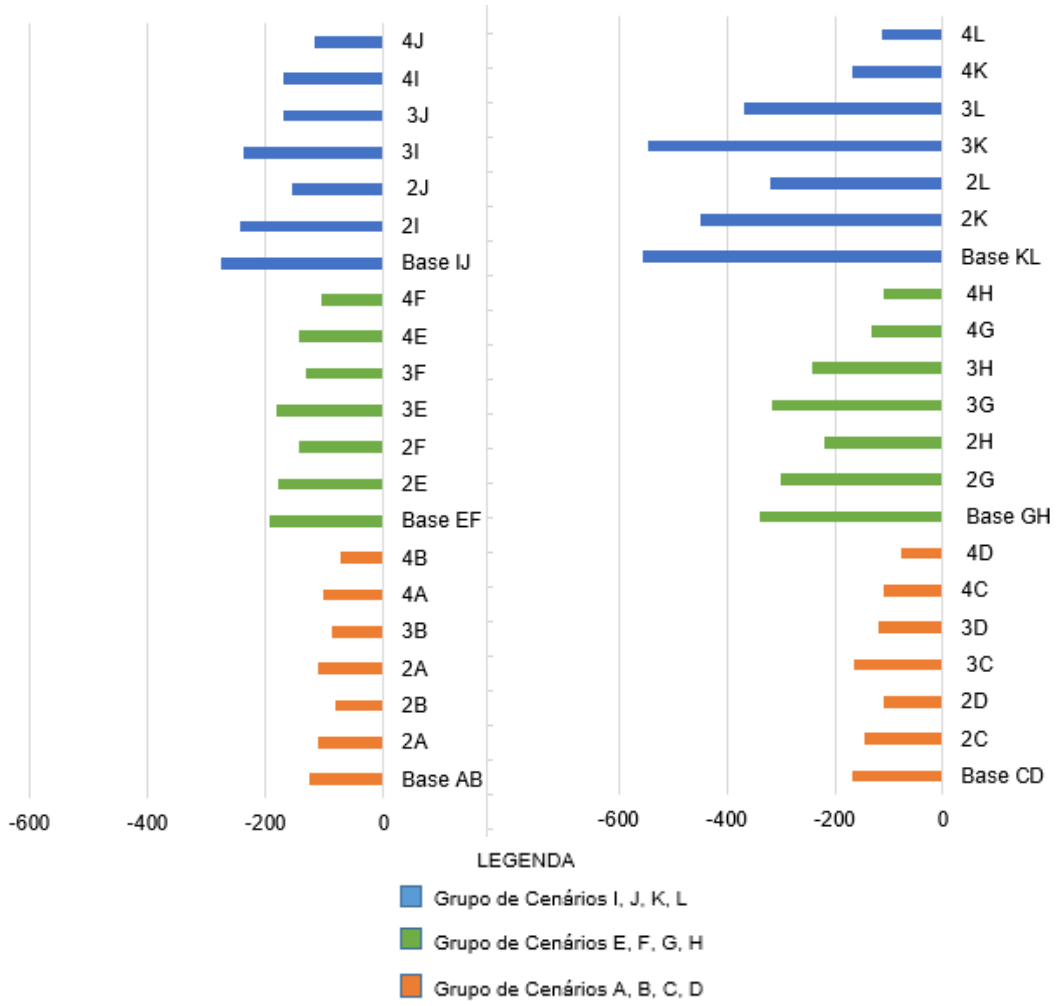


Figura 4.9 - Gráfico dos Lucros Líquidos

Tabela 4.10 - Custos em milhares de reais para os Grupos A, B, C, D

Cenários com taxa de insucesso na primeira tentativa de 5%									
Cenário	**CCT**	**CET**	**CT**	**CCC**	**CEC**	**Cree**	**Ghos**	**CT**	**LL**
Base AB	10.531	73.103	32.04	0	0	11.3	0	126.973	-126.973
2A	9.645	66.953	33.542	4.272	22.186	8.76	32.795	145.357	-112.562
2B	7.893	54.796	27.241	8.544	44.369	6.22	65.765	149.064	-83.299
3A	9.329	64.765	33.444	5.98	31.052	0	33.105	144.57	-111.465
3B	8.163	56.669	27.609	9.849	51.148	0	65.735	153.439	-87.704
4A	9.397	65.232	33.907	5.084	26.4	0	38.63	140.02	-101.39
4B	7.923	55.003	27.611	8.383	43.534	0	69.43	142.454	-73.024
Cenários com taxa de insucesso na primeira tentativa de 25%									
Base CD	11.106	77.1	32.823	0	0	48.14	0	169.17	-169.17
2C	10.08	69.974	33.58	4.522	23.48	37.3	32.89	178.936	-146.046
2D	8.929	61.987	28.468	8.167	42.411	26.48	65.86	176.442	-110.582
3C	9.444	65.561	31.711	14.762	76.661	0	33.04	198.139	-165.099
3D	8.034	55.774	26.142	15.548	80.741	0	65.64	186.238	-120.598
4C	10.77	74.765	35.537	8.068	41.896	0	61.14	171.035	-109.895
4D	8.86	61.503	28.639	10.455	54.292	0	86.255	163.749	-77.494

Tabela 4.11 -Custos em milhares de reais para os Grupos E, F, G, H

Cenários com taxa de insucesso na primeira tentativa de 5%									
Cenário	**CCT**	**CET**	**CT**	**CCC**	**CEC**	**Cree**	**Ghos**	**CT**	**LL**
Base EF	13.713	95.193	51.403	0	0	33.84	0	194.149	-194.149
2E	13.895	96.458	65.717	12.103	62.852	26.22	98.665	277.245	-178.58
2F	13.664	94.858	61.174	24.783	128.698	18.64	196.87	341.817	-144.947
3E	12.6	87.469	62.469	18.748	97.358	0	98.055	278.644	-180.589
3F	12.271	85.183	58.422	28.261	146.757	0	198.055	330.893	-132.838
4E	13.203	91.658	64.712	14.52	75.4	0	115.54	259.493	-143.953
4F	12.636	87.723	60.071	25.056	130.115	0	208.71	315.6	-106.89
Cenários com taxa de insucesso na primeira tentativa de 25%									
Base GH	17.27	119.888	58.274	0	0	144.12	0	339.552	-339.552
2G	17.576	122.009	70.369	12.545	65.148	111.66	98.475	399.306	-300.831
2H	16.121	111.914	64.171	23.509	122.082	79.14	197.75	416.937	-219.187
3G	12.394	86.041	56.636	42.018	218.201	0	98.93	415.29	-316.36
3H	11.897	82.591	54.094	46.956	243.84	0	196.61	439.378	-242.768
4G	14.241	98.862	64.794	22.334	115.978	0	183.755	316.209	-132.454
4H	14.438	100.228	61.475	30.791	159.897	0	257.425	366.828	-109.403

Tabela 4.12- Custos em milhares de reais para os Grupos I, J, K, L

Cenários com taxa de insucesso na primeira tentativa de 5%									
Cenário	**CCT**	**CET**	**CT**	**CCC**	**CEC**	**Cree**	**Ghos**	**CT**	**LL**
Base IJ	16.91	117.391	74.459	0	0	67.64	0	276.401	-276.401
2I	17.271	119.892	102.857	23.925	124.241	52.52	196.423	440.705	-244.282
2J	16.192	112.404	93.239	46.725	242.643	37.34	392.867	548.542	-155.675
3I	14.544	100.967	96.522	35.812	185.973	0	197.005	433.819	-236.814
3J	15.004	104.16	89.792	57.078	296.407	0	393.67	562.442	-168.772
4I	16.684	115.823	102.038	26.767	139.001	0	230.645	400.314	-169.669
4J	16.442	114.14	93.59	50.284	261.123	0	417.88	535.578	-117.698
Cenários com taxa de insucesso na primeira tentativa de 25%									
Base KL	22.86	158.693	85.379	0	0	287.74	0	554.672	-554.672
2K	20.97	145.574	106.226	24.419	126.81	223.38	197.03	647.379	-450.349
2L	20.175	140.053	97.754	47.765	248.045	158.62	393.552	712.411	-318.859
3K	14.996	104.104	86.061	86.717	450.323	0	196.865	742.201	-545.336
3L	14.486	100.561	81.3	91.554	475.441	0	394.265	763.342	-369.077
4K	18.225	126.514	99.914	46.839	243.235	0	366.845	534.726	-167.881
4L	17.932	124.483	93.048	63.476	329.631	0	514.505	628.57	-114.065

As tabelas 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam: o Custo de Combustível do Caminhão (CCT), o Custo Externo do Caminhão (CET), o Custo com o Tempo do Caminhão (CT), Custo de Combustível do Cliente (CCC), o Custo Externo do Cliente (CEC), o Custo de reentrega (Cree), o Ganho de hospedagem (Ghos), Custo Total (CT) e o Lucro Líquido(LL).

Como pode-se observar o Grupo de Cenários Base tem um Custo Total menor em todas as configurações (Figura 4.8), isso é explicado, pois nestes cenários não se tem o deslocamento dos clientes e consequentemente os custos referentes aos clientes (CCC e CEC) são zero. No entanto, ao considerar o ganho de hospedagem obtido com o uso dos

DL, o Lucro líquido nos Grupo de Cenários 2 ultrapassa o obtido no Grupo de Cenários Base fazendo com que o Grupo de Cenários Base tenha o pior Lucro Líquido.

O Grupo de Cenários que simulam a maior taxa de insucesso na primeira tentativa entrega, apresentam maior custo total quando comparados com aqueles de mesma configuração, porém com menor taxa de insucesso na primeira tentativa de entrega. Isso ocorre, porque os custos referentes ao caminhão (CCC, CEC, CT) e Custo de Reentrega, são maiores nos cenários com taxa de insucesso maior, com exceção do Grupo de Cenários 3 onde o custo dos caminhões não se altera com a maior taxa de insucesso. Isso é explicado, pois no Grupo de Cenários 3 não há reentregas e o caminhão leva os pedidos não entregues para o CD ao fim do dia, não adicionando paradas extras a sua rota como é o caso do Grupo de Cenários 2 e 4.

No Grupo de Cenários 4 observa-se uma pequena diferença no lucro líquido alterando a taxa de insucesso. Conforme aumenta-se o número de pedidos/dia no Grupo de Cenários 4, é possível observar que o Lucro Líquido passa a ser maior nos cenários com maior taxa de insucesso, devido ao maior ganho de hospedagem nestes cenários. Sendo assim, os *Lockers* podem ajudar a reduzir os custos nos cenários onde tem-se maiores taxas de insucesso na primeira tentativa de entrega, essas diferenças podem ser observadas na Figura 4.9.

O Grupo de Cenários que possuem em sua configuração uma porcentagem de uso de DL de 45% (B, D, F, H, J e L), quando comparados com os de mesma configuração que simulam 25.5% de uso de DL (A, C, E, G, I, K), possuem um maior Lucro Líquido que varia entre 17 a 36%

Quando se olha para os custos dos clientes no Grupo de Cenários 3 percebe-se que nos cenários, que simulam uma maior taxa de insucesso na primeira tentativa (C, D, G, H, K e L), os custos externos e com combustível aumentaram entre 36% e 59% quando comparados com os cenários com menor taxa de insucesso (A, B, E, F, I e J). O maior insucesso leva um maior número de clientes a retirar seus pedidos no CD.

Os custos relativos ao caminhão são maiores no Grupo de Cenários 4 quando comparados com o Grupo de Cenários 3. Entretanto, menores custos do cliente ajudam a compensar os custos maiores do caminhão mantendo o custo total menor no Grupo de Cenários 4. Nestes cenários tem-se uma grande redução dos custos externos e custos de combustível dos clientes, sendo que a distância média para buscar um pedido no *locker* chega a ser 60% menor que ir ao CD. O cenário 4 é também o que apresenta o maior ganho de hospedagem. Mesmo os custos com o caminhão sendo maiores, devido aos

menores custos dos clientes e o maior ganho de hospedagem, o Grupo de Cenários 4 depois do Cenário Base apresentam o menor Custo Total (Figura 4.8) e em todas as configurações o maior Lucro Líquido (Figura 4.9). A Figura 4.10 apresenta os cenários que possuem os menores Custos totais e maiores Lucros Líquidos, para 80 pedidos/dia, 240pedidos/dia e 480 pedidos/dia.

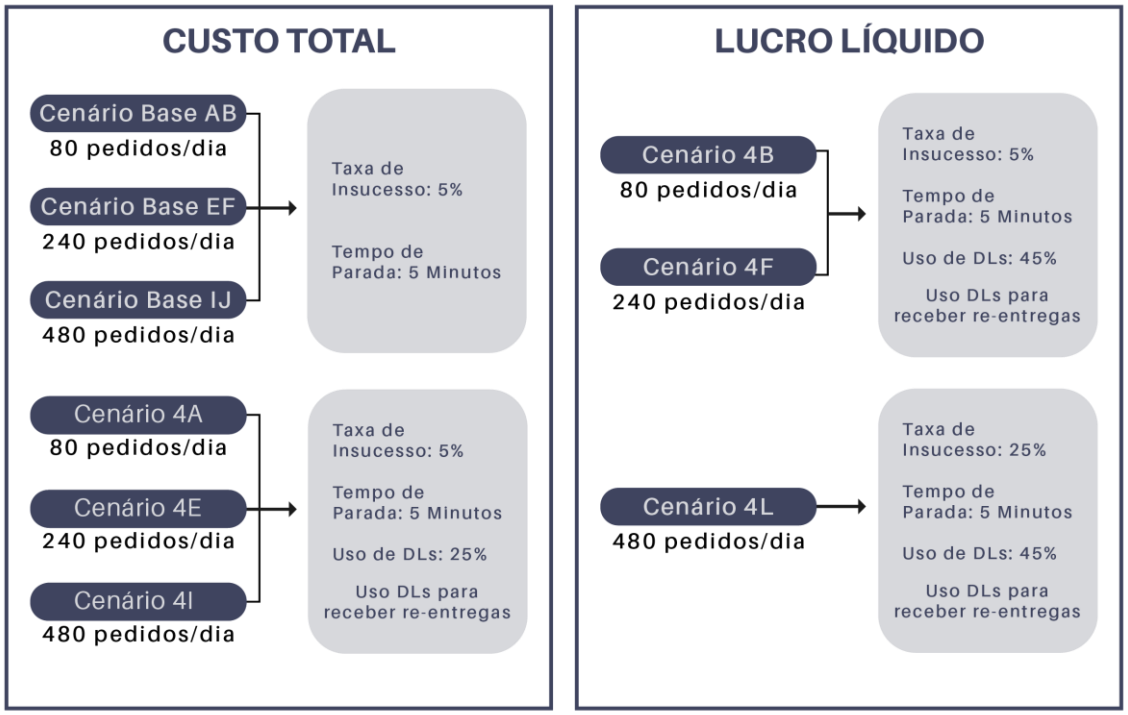


Figura 4.10- Cenários com Melhores resultados em termos de Custo Total e Lucro Líquido

A Figura 4.10 apresenta um resumo dos cenários que apresentaram os melhores resultados em termos de Custo Total e Lucro Líquido. O Grupo de Cenários Base com menor taxa de insucesso, apresentam o menor custo total, seguidos do Grupo de Cenários 4 com menor taxa de insucesso e 25% do uso de DLs. O Grupo de Cenários 4, representam o maior Lucro Líquido para as diferentes demandas simuladas. Para os cenários com 80 e 240 pedidos/dia, tem-se os cenários que simulam o maior uso de DLs (45%) e a menor taxa de insucesso (4B e 4F) e o maior uso de DLs e maior taxa de insucesso para os cenários de 480 pedidos/dia(4L).

4.3.1.1 Comparação dos Resultados para diferentes tempos de parada

A fim de avaliar a influência da variação do parâmetro de entrada tempo de parada nos custos realizou-se a comparação entre os cenários que simulam o tempo de parada de

5 minutos com aqueles que simulam o tempo de parada de 10 minutos. A Tabela 4.13 apresenta essa comparação percentual

Tabela 4.13 - Relação percentual dos cenários com diferentes Tempos de Parada

	CCT	CCC	CET	CEC	CT	Cree	Ghos	CTOTAL	LL
Base AB*/Base AB	-4.8		-4.8		27.8	0.0		6.3	6.3
2A*/2A	-5.8	-0.1	-5.8	-0.1	23.9	0.0	-0.3	4.2	5.4
2B*/2B	-0.2	-7.4	-0.2	-7.4	13.0	0.0	0.1	0.2	0.2
3A*/ 3A	-11.1	1.6	-11.1	1.6	20.6		-1.5	1.3	2.1
3B*/ 3B	-8.2	-7.1	-8.2	-7.1	19.4		-0.2	-1.5	-2.5
4A*/ 4A	-5.0	-4.4	-5.0	-4.4	23.9		-1.1	3.9	5.8
4B*/4B	-2.1	4.9	-2.1	4.9	21.6		0.6	5.9	10.5
Base CD*/Base CD	7.3		7.3		33.5	0.0		12.2	12.2
2C*/2C	2.9	-7.8	2.9	-7.8	28.3	0.0	-0.2	7.1	8.6
2D*/2D	0.5	1.1	0.5	1.1	14.5	0.0	0.2	3.2	4.9
3C*/ 3C	-4.9	-4.1	-4.9	-4.1	22.6		-1.1	1.1	1.5
3D*/ 3D	-2.4	1.6	-2.4	1.6	21.4		0.1	3.7	5.5
4C*/ 4C	-7.8	-1.7	-7.8	-1.7	21.9		-0.4	1.7	2.8
4D*/4D	-2.9	1.3	-2.9	1.3	20.4		-0.7	3.7	8.1
Base EF*/Base EF	14.3		14.3		32.5	0.1		18.1	14.3
2E*/2E	14.1	0.3	14.1	0.3	28.3	0.1	0.4	13.8	14.1
2F*/2F	16.4	-2.6	16.4	-2.6	30.2	0.1	0.2	11.4	16.4
3E*/ 3E	10.1	1.5	10.1	1.5	25.0		0.3	10.9	10.1
3F*/ 3F	12.1	6.5	12.1	6.5	26.5		-0.5	12.4	12.1
4E*/ 4E	15.1	1.7	15.1	1.7	38.0		0.6	17.7	15.1
4F*/4F	14.3	2.0	14.3	2.0	39.2		0.0	14.6	14.3
Base GH*/Base GH	4.9		4.9		25.6	-9.4		4.1	4.9
2G*/2G	0.8	-4.5	0.8	-4.5	21.3	-7.3	-7.0	2.3	0.8
2H*/2H	10.2	5.4	10.2	5.4	28.5	0.2	-0.3	10.5	10.2
3G*/ 3G	13.1	3.1	13.1	3.1	27.4		-0.5	9.7	13.1
3H*/ 3H	19.1	-5.2	19.1	-5.2	29.5		0.4	6.5	19.1
4G*/ 4G	16.5	3.2	16.5	3.2	39.6		0.1	17.0	16.5
4H*/4H	10.5	-0.1	10.5	-0.1	39.2		0.0	11.5	10.5
Base IJ*/Base IJ	11.7		11.7		25.2	0.1		13.4	13.4
2I*/2I	9.3	-2.9	9.3	-2.9	19.2	-0.2	0.6	7.2	11.9
2J*/2J	12.8	2.1	12.8	2.1	20.6	-0.2	0.3	8.2	23.6
3I*/ 3I	9.8	-0.7	9.8	-0.7	18.0		0.3	6.9	11.7
3J*/ 3J	8.4	3.2	8.4	3.2	18.8		0.2	7.1	20.1
4I*/ 4I	5.2	10.2	5.2	10.2	17.9		0.2	10.8	22.1
4J*/4J	4.8	5.0	4.8	5.0	18.5		0.1	7.6	27.1
Base KL*/Base KL	1.6		1.6		25.7	-2.5		4.4	4.4
2K*/2K	0.5	-4.5	0.5	-4.5	16.7	-7.1	-6.1	0.1	2.6
2L*/2L	9.1	2.9	9.1	2.9	23.5	-0.1	0.1	7.1	14.5
3K*/ 3K	9.0	-1.1	9.0	-1.1	19.5		0.0	3.5	4.7
3L*/ 3L	10.9	2.3	10.9	2.3	20.6		0.2	6.0	11.4
4K*/ 4K	9.8	-3.2	9.8	-3.2	20.8		-0.4	5.8	17.0
4L*/4L	9.8	-4.6	9.8	-4.6	21.2		0.0	3.6	17.0

Os cenários com o tempo de parada de 10 minutos são denominados da mesma forma que os de 5 minutos, porém diferenciados por um (*).

Como se observa na Tabela 4.13, a maior diferença em termos de custo nos cenários simulados com tempo de parada de 10 minutos é em relação aos Custos do Caminhão, com um destaque ao Custo com o Tempo, chegando este a ser até 39,2% maior no Cenário 4F* e 4H* do que no Cenários 4F e 4H com tempo de parada de 5 minutos. Em geral, os demais custos apresentam uma variação consideravelmente pequena, mas

não proporcional. Em algumas comparações são maiores e em outras são menores. Existe também uma variação do Custo Total e do Lucro Líquido, mas esta não é tão grande quanto a observada no Custo com o Tempo. O custo com o tempo é maior nos cenários com tempo de parada igual a 10 pois, em geral nestes cenários tem-se um maior número de viagens e maior de tempo de viagem.

Para uma visualização melhor do comportamento dos custos elaborou-se os gráficos apresentados na Figura 4.11, para comparação dos custos para os cenários dos Grupos A, B, C, D com os Grupos A*, B*, C*, D*.

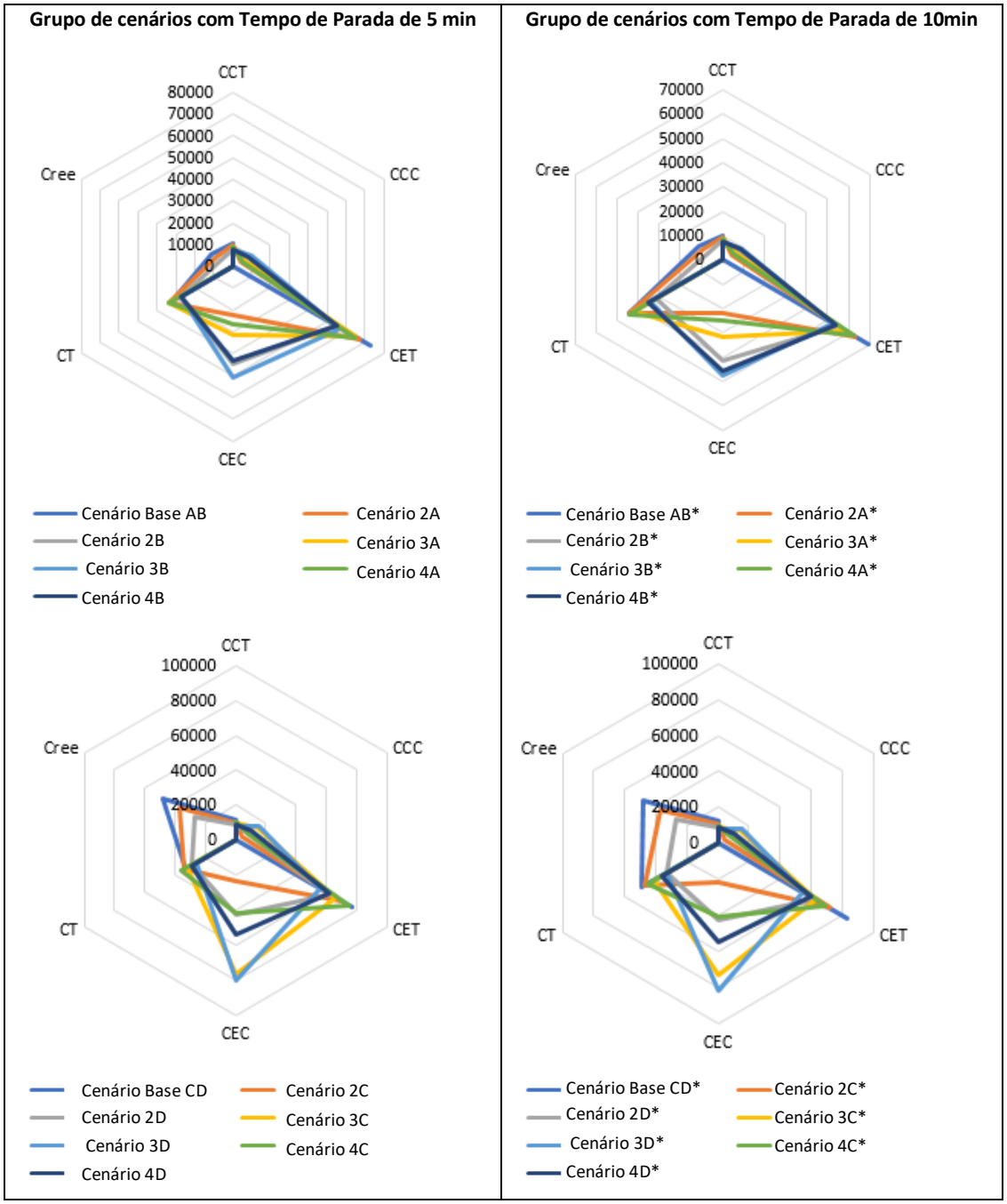


Figura 4.11 - Comparação dos Custos para os Cenários com 80 Pedidos/dia e Diferentes Tempos de Parada

Ainda analisando a Figura 4.11, verifica-se que existe um variação nos custos entre os cenários com diferentes tempos de parada, sendo o Custo com o Tempo o mais evidente. No entanto, o comportamento dos custos segue um mesmo padrão.

Quando se simula um cenário com tempo de parada maior, o número de pedidos entregue pelo caminhão por dia é menor. Necessitando assim, de um número maior de caminhões para entregar a demanda diária, resultando em um número maior de viagens para entregar a mesma quantidade de pedidos de quando se simula um tempo de parada menor. Esse número de viagens é utilizado para calcular o Custo com o Tempo, fato esse que implica na grande diferença observada deste custo. Os gráficos para os demais Grupos de Cenários seguem o mesmo comportamento dos apresentados na Figura 4.11 e podem ser visualizados no Apêndice B

4.3.2 Comparação dos Resultados das diferentes densidades de pedido

Para facilitar as comparações entre as diferentes densidades de pedidos simuladas, além dos resultados já apresentados nas Tabelas:4.10, 4.11 e 4.12 calculou-se os custos por pedido. Os menores e maiores custos por pedidos de cada uma das densidades simuladas estão apresentados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Comparação dos custos por pedido em reais das diferentes densidades simuladas

Cenários com 5 minutos de tempo de parada									
		CCT	**CET**	**CT**	**CCC**	**CEC**	**GHOS**	**CREE**	**CTOTAL**	**LL**
80	**Menor**	0,27	1,85	0,9	0	0	0	0	4,26	-6,31
	Maior	0,51	3,54	1,62	0,53	2,76	3,76	1,52	10,07	-2,5
240	**Menor**	0,14	0,94	0,57	0	0	0	0	2,18	-3,61
	Maior	0,18	1,23	0,74	0,54	2,78	2,94	1,41	5,02	-1,11
480	**Menor**	0,08	0,57	0,42	0	0	0	0	1,55	-3,11
	Maior	0,11	0,78	0,58	0,52	2,71	2,94	1,41	4,36	-0,65
Cenários com 10 minutos de tempo de parada									
		CCT	**CET**	**CT**	**CCC**	**CEC**	**GHOS**	**CREE**	**CTOTAL**	**LL**
80	**Menor**	0,27	1,79	1,06	0	0	0	0	4,54	-6,64
	Maior	0,51	3,56	1,9	0,54	2,81	3,76	1,51	10,4	-2,8
240	**Menor**	0,14	1,11	0,84	0	0	0	0	2,65	-4,13
	Maior	0,18	1,36	1,03	0,51	2,65	2,94	1,42	5,37	-1,66
480	**Menor**	0,08	0,64	0,56	0	0	0	0	1,79	-3,27
	Maior	0,11	0,81	0,72	0,53	2,78	2,94	1,41	4,63	-0,78

Associamos os cenários que simulam 80 pedidos/dia com entregas em cidades de pequeno porte, com baixa densidade populacional. Os cenários com 240 pedidos/dia a cidades de médio porte e densidade. Já os cenários com 480 pedidos/dia fazem referências

as grandes cidades com alta densidade populacional. Além do porte das cidades, esses valores podem representar diferentes transportadoras com uma baixa, média e alta participação do mercado. Segundo Visser, Nemoto e Browne (2014), as transportadoras que possuem uma grande participação de mercado são capazes de agrupar e organizar suas entregas, tornando suas operações mais eficientes.

A ideia por trás da simulação de diferentes valores de pedidos por dia é que, se a densidade de entregas for maior, um motorista pode executar menos paradas em uma quantidade fixa de quilômetros e até entregar mais pedidos por parada ou pode executar a mesma quantidade de paradas percorrendo um número menor de quilômetros.

Pode-se observar na Tabela 4.14 que a diferença dos custos por pedido nos cenários com diferentes tempos de parada (5 e 10 minutos) é muito pequena. O Custo com o Tempo por pedido foi o que apresentou uma maior diferença sendo essa 28,15% (R$1,03 versus R$0,74).

O custo por pedido mais representativo em todos os cenários simulados é o Custo Externo do Caminhão, seguido pelo Custo Externo dos Clientes e Custo com o Tempo. Ainda, verifica-se que a diferença entre o maior e o menor valor dos custos por pedido é reduzida conforme simula-se cenários com maior número de pedidos.

Os custos por pedido referentes a operação do caminhão: Custo com Combustível, Custo Externo e Custo com o Tempo são os que apresentam maior variação como podemos observar na Tabela 4.14 Já os Custos com Combustível do Cliente/Pedido, Custo Externo do Cliente/Pedido, Custo de Reentrega/Pedido, e Ganho de hospedagem/Pedido, não sofrem grandes alterações quando se alteram as densidades.

Os cenários onde foi simulado o que podemos chamar de uma área urbana densamente povoada (480 pedidos/dia) em comparação a entrega área pouco povoada (80 pedidos/dia) forneceu uma possível diferença de custo de 56,7% por entrega (R$10,07 versus R$4,36). Já quando se compara uma área urbana densamente povoada (480 pedidos/dia) com em uma área urbana com densidade média (240 pedidos/dia) essa diferença é de só 13,67% (R$5,05 versus R$4,36). Como visto, os cenários com maior densidade geram custos totais maiores. No entanto, o custo por pedido é menor nestes cenários, devido ao menor número de paradas realizadas e maior consolidação das entregas.

Observa-se que para os cenários simulados com 480 pedidos/dia, obteve-se uma consolidação maior das entregas, chegando até entregar 5 pedidos por parada. Mesmo com a maior consolidação obtida em todos cenários com 480 pedidos/dia, o uso dos DL

demonstrou resultados melhores em termos de maior Lucro Líquido e menor Custo Total. Verificou-se que os menores valores de custos/pedidos apresentados na Tabela 4.14 referem-se aqueles cenários com maior uso dos DLs (Cenários 4). Ainda, pode-se dizer que o maior uso de *Lockers* traz benefícios tanto para os centros urbanos com maior densidade populacional quanto aqueles com menor densidade populacional.

4.4 Discussões

De acordo com os resultados, os Cenários Base apresentaram o maior número de reentregas e o pior Lucro Líquido em todas as configurações simuladas. De acordo com o PCAPREDICT (2018), em pesquisa realizada com 300 varejistas do *e-commerce* do Reino Unido, EUA, e Alemanha, o custo de uma entrega não realizada foi estimado em US$17,78. No entanto, os varejistas apontam que esse valor é subestimado, uma vez que não leva em conta o dano que uma entrega não realizada pode causar à reputação da marca, da possível perda de clientes existentes e da dificuldade de adquirir novos clientes. Dessa forma, o uso dos DLs, além de reduzir o custo das reentregas, podem ajudar a melhorar a reputação das lojas de comércio eletrônico.

Além de contribuir para a redução do número de reentregas, a implantação dos DLs pode gerar uma renda extra para os supermercados que os hospedam. Como pode ser visto, os supermercados ganhariam um valor médio de até R$1.438,00/mês nos cenários com 80 pedidos/dia e R$ 8.575/ mês nos cenários com 480 pedidos/dia. Ainda, o fluxo extra de pessoas que visitam a loja para usar o DL pode aumentar o número de vendas nos supermercados. Segundo Iwan, Kijewska e Lemke (2016), a cada quatro usuários de DL, um realizará compras quando for coletar seus pedidos. Segundo Oliveira *et al.* (2017a), os clientes do comércio eletrônico na cidade de Belo Horizonte demonstraram a disposição de pagar um adicional de R$ 0,50 por entrega para usar os DLs, valor este que poderia contribuir para o pagamento da instalação de DLs nos supermercados.

Os custos que tem maior representatividade no total de custos são os custos com tempo e os custos externos, e para os cenários que possuem reentrega o Custo de Reentrega. Os custos externos totais (CET+ CEC) tendem a ser maiores com a implantação dos DLs. Isto ocorre porque no Grupo de Cenários 3 os clientes percorrem grandes distâncias para buscar suas encomendas no CD, que geralmente estão localizados em regiões distantes de zonas residenciais, incentivando assim o uso de modos

motorizados. Pode-se observar que a distância percorrida pelos clientes AD contribui muito com custos externos equiparando em termos de custos externos em alguns cenários aos dos caminhões e até ultrapassando os custos de combustível dos caminhões. Estes resultados se assemelham com o encontrado em Edwards *et al*. (2010), onde os autores ainda ressaltam que é pouco provável que nestas condições ocorra uma mudança modal devido à localização do DC.

No Grupo de Cenários 4, onde há o maior uso dos DLs, os custos externos totais ainda são maiores que os dos Cenários de Base. No entanto, verifica-se uma redução destes custos quando comparados com o Grupo de Cenários 3, reduções nas externalidades também são observadas por Edwards *et al.* (2010) ao analisar os CDPs como locais de entrega para os pedidos com falhas. Segundo os autores, isso ocorre pois o consumidor percorre em média menores distâncias para coletar as primeiras entregas falhas nos DL, em vez de viajar para o CD. Cardenas *et al.* (2017) também encontraram que a consolidação promovida pelo maior uso dos DLs é benéfica para custos externos. No entanto, Iwan, Kijewska e Lemke (2016), afirmam que a maior utilização dos *lockers* deve ser conciliada com uma localização adequada, pois distâncias maiores renderão uma porcentagem maior de clientes que utilizaram seus carros para retirar os pedidos.

Morganti *et al.* (2014) atestam em seu estudo que estratégias para reduzir as falhas nas entregas como, por exemplo, ligar para o cliente ausente, entregar na portaria ou em um vizinho, tem sido cada vez mais utilizadas para reduzir os custos das operações da última milha. Os resultados deste estudo indicam que, os cenários com maior Lucro Líquido são os que possuem menor taxa de insucesso na primeira tentativa combinado com o maior uso dos DLs. Desse modo, utilizar os *Delivery Lockers* associados as estratégias de redução de falhas nas entregas, podem representar um aumento significativo nos lucros

Esses resultados destacam que a auto-coleta do cliente é altamente eficiente em termos de custo para os transportadores. No entanto, a promoção da auto-coleta pode ser difícil, já que a maioria dos clientes está acostumada à comodidade das entregas em casa. Uma ideia para promover a auto-coleta é a oferecer de reduções no valor do frete cobrado. Os resultados sugerem que com a economia alcançada pela consolidação da carga nos cenários onde temos a implantação nos *Lockers* comparados com o Grupo de Cenários Base as empresas poderiam oferecer descontos de até R$19 por pedido para os clientes que escolherem retirar a própria encomenda, sem alterar o lucro das transportadoras, resultado similar ao encontrado por Arnold *et al*. (2018).

Um dos efeitos negativos do uso dos *Delivery Lockers* é a geração de viagens exclusivas de clientes buscando seus pedidos de carro (MORGANTI et al., 2014). No entanto, de acordo com Arnold et al. (2018) e Cardenas et al. (2016)**,** se o DL estiver a uma distância pequena, menos pessoas utilizarão seus carros para buscar as encomendas, fazendo com que os clientes se sintam mais dispostos a aceitar a opção de auto-coleta.

Como observado nos resultados da simulação, as viagens dos clientes até os DLs apresentam uma distância média de ida e volta de 2,1 quilômetros. Deste modo, Morganti, Dablanc e Fortin (2014) e Kedia, Kusumastuti e Nicholson (2017) ressaltam a importância de se conhecer qual a distância que o consumidor julga aceitável para percorrer a pé ou de bicicleta, pois essa informação ajudará a determinar qual o tamanho da rede de DLs a ser instalada.

Neste sentido, Oliveira *et al.* (2017b) ressaltam a importância de estudos que evidenciem o comportamento dos consumidores. Dados factíveis permitirão avaliar qual distância incentivaria os clientes a utilizarem meios não motorizados para buscar suas encomendas e, até mesmo, qual a localização seria mais propicia ao encadeamento de viagens. Masteguim *et al.* (2018) atestam que a distância entre clientes e DL pode ser reduzida com a abertura de mais DL na cidade, o que requer um investimento significativo e pode desestimular a implantação desta iniciativa. O envolvimento e patrocínio das autoridades públicas poderiam favorecer este processo. No entanto, olhando os custos externos desta opção, que são os que as autoridades públicas principalmente buscam reduzir, não seria interessante a promoção do conceito de entrega baseada na auto-coleta, uma vez que as externalidades aumentam. Arnold *et al.* (2018) sugerem que as autoridades auxiliem a promover o uso de DL, sob a condição de que os transportadores reduzam os custos externos. Isso pode ser feito utilizando bicicletas, veículos com combustíveis alternativos e veículos elétricos, para a realização das entregas (ALJOHANI e THOMPSON, 2018; TEOH *et al.*, 2018).

Segundo Cardenas (2019), a maior densidade de entregas é essencial para alcançar a eficiência nas entregas da última milha. Assim como evidenciado neste estudo, as entregas em regiões com menor demanda diária podem ser até o dobro mais caras que aquelas com maior demanda diária, o que corrobora com o encontrado por Gevaers, Van de Voorde e Vanelslander (2014). Nas áreas urbanas, onde existe uma densidade maior de entregas, as transportadoras podem se beneficiar de custos mais baixos. Contudo, de acordo com Holguín-Veras *et al.* (2015), as externalidades enfrentadas pelos moradores dessas regiões são maiores, com impactos em congestionamento, ruído e emissões. No

final, as várias partes interessadas precisam gerenciar diferentes externalidades em diferentes regiões, o que sublinha as dificuldades associadas à última milha.

A consolidação observada nos cenários com maior demanda diária permitiu a realização de um maior número de entregas por viagem, reduzindo assim os custos por pedidos nestes cenários. Arnold *et al.* (2018) explicam em seu estudo que, com uma densidade maior de entregas é gasto um tempo menor para dirigir de cliente em cliente, portanto, mais clientes podem ser visitados em uma rota. Assim como, sugerem os resultados apresentados neste estudo, os autores encontraram que a eficiência alcançada é maior em cenários com maior densidade de pedidos. Vallino, Maggi e Beretta (2019) acrescentam que transportadoras que operam com uma alta participação no mercado são considerados mais ecológicos, devido à alta densidade de entregas alcançada. No entanto, esses cenários trazem melhores resultados quando se tem o maior uso de *lockers,* sendo assim, tanto os centros urbanos com maior densidade populacional quanto aqueles com pequena densidade populacional podem obter ganhos com a implantação destas medidas.

No Brasil não se observa ainda os ganhos com consolidação, devido a pequena e recente utilização dos DL, que estão ainda em teste na cidade de São Paulo, com poucos pontos. O responsável pelas operações destaca que, alguns ganhos já podem ser observados. Clientes que residem em zonas periféricas, por exemplo, onde as transportadoras não realizam o serviço de entrega, agora podem utilizar estes locais para receber suas mercadorias, aumentando assim a capilaridade das entregas e as vendas online.

Embora o estudo tenha sido desenvolvido para uma região específica de Belo Horizonte, os resultados aqui apresentados refletem a realidade de quase todas as grandes cidades brasileiras e latino-americanas: as entregas não são deixadas sem supervisão na rua devido ao risco de roubo. Por se tratar de um *e-commerce* em desenvolvimento, as lojas não podem oferecer diversas opções de entrega aos seus clientes, como, por exemplo, um serviço de janela de horários compatível com um horário conveniente para os clientes. Isto implica, na maioria dos casos, uma maior chance de reentrega, porque o tempo de entrega das empresas de transporte geralmente coincide com o tempo que os clientes estão no trabalho. Assim, o uso de DLs é uma opção de entrega para os clientes, trazendo-lhes mais flexibilidade e reduzindo o número de reentregas para as transportadoras.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho se propôs modelar, construir, implementar e analisar, através da Modelagem e Simulação Baseada em Agentes (MSBA), a partir de cenários *"what if",* a implantação dos *Delivery Lockers* como solução da última milha para as entregas do comércio eletrônico. Desta forma, a pesquisa contribui com o conhecimento científico na utilização da MSBA como ferramenta de suporte a tomada de decisão aplicada a logística urbana. Destaca-se que a MSBA desenvolvida neste trabalho pode ser utilizada em outras cidades e regiões, uma vez que os agentes a serem estudados sigam as mesmas regras modeladas aqui, sendo de fácil alteração a região GIS e os parâmetros de entrada que suportam o modelo. Esta contribuição científica inédita, voltada à decisão em engenharia de produção, particularmente em logística foi preenchida com a modelagem, implementação e análise deste modelo.

O modelo construído é extenso e foi implementado no software de simulação Anylogic®. Buscou-se investigar uma solução para entregas da última milha do comércio eletrônico em termos de custos operacionais externos e lucros. Dada a complexidade do sistema estudado, o modelo demonstrou-se eficaz, gerando soluções coerentes, o que permitiu a representação de diferentes situações em diferentes cenários. O uso da simulação é justificado pelo grande número de variáveis, que precisam ser estudadas de maneira conjunta e sistêmica, avaliando as influências delas entre si. Diante do grande número de parâmetros de entrada existentes no modelo utilizou-se da técnica de Projeto de Experimentos (DoE) para medir o grau de relevância de determinados parâmetros e seus impactos no sistema.

Por meio da utilização do DoE foi possível verificar que os fatores que mais impactam nos custos e lucros do sistema modelado são: a taxa de uso dos DLs, a taxa de insucesso das entregas na primeira tentativa e o tempo de parada. O uso dessa técnica permitiu a redução do número de cenários simulados, sendo esse um ganho importante visto a complexidade do modelo e o tempo computacional relativamente grande para se executar um novo cenário.

Para delimitação do tema e seu caráter inovador foi realizada uma ampla pesquisa, assim como para a definição do objeto de pesquisa e metodologias a serem empregadas no desenvolvimento do trabalho. Isto foi possível pelo uso da revisão da literatura, a partir de pesquisa às principais fontes científicas disponíveis.

Após a delimitação do tema e objeto de pesquisa, foram realizadas as 3 etapas apresentadas para um projeto de simulação: concepção, implementação e análise. A concepção envolveu a modelagem das ações e interações de cada agente, para melhor entendimento foi realizado reuniões com especialistas da área a fim de entender e modelar conceitualmente o sistema estudado. A segunda etapa de construção do trabalho foi a etapa de implementação, a partir da construção de um modelo válido e representativo de simulação. A última etapa do projeto de simulação foi a etapa de análise. Esta análise foi baseada na construção de diversos cenários. Além do Grupo de Cenários base, que se assemelham com a situação real, onde não existe o uso dos *Delivery Lockers* e existe as três tentativas de entrega, outros três Grupos de cenários foram construídos considerando a implantação dos *Delivery Lockers* e exclusão da política das três tentativas de entrega. Ainda para cada uma das quatro situações, foram consideradas diferentes demandas e variações nos parâmetros de entrada que foram representativos segundo o DoE, no total foram simulados 84 cenários.

Como esperado, o Grupo de Cenários Base que mais se assemelham com a situação atual, onde as entregas são todas Assistidas à Domicílio e que podem ocorrer até três tentativas de entregas apresentaram o pior Lucro Líquido, sendo este menor em até 79%. A implantação dos *Delivery Lockers* (Grupo de Cenários 2) traz melhorias para este cenário, em termos de redução das reentregas e distâncias percorridas pelos caminhões. Contudo, quando é excluída a possibilidade das três tentativas de entrega, os benefícios são ainda maiores.

Um efeito indesejado da implantação dos *Delivery Lockers* é o aumento do número de viagens particulares dos clientes ao buscarem suas mercadorias. O MSBA mostrou que, ao buscar suas entregas falhas no CD da transportadora (Grupo de Cenários 3), os clientes precisam percorrer longas distâncias, o que poderia aumentar o tráfego de veículos na região. Quando os DLs são utilizados para receber as entregas falhas, as distâncias percorridas pelos clientes podem ser reduzidas em até 60% podendo, em muitos casos, ser percorridas por bicicleta ou a pé. O mesmo ocorre com os clientes que escolhem inicialmente os DLs para receber seus pedidos.

O MSBA mostrou ainda que os DLs apresentam ganhos para todos os *stakeholders*, indo além da redução dos quilômetros percorridos pelos caminhões. Isoladamente, tanto a implantação dos DLs quanto a exclusão das três tentativas não parecem benéficas para todas as partes interessadas. No entanto, a combinação de ambos os conceitos representa um sistema de entregas para o comércio eletrônico atraente para

todos os envolvidos. A eficiência de tal sistema de entrega pode ser ainda aprimorada se mais clientes utilizarem os DLs para receber suas encomendas.

Esses resultados destacam a importância de se tratar as entregas do comércio eletrônico-B2C em uma perspectiva global. Os diversos *stakeholders* seguem diferentes metas e estratégias. As entregas à domicílio são as preferidas pelos clientes e o maior uso dos DLs trazem maiores redução de custos para as transportadoras e lojas do *e-commerce*. Esse cenário de interesses contraditórios poderia ser melhorado com políticas de incentivo para que os clientes utilizassem o DL através, por exemplo, de um desconto na entrega ou outro tipo de bônus, monetário ou não.

Além disso, um diálogo objetivo entre as partes interessadas requer uma avaliação realista de possíveis cenários "*what-if*". Foi demonstrado que tal avaliação é possível ao se utilizar a simulação baseada em agentes. Por meio da simulação, foi possível modelar e avaliar diferentes estratégias de entrega, o que permitiu obter resultados comparáveis para cada agente. Pela comparação de diferentes cenários, constatou-se que a implantação dos DLs e a exclusão das três tentativas, podem aumentar o número de pedidos entregues em 16,7 %, reduzir a distância percorrida pelos caminhões em até 28,1%, apresentar um aumento em até 79,1% no lucro líquido, além de incluir o ganho de hospedagem de pedidos, quando comparados com o Grupo de Cenários base.

Para os cenários que simularam 480 pedidos/dia, obteve-se uma consolidação maior das entregas, chegando a entregar até 5 pedidos por parada. Estes cenários geram custos totais maiores. No entanto, o custo por pedido nestes cenários chega a ser 56,7% menor que aqueles que simulam uma demanda de 80 pedidos/dia. Isso é explicado devido ao menor número de paradas realizadas e maior consolidação das entregas. Mesmo com a maior consolidação obtida nos Grupos de cenários com 480 pedidos/dia, o uso dos DLs demonstrou resultados melhores em termos de maior Lucro Líquido e menor Custo Total.

Como visto nos resultados do Grupo de Cenários 4, o alto custo externo produzido pelos consumidores ao buscar suas encomendas nos DLs pode tornar esta iniciativa pouco atraente, dificultando o apoio do governo local. Desta forma, ressalta-se a importância da localização adequada dos DLs, pois quando estrategicamente localizados podem facilitar o acesso não motorizado. Uma forma de equilibrar estes custos externos seria a promoção do uso de bicicletas e veículos menos poluentes para realização das entregas. Estas combinações de medidas podem ser incentivadas pelas autoridades públicas.

Finalmente, como visto nos resultados, os DLs representam uma alternativa promissora para reduzir os problemas das entregas à domicilio, pois quando

estrategicamente localizados, facilitam o acesso não motorizado. Contudo, ao se implementar uma rede de DLs para o contexto brasileiro, questões de segurança devem ser consideradas como elemento crucial. O sucesso dessa solução depende: das lojas do *e-commerce* oferecerem e promoverem em seus websites essa opção para seus clientes; da aceitação dos clientes do *e-commerce*; e do interesse dos varejistas em hospedarem esta solução. Incentivos a utilização dos DLs poderiam fazer parte de políticas públicas de mobilidade urbana, já que a sua utilização reduziria os efeitos negativos do transporte urbano de mercadorias na mobilidade.

5.1 Limitações e sugestões para trabalhos futuros

Essa secção final apresenta as limitações da pesquisa que podem ser exploradas em estudos futuros. O objetivo é fornecer caminhos para que os resultados encontrados nessa tese possam ser aprimorados. Como discutido anteriormente, a simulação foi realizada para uma região especifica de Belo Horizonte. Mesmo que os resultados encontrados possam ser generalizados para utilização posterior do modelo em outra região, é interessante que seja realizada uma nova coleta de dados que possua as características e especificações da região, de forma que os resultados sejam válidos e que se possa tirar conclusões condizentes com a realidade a ser estudada.

O cálculo dos custos pode ser aprimorado, em especial dos custos externos. Este cálculo poderia incluir os custos de se procurar uma vaga para estacionamento e até mesmo o custo de um estacionamento incorreto e/ou em fila dupla. O estacionamento em fila dupla é usualmente realizado em entregas de pequenas encomendas, como é o caso das do comércio eletrônico. Mesmo quando os motoristas são penalizados com multas, o impacto negativo que esse estacionamento causa não é totalmente internalizado. Ainda, sobre o custo de se procurar uma vaga para estacionamento, sabe-se que este é um valor de difícil obtenção e que estudos voltados a obtenção deste valor, mesmo que seja em uma porcentagem de tempo total da viagem, traria um ganho para a área.

Expandir a pesquisa com os consumidores melhorará os resultados e relaxará muitas das premissas assumidas no modelo. Nesta pesquisa, os valores para encadeamento de viagem e escolha de modal vêm de fontes secundárias. Portanto, uma pesquisa que investigue valores adequados para essas variáveis em um contexto urbano melhoraria significativamente esses resultados. Concomitantemente, essas pesquisas poderiam investigar quanto os clientes estariam dispostos a pagar adicionalmente pelo

recebimento de suas encomendas do *e-commerce* em casa, em vez de usar os DLs, o que ajudará a determinar os limites para a implementação dos *lockers*.

Esta tese contribui para diferentes campos, mostrando como as entregas do comércio eletrônico estão sendo realizadas neste momento e quais melhorias podem ocorrer visando sua sustentabilidade. Esta pesquisa pode ser ampliada por outras áreas de conhecimento, como por exemplo: em ciências que estudam o comportamento do consumidor, que poderia fornecer *insights* sobre o processo de tomada de decisão dos futuros clientes dos DLs; e principalmente, por pesquisadores de logística urbana, investigando o uso dos DLs combinados com outras medidas de *city logistics* como: entregas de bicicletas, entregas por veículos elétricos e entrega fora do horário de pico. Um estudo que avaliasse o impacto da combinação dessas medidas traria uma boa contribuição para a comunidade cientifica interessada nas entregas da última milha.

A localização dos DLs e sua ocupação não englobou o escopo desta pesquisa. Neste sentido, trabalhos voltados para avaliar a melhor localização dos l*ockers,* como, por exemplo, por meio de uma análise multicritério que considere todos os *stakeholders*, complementariam os resultados encontrados nesta pesquisa. Outra extensão interessante do trabalho poderia incluir uma análise utilizando heurísticas de roteamento mais robustas. Mostramos que o custo com o tempo representa uma fatia importante dos custos totais e está diretamente ligado com o tamanho das rotas. Esse efeito também poderia ser mais explorado.

A obtenção de dados é de crucial importância em estudos de simulação. Neste estudo, por se tratar de um modelo complexo que envolve vários s*takeholders*, identificamos uma grande dificuldade para coletar informações. Estudos futuros que explorem melhor essa questão, em especial com relação ao congestionamento, tempos de parada, descarregamento e velocidade trariam uma boa contribuição para a comunidade cientifica interessada nas entregas da última milha. Por fim, destaca-se que essas limitações não invalidam o ganho alcançado com esse trabalho, uma vez que este alcançou com sucesso o objetivo de modelar os *stakeholders* do transporte urbano de cargas do *e-commerce* e avaliar a implantação dos D*elivery Lockers.*

APÊNDICE A

Gráfico das interações em relação a Distância Total do caminhão

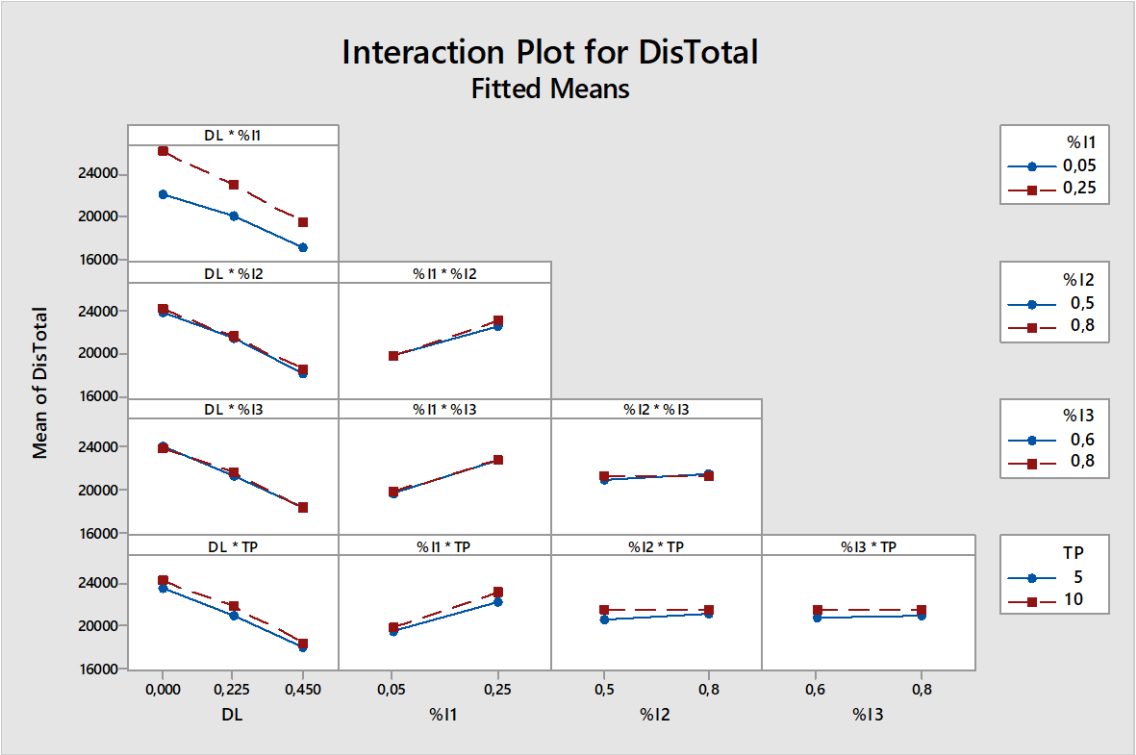


Gráfico das interações em relação ao tempo médio de viagem do caminhão

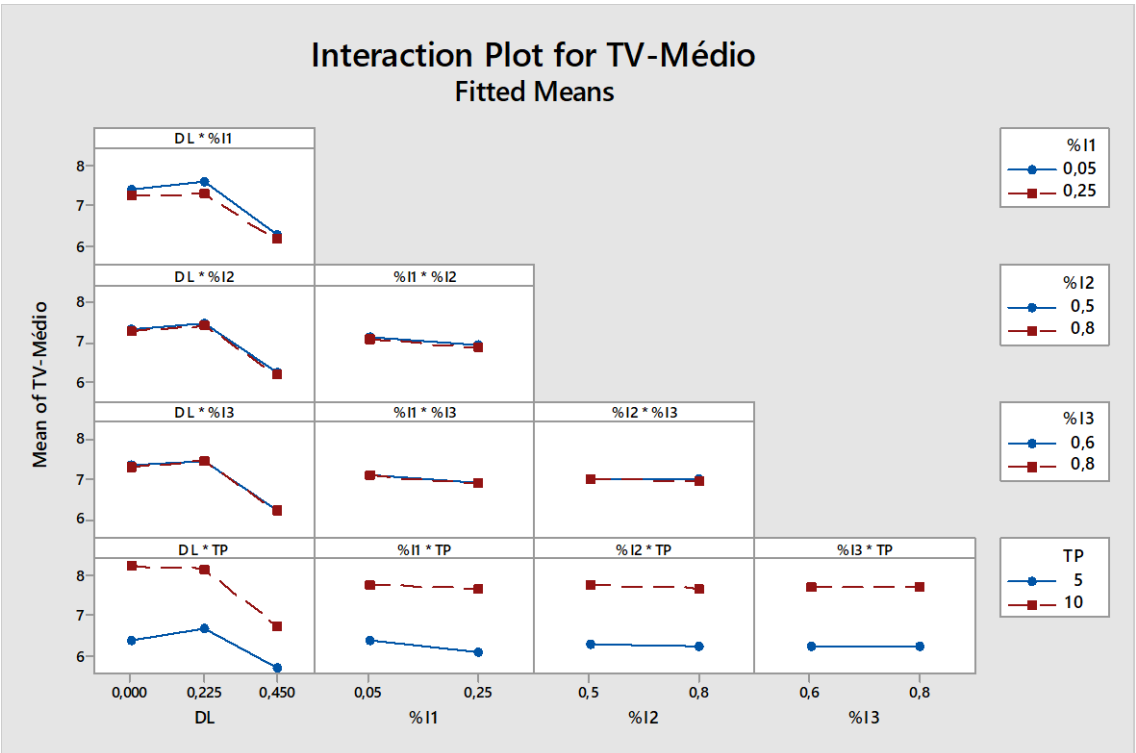


Gráfico das interações em relação ao Distância médio do cliente

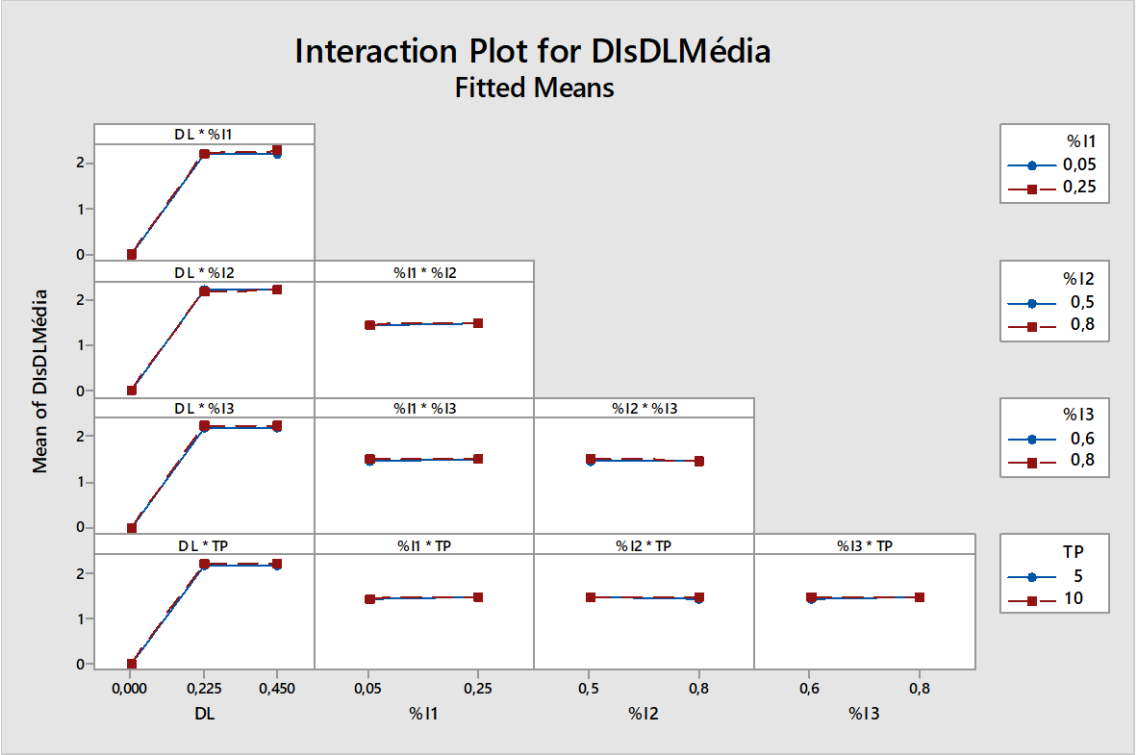


Gráfico das interações em relação ao custo de combustível do caminhão

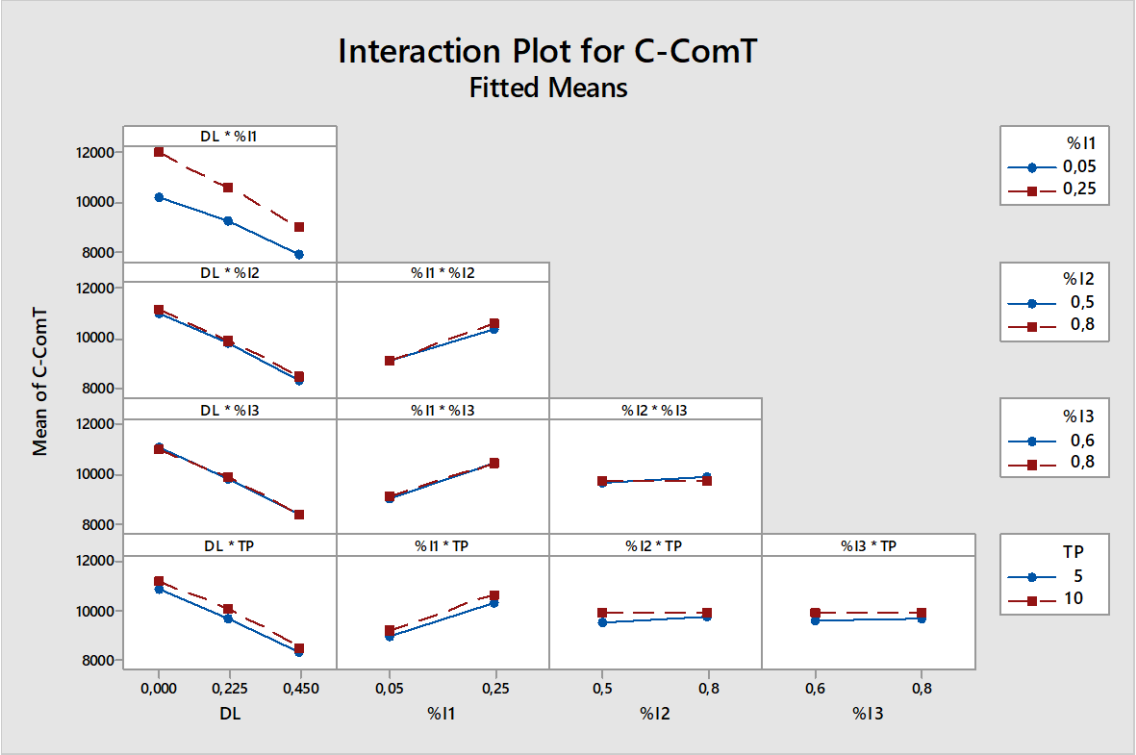


Gráfico das interações em relação ao custo de combustível dos Clientes

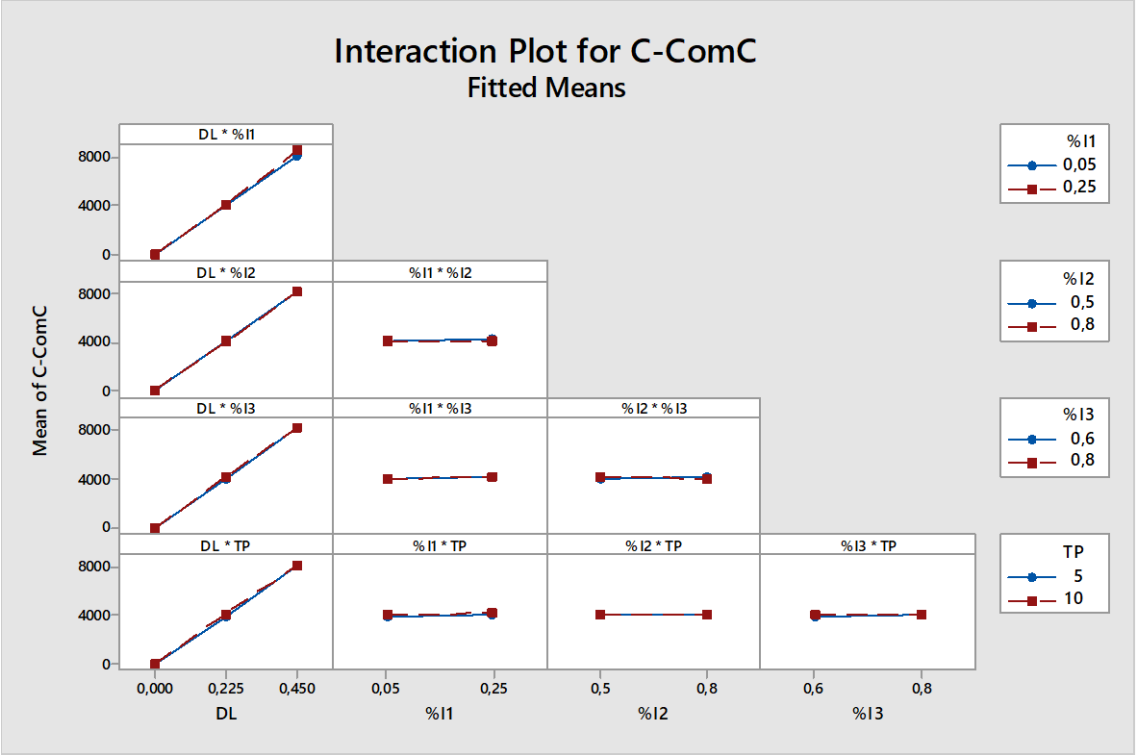


Gráfico das interações em relação ao Custo Externo do caminhão

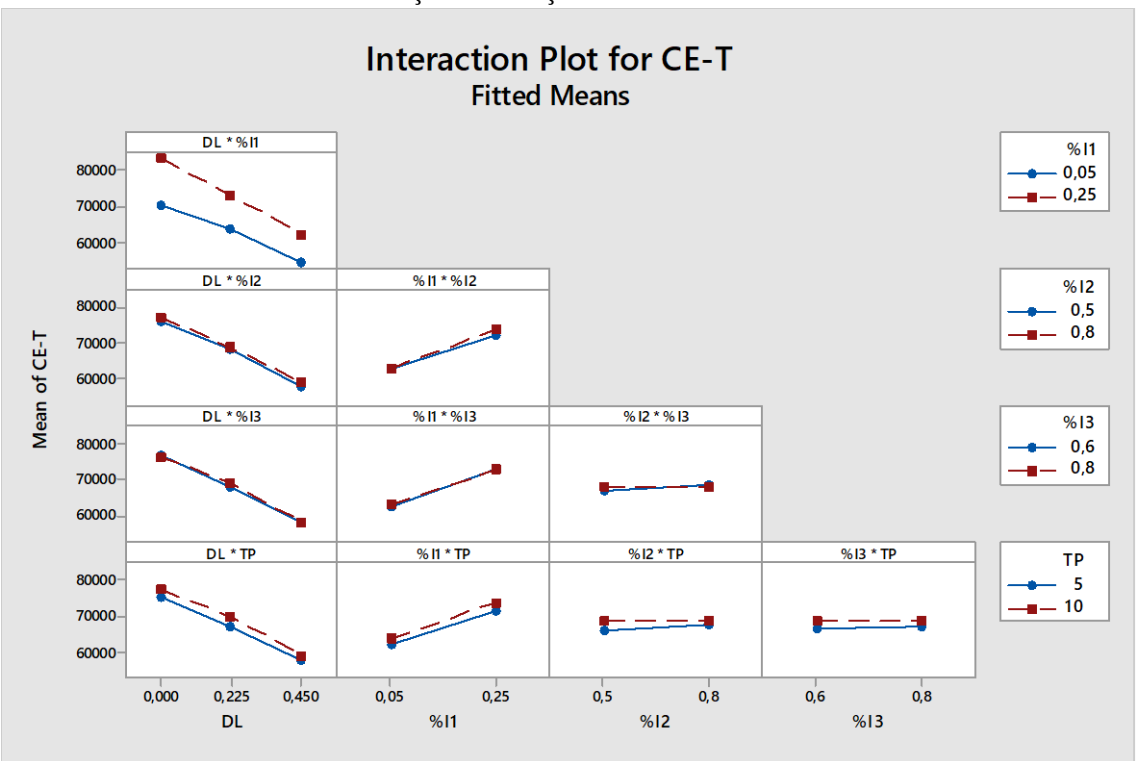


Gráfico das interações em relação Custo Externo do cliente

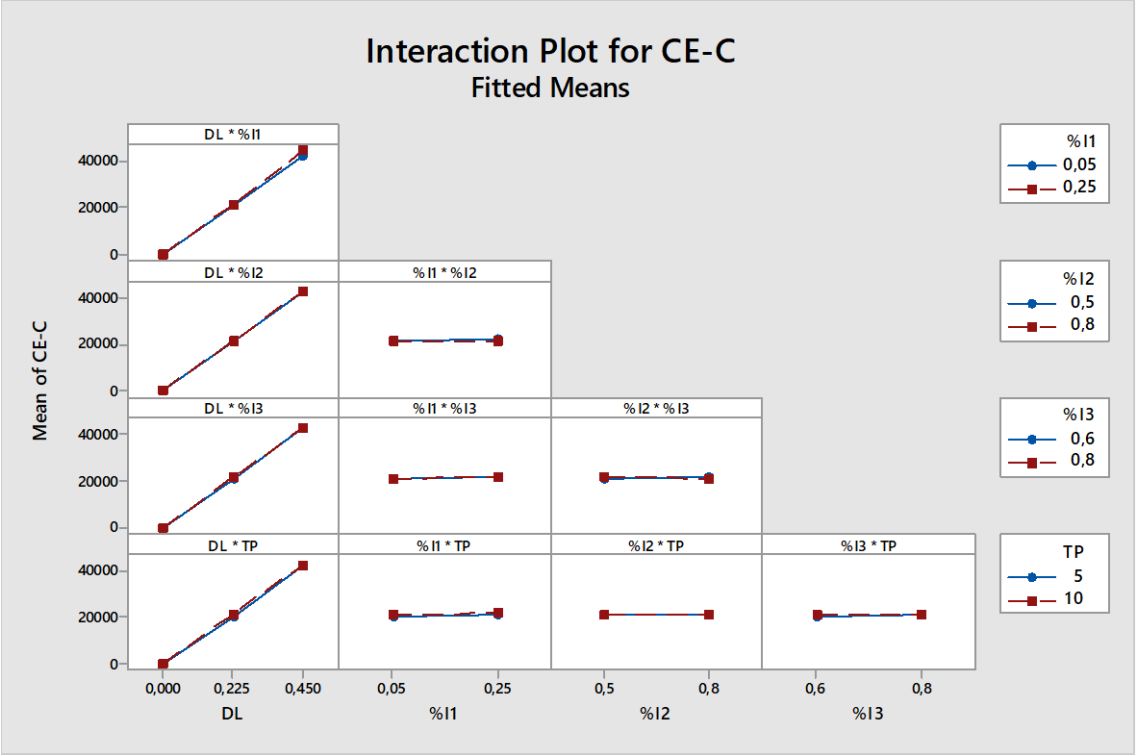


Gráfico das interações em relação ao Custo com o Tempo

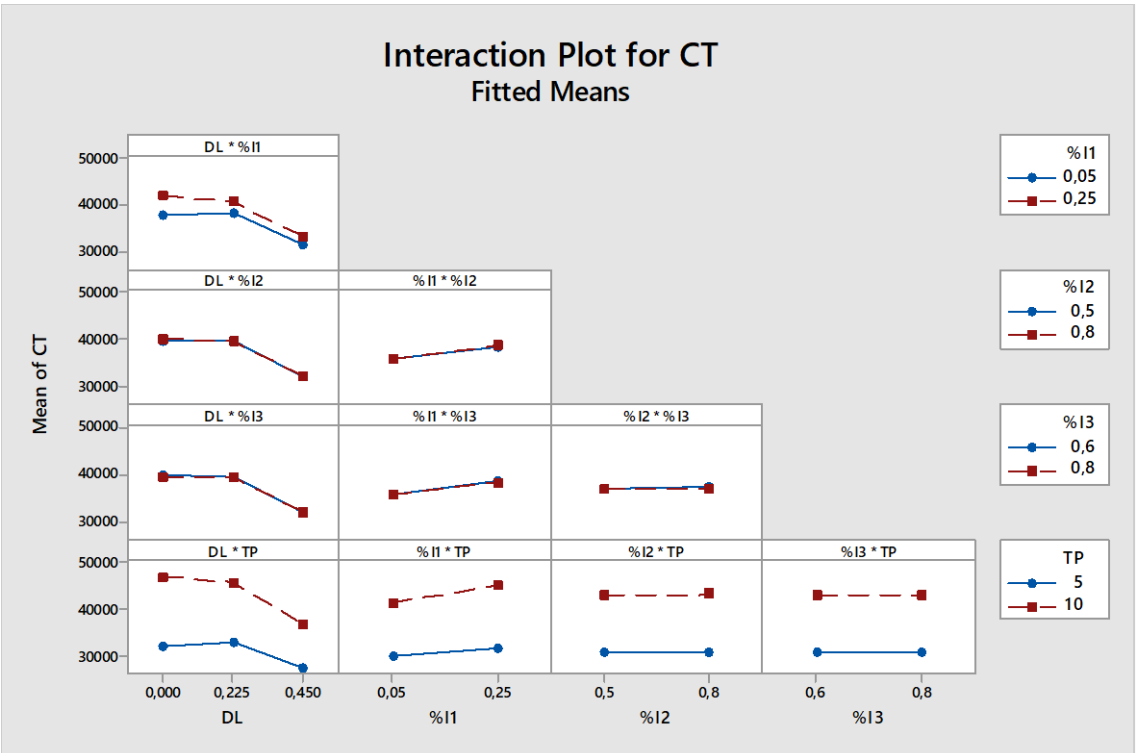
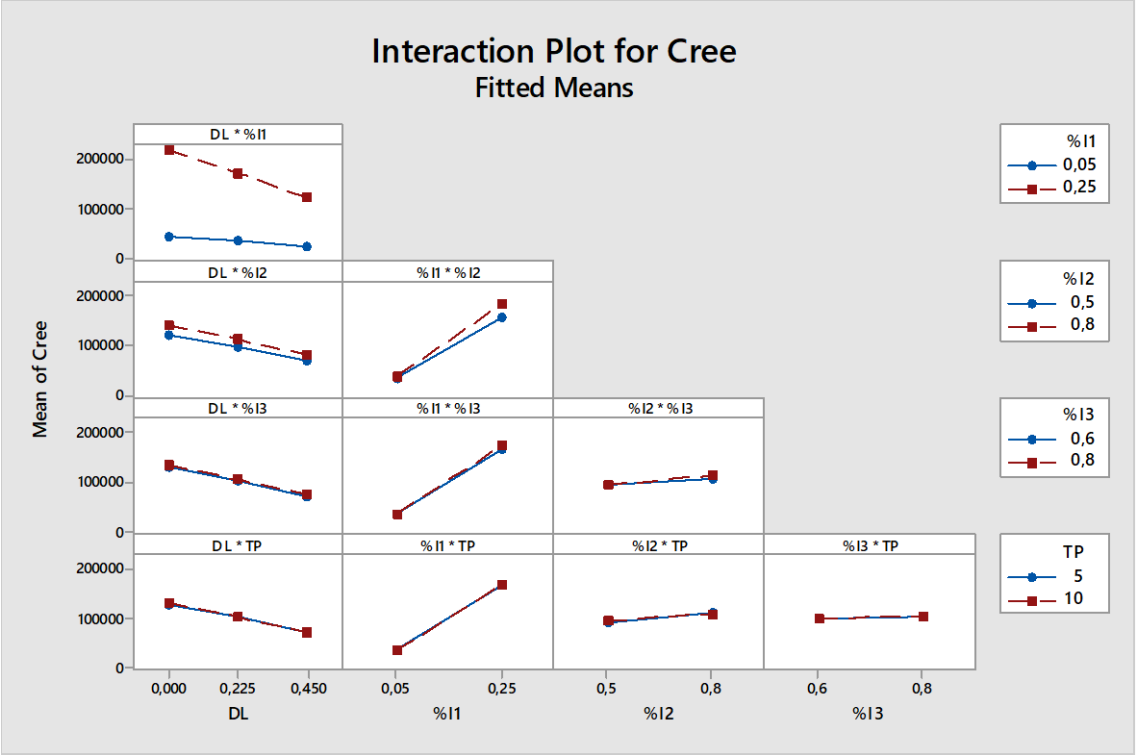


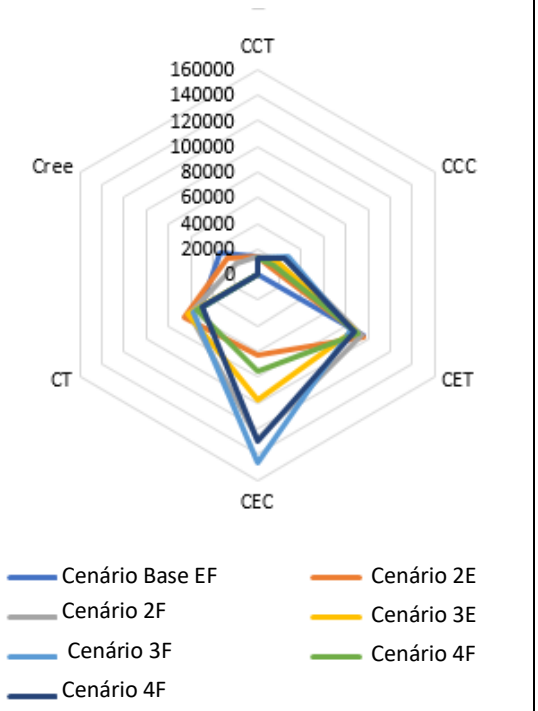
Gráfico das interações em relação ao Custo de Reentrega



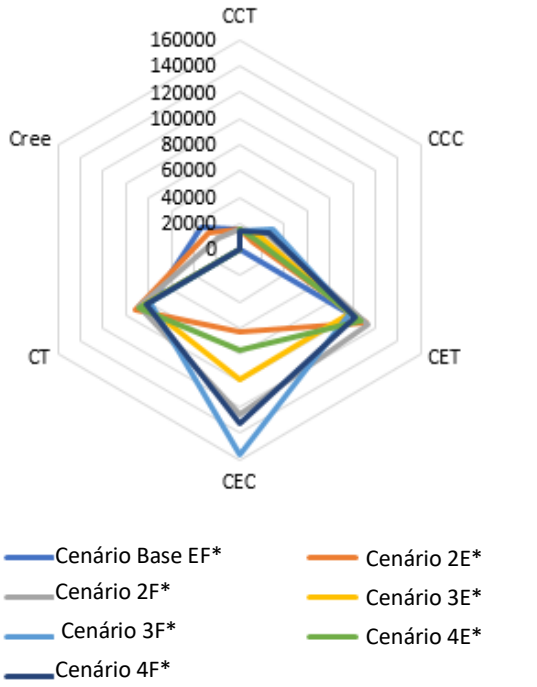
APÊNDICE B

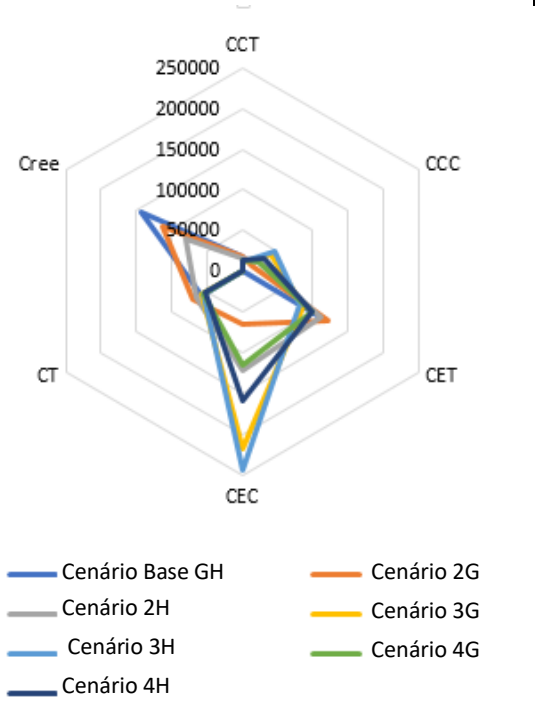
Comparação dos Custos em Cenários com 240 Pedidos/dia e Diferentes Tempos de Parada

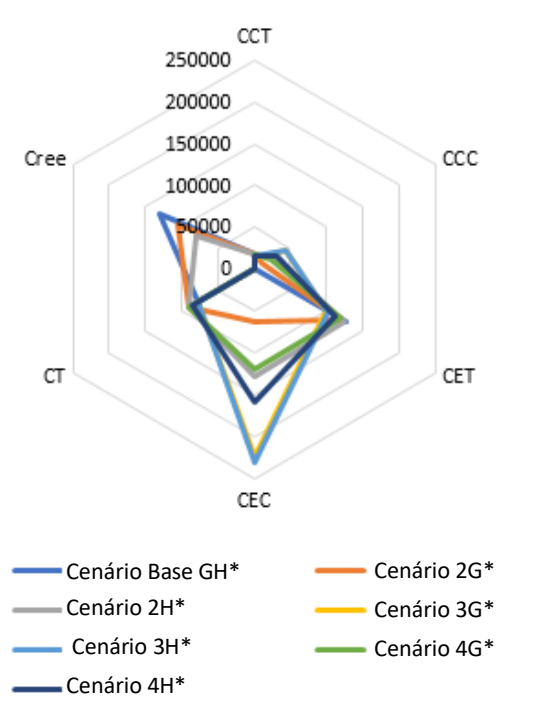
Grupo de cenários com Tempo de Parada de 5 min



Grupo de cenários com Tempo de Parada de 10min

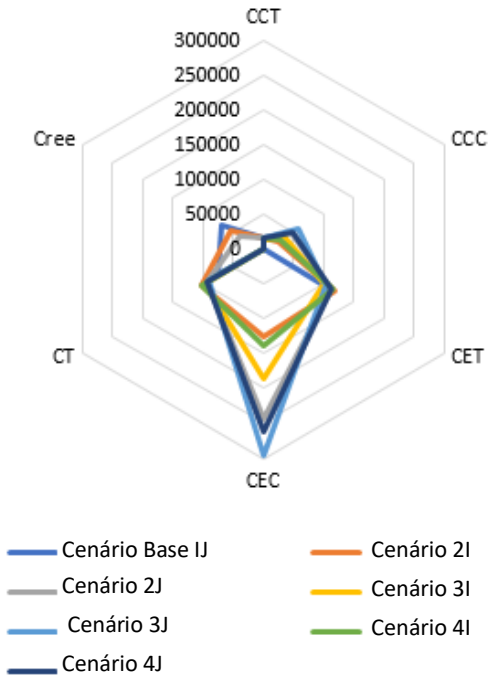






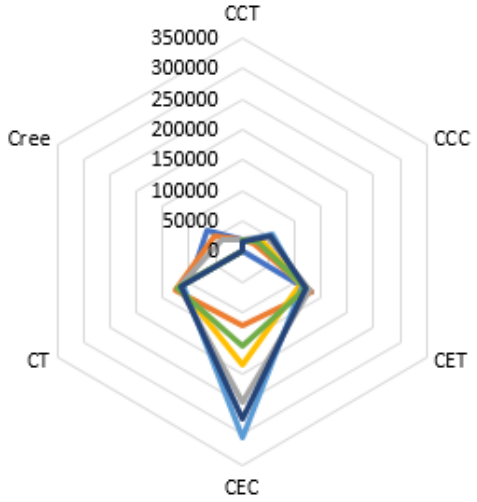
Comparação dos Custos em Cenários com 240 Pedidos/dia e Diferentes Tempos de Parada

Grupo de cenários com Tempo de Parada de 5 min

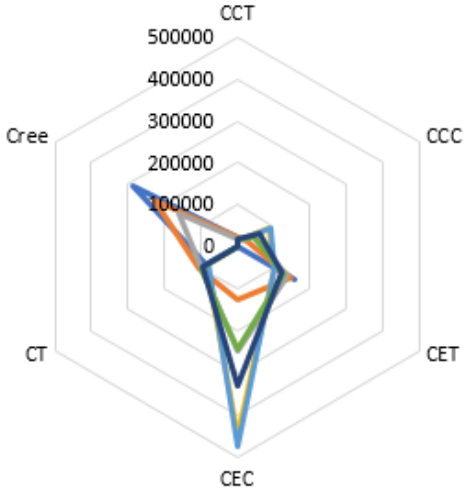


Cenário Base IJ
Cenário 2I
Cenário 2J
Cenário 3I
Cenário 3J
Cenário 4I
Cenário 4J

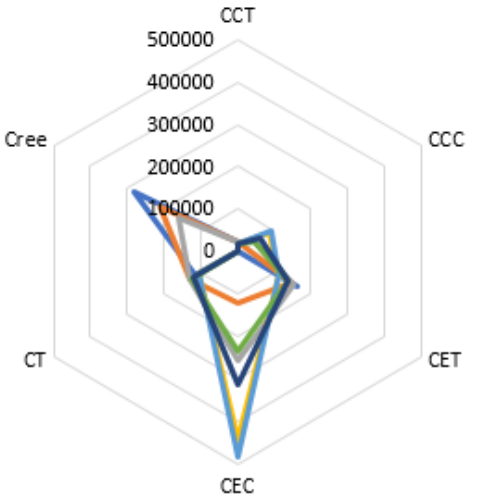
Grupo de cenários com Tempo de Parada de 10min



Cenário Base IJ*
Cenário 2I*
Cenário 2J*
Cenário 3I*
Cenário 3J*
Cenário 4I*
Cenário 4J*



Cenário Base KL
Cenário 2K
Cenário 2L
Cenário 3K
Cenário 3L
Cenário 4K
Cenário 4L



Cenário Base KL*
Cenário 2K*
Cenário 2L*
Cenário 3K*
Cenário 3L*
Cenário 4K*
Cenário 4L*

REFERÊNCIAS

ADITJANDRA, P. T.; GALATIOTO, F.; BELL, M. C.; ZUNDER, T.H. Evaluating the impacts of urban freight traffic: Application of micro-simulation at a large establishment. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 16, n. 1, p. 4–22, 2016.

ALHO, A.; SILVA, J. A.; SOUSA, J. P. A state-of-the-art modeling framework to improve congestion by changing the configuration / enforcement of urban logistics loading / unloading bays. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 111, p. 360–369, 2014.

ALHO, A.; BHAVATHRATHAN, B. K.; STINSON, M.; GOPALAKRISHNAN, R.; LE D. T.; BEN-AKIVA M. A multi-scale agent-based modelling framework for urban freight distribution. **Transportation Research Procedia**, v. 27, p. 188–196, 2017.

ALHO, A. R.; SILVA, J. A. Improving mobility by optimizing the number, location and usage of loading/unloading bays for urban freight vehicles. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 2016.

ALJOHANI, K.; THOMPSON, R. G. A stakeholder-based evaluation of the most suitable and sustainable delivery fleet for freight consolidation policies in the inner-city area. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 1, 2018.

ALLEN, J.; BROWNE, M.; WOODBURN, A.; LEONARDI, J. The Role of Urban Consolidation Centres in Sustainable Freight Transport. **Transport Reviews**, v. 32, n. 4, p. 473–490, 2012.

ALLEN, J.; PIECYK, M.; PIOTROWSKA, M.; MCLEOD, F. CHERRETT, T.; GHALI, K.; NGUYEN, T.;BEKTAS, T; BATES, O.; FRIDAY, A.; WISE, S.;AUSTWICK, M. Understanding the impact of e-commerce on last-mile light goods vehicle activity in urban areas: The case of London. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, n. April, 2017.

ALLEN, J.; THORNE, G.; BROWNE, M. Good practice guide on urban freight transport. **Bestufs administration centre**, p. 84, 2007.

ALVES, R.; LIMA, S. R.; SILVA, K.; GOMES, W. Desafios no Transporte Urbano de Mercadorias: Uma Pesquisa em São João Del Rei. **XXXI Anpet**, 2017.

ALVES, R.; GONZÁLEZ-CALDERÓN, C. A.; LIMA, S. R.; SILVA, K.; GOMES, W. Challenges in Urban Logistics : A Research Study in São João Del Rei , a Historical Brazilian City. **Transportation Research Record**, v. 57, n. 4, p. 1–13, 2018.

ALVES, R.; GONZÁLEZ-CALDERÓN, C. A.; LIMA, S. R.; SILVA, K.; GOMES, W. Functional and environmental impact analysis of urban deliveries in a Brazilian historical city. **Case Studies on Transport Policy**, v. 7, n. 2, p. 443–452, 2019a.

ALVES, R.; LIMA S. R.; SENA A. C.; PINHO A. F.; HOLGUÍN-VERAS J. Agent-Based Simulation Model for Evaluating Urban Freight Policy to E-Commerce. **Sustainability**, v. 11, n. 15, p. 4020, jul. 2019b.

ALVES, R.; LIMA, R.; OLIVEIRA, L. O Enfoque Ambiental Do City Logistics: Uma Revisão De Literatura. **7° Congresso Luso Brasileiro para o Planejamneto Urbano, Regional , Integrado e Sustentável**, 2016.

ANAND, N.; MEIJER D.; VAN DUIN J.H.R.; TAVASSZY L.; MEIJER S. Validation

of an agent based model using a participatory simulation gaming approach: The case of city logistics. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 71, p. 489–499, 2016.

ANAND, N.; DUIN, J. H. R. VAN; TAVASSZY, L. Framework for Modelling Multi-stakeholder City Logistics Domain Using the Agent based Modelling Approach. **Transportation Research Procedia**, v. 16, n. March, p. 4–15, 2016.

ANAND, N.; VAN DUIN, R.; TAVASSZY, L. Ontology-based multi-agent system for urban freight transportation. **International Journal of Urban Sciences**, v. 18, n. 2, p. 133–153, 2014.

ANTP, I. Redução das deseconomias urbanas pela melhoria do transporte público. **Revista dos Transportes Públicos - ANTP**, v. 21, n. 35–92, 1999.

ANYLOGIC. Disponível em: <https://www.anylogicbrasil.com.br/>. Acesso em: 28 maio. 2018.

ARNOLD, F.; CARDENAS I.; SÖRENSEN K.;DEWULF W. Simulation of B2C e-commerce distribution in Antwerp using cargo bikes and delivery points. **European Transport Research Review**, v. 10, n. 1, 2018.

AWASTHI; A.; PROTH, J.-M. A systems-based approach for city logistics decision making. **Journal of Advances in Management Research**, v. 3, n. 2, p. 7–17, 2006.

GRULER, A.; DE ARMAS, J.; JUAN, A. A. Behavioral factors in city logistics from an operations research perspective. **In International Conference on Smart Cities.** p. 32–41, 2016.

BANKS, J.; CARSON J.S.; NELSON B. L.; NICOL, D. **Discrete-Event System Simulation**. 5 ed. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall., 2010.

BARBIERI, J. P. **Análise da representação do fator humano presente em um sistema de manufatura através da simulação híbrida**. UNIFEI, 2016.

BENJELLOUN, A.; CRAINIC, T. G. Trends, challenges, and perspectives in city logistics. **Proceedings of the Transportation and Land Use Interaction Conference**, n. 4, p. 269–284, 2009.

BERTAZZO, T. R.; HINO C.; TACLA D. YOSHIZAKI H. T. Y.; Estudo de Caso: Entregas Noturnas na cidade de São Paulo. **XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da Anpet OURO PRETO**, n. 1, p. 1995–2006, 2015.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.

BHUIYAN, M. F. H.; AWASTHI, A.; WANG, C. Investigating the impact of access-timing-sizing regulations on urban logistics. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 20, n. 2, p. 216–238, 2015.

BODIN, L. Routing and Acheduling of vehicles and crews, the state of the art. **Computers operational research**, v. 10, n. 2, p. 63–211, 1983.

BOUSSIER, J. M.; CUCU T.; ION L.; BREUIL D. Simulation of goods delivery process. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 41, n. 9, p. 913–930, 2011.

BRASIL. **Lei nº. 8.078, de 11 de setembro de 1990**Código de Defesa do Consumidor.

Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências, 1990.

BRITO, J.; SILVA, L. R. DA; MONTEVECHI, J. A. B. Simulation Modelling Practice and Theory Perspectives and relationships in Supply Chain Simulation : A systematic literature review. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 62, p. 166–191, 2016.

BROWN, J. R.; GUIFFRIDA, A. L. Carbon emissions comparison of last mile delivery versus customer pickup. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 17, n. 6, p. 503–521, 2014.

CAGLIANO, A. C.; GOBBATO L.; TADEI R.; PERBOLI G. ITS for e-grocery business: The simulation and optimization of Urban logistics project. **17th Meeting of the EURO Working Group on Transportation**, v. 3, n. July, p. 489–498, 2014.

CARDENAS, I. BECKERS, J.; VANELSLANDER, T.; VERHETSEL, A.; DEWULF, W. Spatial characteristics of failed and successful E- commerce deliveries in Belgian cities . **ILS 2016, 6th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain**, p. 1–10, 2016.

CARDENAS, I. **Unlocking the benefits of pick-up points for sustainable E-commerce distribution in urban areas**. Thesis. UNIVERSITY OF ANTWERP, 2019.

CARDENAS, I. D.; DEWULF, W.; VANELSLANDER, T.; SMET, C.; BECKERS, J. The e-commerce parcel delivery market and the implications of home B2C deliveries vs pick-up points. **International Journal of Transport Economics**, v. 44, n. 2, p. 235–256, 2017b.

CHUNG, C. A. **Simulation Modeling Handbook**. New York: CRC Press: CRC press, 2003.

CHWIF, L.; MEDINA, A. **Modelagem e simulação de eventos discretos: Teoria e aplicações**. 4 edição ed. São Paulo: Elsevier Brasil, 2015.

CLEOPHAS, C.; EHMKE, J. F. When Are Deliveries Profitable?: Considering Order Value and Transport Capacity in Demand Fulfillment for Last-Mile Deliveries in Metropolitan Areas. **Business and Information Systems Engineering**, v. 6, n. 3, p. 153–163, 2014.

COMI, A.; NUZZOLO, A. Exploring the Relationships between e-shopping Attitudes and Urban Freight Transport. **Transportation Research Procedia**, v. 12, n. June 2015, p. 399–412, 2016.

COMMISSION, E. **Update of the Handbook on External Costs of Transport.**

CONTENT, A. B. **Entrega de encomendas por lockers chega ao Brasil**. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/negocios/entrega-de-encomendas-por-lockers-chega-ao-brasil/>. Acesso em: 28 maio. 2018.

CORREIOS. **Caixa de correio inteligente**. Disponível em: <http://www.correios.com.br/a-a-z/caixa-de-correio-inteligente#tab-1>. Acesso em: 28 maio. 2018.

CRAINIC, T. G.; RICCIARDI, N.; STORCHI, G. Advanced freight transportation systems for congested urban areas. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 12, n. 2, p. 119–137, 2004.

CULLINANE, S. From bricks to clicks: The impact of online retailing on transport and the environment. **Transport Reviews**, v. 29, n. 6, p. 759–776, 2009.

DABLANC, L. Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 2007.

DABLANC, L. PATIER, D.; GONZALEZ-FELIU, J.; AUGEREAU, V.;LEONARDI, J.; SIMMEONE, T.; CERDÀ, L. **SUGAR. Sustainable Urban Goods Logistics Achieved by Regional and Local Policies. City Logistics Best Practices: a Handbook for Authorities**. 2011.

DABLANC, L.; MONTENON, A. Impacts of Environmental Access Restrictions on Freight Delivery Activities. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2478, n. x, p. 12–18, 2015.

DAVIDSSON, P.; HENESEY, L.; RAMSTEDT, L.; TÖRNQUIST, J.; WERNSTEDT, F. An analysis of agent-based approaches to transport logistics. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 13, n. 4, p. 255–271, 2005.

DELL'AMICO, M.; HADJIDIMITRIOU, S. Innovative Logistics Model and Containers Solution for Efficient Last Mile Delivery. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 48, p. 1505–1514, 2012.

DUCRET, R. Parcel deliveries and urban logistics : Changes and challenges in the courier express and parcel sector in Europe — The French case. **Research in Transportation Business &Management Final**, v. 11, p. 15–22, 2014.

DURAND, B.; MAHJOUB, S.; SENKEL, M. P. Delivering to urban online shoppers: The gains from "last-mile" pooling. **Supply Chain Forum**, v. 14, n. 4, p. 22–31, 2013.

DUTRA, N. G. S. **O enfoque de "city logistics" na distribuição urbana de encomendas**. 2004. 229 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

E-COMMERCEBRASIL. **Co-fundador da Ebit fará webinar para mostrar atual cenário do e-commerce**.

EBIT. **WEBSHOPPERS 36ª Edição**. 2017.

EBIT. **WEBSHOPPERS 37ª Edição.** 2018.

EBIT. **WEBSHOPPERS 39ª Edição**. 2019.

EDWARDS, J.; MCKINNON, A.; CHERRETT, T.; MCLEOD, F.; SONG, L. The impact of failed home deliveries on carbon emissions: Are collection/delivery points environmentally-friendly alternatives. **In 14th Annual Logistics Research Network** Conference .2008.

EDWARDS, J.; McKinnon, A.; Cherrett, T.; McLeod, F.; Song, L Carbon Dioxide Benefits of Using Collection – Delivery Points for Failed Home Deliveries in the United Kingdom. p. 136–143, 2010.

ELBERT, R.; FRIEDRICH, C. Simulation-based evaluation of urban consolidation centers considering urban access regulations. **Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference**, p. 2827–2838, 2018.

EMARKETER. **Global Ecommerce 2019**.

ESSER, K.; KURTE, J. Strategies for Optimizing Pick-up and Delivery Traffic of Internet Commerce – Packstations in Cologne (OPTIMAL)). 2007.

FATNASSI, E.; CHEBBI, O.; CHAOUACHI, J. Dealing with the empty vehicle movements in personal rapid transit system with batteries constraints in a dynamic

context. **Journal of Advanced Transportation**, v. 2017, 2017.

FELIU, J. G.; AMBROSINI, C.; ROUTHIER, J. L. New trends on urban goods movement: Modelling and simulation of e-commerce distribution. **European Transport - Trasporti Europei**, n. 50, p. 1–23, 2012.

FIKAR, C.; HIRSCH, P.; GRONALT, M. A decision support system to investigate dynamic last-mile distribution facilitating cargo-bikes. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 21, n. 3, p. 300–317, 2018.

FILIPPI, F.; NUZZOLO, A.; COMI, A.; DELLE SITE, P. Ex-ante assessment of urban freight transport policies. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 2, n. 3, p. 6332–6342, 2010.

FINLAY, H. Noise abatement and night deliveries. **Engineering at ARROW@DIT**, 2008.

FIORAVANTI, R. D.; JUNIOR, O. F. L. Model for ex-ante analysis of city logistics policies based on urban distribution centers: An approach using system dynamics. **Urbe**, v. 11, p. 1–22, 2019.

FIRDAUSIYAH, N.; TANIGUCHI, E.; QURESHI, A. G. Modeling city logistics using adaptive dynamic programming based multi-agent simulation. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 125, n. March, p. 74–96, 2019.

FORKERT, S.; EICHHORN, C. Alternative Solution for Home Delivery. **Niches Transport**, 2007.

FOX, M. S.; BARBUCEANU, M.; TEIGEN, R. Agent-oriented supply-chain management. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v. 12, n. 2, p. 165–188, 2000.

FU, J.; CHEN, Y.; CHEN, G. Growth evolving model of urban logistics network driven by cost and distance. **ICLEM 2014: System Planning, Supply Chain Management, and Safety - Proceedings of the 2014 International Conference of Logistics Engineering and Management**, p. 947–953, 2014.

GAUDRON, A.; TAMAYO, S.; LA FORTELLE, A. DE. Interactive Simulation to Explore Urban Distribution Schemes. **Transportation Research Procedia**, v. 37, n. September 2018, p. 75–82, 2019.

GEVAERS, R.; VAN DE VOORDE, E.; VANELSLANDER, T. Cost Modelling and Simulation of Last-mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on Urban Areas and Cities. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 125, p. 398–411, 2014.

GHAJARGAR, M.; ZENEZINI, G.; MONTANARO, T. Home delivery services: innovations and emerging needs. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 12, p. 1371–1376, 2016.

GONÇALVES;, A. T. T.; FAGUNDES, L. D.; DE CARVALHO MIRANDA, R.; DA SILVA LIMA, R. Discrete event simulation as a decision-making tool for end-of-life tire reverse logistics in a Brazilian city consortium. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 23994–24009, 2019.

GONZALEZ-FELIU, J. A joint freight catchment and cost benefit analysis to assess rail urban logistics scenarios. **Lecture Notes in Business Information Processing**, v. 262,

p. 14–27, 2018.

GRAY, V. C.; BROWN, M. T. Curbside management study. n. August, 2014.

HERCULANO, R. D.; NORBERTO, A. M. Q. Análise da produtividade científica dos docentes da Universidade Estadual Paulista, campus de Marília/SP. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 17, n. 2, p. 57–70, 2012.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research**. 9 edição ed. Tata McGraw-Hill Education, 2012.

HOLGUÍN-VERAS, J.; PÉREZ, N.; CRUZ, B.; POLIMENI, J. Effectiveness of Financial Incentives for Off-Peak Deliveries to Restaurants in Manhattan, New York. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1966, p. 51–59, 2006.

HOLGUÍN-VERAS, J. Urban delivery industry response to cordon pricing, time-distance pricing, and carrier-receiver policies in competitive markets. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 45, n. 8, p. 802–824, 2011.

HOLGUÍN-VERAS, J.; AMAYA-LEAL, J.; WOJTOWICZ, J.; JALLER, M.; GONZÁLEZ-CALDERÓN, C.; SÁNCHEZ-DÍAZ, I.; ... ; FRAZIER, R. J. I**mproving freight system performance in metropolitan areas: a planning guide** (Project NCFRP-38). 2015

HOLGUÍN-VERAS, J.; HODGE, S.; WOJTOWICZ, J.; SINGH, C.; WANG, C.; JALLER, M.; ... ; UKEGBU, C. The New York city off-hour delivery program: A business and community-friendly sustainability program. **Interfaces**, v. 48, n. 1, p. 70–86, 2018.

HOLGUÍN-VERAS, J.; SÁNCHEZ-DÍAZ, I.; BROWNE, M. Sustainable Urban Freight Systems and Freight Demand Management. **Transportation Research Procedia**, v. 12, n. June 2015, p. 40–52, 2016.

HOLGUÍN-VERAS, J.; MARQUIS, R.; CAMPBELL, S.; WOJTOWICZ, J.; WANG, C.; JALLER, M.; ... ; GOEVAERS, R. Fostering the Use of Unassisted Off-Hour Deliveries: Operational and Low-Noise Truck Technologies. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 2379, p. 57–63, 2013.

HUANG, L. Modeling and planning on urban logistics park location selection based on the artificial neural network. **Journal of Computers**, v. 7, n. 3, p. 792–797, 2012.

HUHNS, M. N.; SINGH, M. P. Readings in Agents. **Morgan Kaufmann**, p. 523, 1997.

IBGE. **Demographic Census**Rio de janeiro, 2015a.

IBGE. **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**, 2015b.

IMRG. **IMRG UK Consumer Home Delivery Review 2014Imrg**. 2016.

IWAN, S.; KIJEWSKA, K.; LEMKE, J. Analysis of parcel lockers ' efficiency as the last mile delivery solution – the results of the research in Poland. **The 9th International Conference on City Logistics, Tenerife, Canary Islands (Spain)**, n. June 2015, p. 644–655, 2016.

JAHANGIRIAN, M.; ELDABI, T.; NASEER, A.; STERGIOULAS, L. K.; YOUNG, T. Simulation in manufacturing and business: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 1, p. 1–13, 2010.

JALLER, M.; HOLGUÍN-VERAS, J.; HODGE, S. Parking in the City: Challenges for Freight Traffic. **Transportation Research Board 92nd Annual Meeting**, 2013.

JALLER, M.; WANG, X. ; HOLGUIN-VERAS, J. Large urban freight traffic generators: Opportunities for city logistics initiatives. **Journal of Transport and Land Use**, v. 8, n. 1, p. 51, 2015.

JOHANSSON, H. **Urban Consolidation Centres: On Relationships between Customer Needs and Services in City Logistics**. 2018

KARAKIKES, I.; NATHANAIL, E. Simulation Techniques for Evaluating Smart Logistics Solutions for Sustainable Urban Distribution. **Procedia Engineering**, v. 178, p. 569–578, 2017.

KASZUBOWSKI, D. A method for the evaluation of urban freight transport models as a tool for improving the delivery of sustainable urban transport policy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 6, 2019.

KEDIA, A.; KUSUMASTUTI, D.; NICHOLSON, A. Acceptability of collection and delivery points from consumers' perspective: A qualitative case study of Christchurch city. **Case Studies on Transport Policy**, v. 5, n. 4, p. 587–595, 2017.

KELTON, W. D.; LAW, A. M. **Simulation modeling and analysis**. McGraw Hill Boston, 2000.

KIOUSIS, V.; NATHANAIL; E.; KARAKIKES, I. Assessing Traffic and Environmental Impacts of Smart Lockers Logistics Measure in a Medium-Sized Municipality of Athens**. In The 4th Conference on Sustainable Urban Mobility .** pp. 614-621; 2019.

KLEIJNEN, J. P. C.; SANCHEZ, S. M.; LUCAS, T. W.; CIOPPA, T. M. State-of-the-Art Review A User ' s Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments. **INFORMS Journal on Computing,** v. 17, n. 3, p. 263–289, 2005.

KOLCK, A. VAN. **Multi-Agent Model for the Urban Distribution Centre**. Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 2010.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 2 edição ed. McGraw-Hill, 1991. v. 2

LAWSON, C.; HOLGUÍN-VERAS, J.; SÁNCHEZ-DÍAZ, I.; JALLER, M.; CAMPBELL, S.; POWERS, E. Estimation of freight trip generation based on land use. I**n Proceedings of 91st Annual Meeting of Transportation Research Board (TRB).** (2012).

LEBEAU, P. et al. Implementing electric vehicles in urban distribution: A discrete event simulation. **World Electric Vehicle Journal**, v. 6, n. 1, p. 38–47, 2013.

LETNIK, T.; FARINA, A.; MENCINGER, M.; LUPI, M.; BOŽIČNIK, S. Dynamic management of loading bays for energy efficient urban freight deliveries. **Energy**, v. 159, p. 916–928, 2018.

LIEDTKE, G.; MATTEIS, T.; WISETJINDAWAT, W. Impacts of urban logistics measures on multiple actors and decision layers - a case study. **Transportation Research Record**, 2015.

LINDHOLM, M. How Local Authority Decision Makers Address Freight Transport in the Urban Area. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 134–145, 2012.

LINDHOLM, M.; BEHRENDS, S. Challenges in urban freight transport planning - a

review in the Baltic Sea Region. **Journal of Transport Geography**, 2012.

LIU, C.; WANG, Q.; SUSILO, Y. O. Assessing the impacts of collection-delivery points to individual's activity-travel patterns: A greener last mile alternative? **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 2017.

LOPES, H. DOS S.; LIMA, R. DA S. Alternatives for the soybean exportation in Brazil : a cost based analysis for transport via the Tocantins-Araguaia waterway. **Custos e @gronegócio on line**, v. 13, n. 1, p. 239–261, 2017.

LUCK, M.; LUCK, M.; MCBURNEY, P.; SHEHORY, O.; WILLMOTT, S. Agent technology: Computing as interaction. p. 19–25, 2005.

MACAL, C. M. Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. **Journal of Simulation**, v. 10, n. 2, p. 144–156, 2016.

MACAL, C. M.; NORTH, M. J. **Introductory Tutorial on Agent-Based Modeling and Simulation**. Winter Simulation Conference. **Anais**...2013

MAERE, B. DE; UNIVERSITEIT, V.; MAERE, B. DE. Ecological and economic impact of automated parcel lockers vs home delivery RESEARCH PAPER 2016-2017. n. June, 2017.

MAGAZINE LUIZA. **Conheça o Novo Serviço**. Disponível em: <https://especiais.magazineluiza.com.br/retirar-na-loja/>. Acesso em: 28 maio. 2018.

MAGGI, E.; VALLINO, E. Understanding urban mobility and the impact of public policies : The role of the agent-based models. **Research in Transportation Economics**, v. 55, p. 50–59, 2016.

MARCUCCI, E.; LE PIRA, M.; GATTA, V.; INTURRI, G.; IGNACCOLO, M.; PLUCHINO, A. Simulating participatory urban freight transport policy-making: Accounting for heterogeneous stakeholders' preferences and interaction effects. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 103, p. 69–86, 2017.

MASTEGUIM, R. DE F.; CUNHA, C. B. DA; PONCE, E. Modelagem e análise dos impactos econômicos na utilização de pontos de coleta na distribuição urbana de e-commerce: o caso de são paulo. **32° Congresso de Pesquisa Ensino e Transporte da ANPET**, p. 2236–2248, 2018.

MCLEOD, F.; CHERRETT, T.; SONG, L. Transport impacts of local collection/delivery points. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 9, n. 3, p. 307–317, 2006.

MELO, S.; MACEDO, J.; BAPTISTA, P. Capacity-sharing in logistics solutions: A new pathway towards sustainability. **Transport Policy**, v. 73, n. June 2018, p. 143–151, 2019.

MIGUEL, P. A. C.; MORABITO, R.; PUREZA, V. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2009.

MIRANDA, R. DE C. Algoritmo genético adaptativo para otimização de modelos de Simulação a Eventos Discreto. *2012. 149 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012*

MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; DE PINHO, A. F.; DA SILVA COSTA, R. F.; DE OLIVEIRA, M. L. M.; DA SILVA, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects

by mean adapted IDEF: An application in a Brazilian tech company. **Proceedings - Winter Simulation Conference**, n. June 2014, p. 1624–1635, 2010.

MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. DE C.; FRIEND, J. D. Sensitivity Analysis in Discrete-Event Simulation Using Design of Experiments. **In: LIM, E. W. C. (Org.). Discrete Event Simulations - Development and Applications.**, n. 1ed.Croácia: INTECH, p. 63–102, 2012.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. New York: New York: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

MORGANTI, E.; SEIDEL, S.; BLANQUART, C.; DABLANC, L.; LENZ, B.The impact of e-commerce on final deliveries : alternative parcel delivery services in France and Germany. **Transportation Research Procedia**, v. 4, n. 0, p. 178–190, 2014.

MORGANTI, E.; DABLANC, L.; FORTIN, F. Final deliveries for online shopping : The deployment of pickup point networks in urban and suburban areas. **Research in Transportation Business &Management Final**, v. 11, n. February 2012, p. 23–31, 2014.

MOROZ, M.; POLKOWSKI, Z. The last mile issue and urban logistics : choosing parcel machines in the context of the ecological attitudes of the Y generation consumers purchasing online. **2nd International Conference "Green Cities - Green Logistics for Greener Cities"**, v. 16, n. March, p. 378–393, 2016.

MUÑUZURI, J.; LARRAÑETA, J.; ONIEVA, L.; CORTÉS, P. Solutions applicable by local administrations for urban logistics improvement. **Cities**, v. 22, n. 1, p. 15–28, 2005.

MUÑUZURI, J.; CORTÉS, P.; ONIEVA, L.;GUADIX, J. Simulating the effects of pedestrianisation on urban freight deliveries. **European Transport - Trasporti Europei**, n. 54, p. 1–19, 2013.

NATIONS, U. **2018 Revision of World Urbanization Prospects**. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wup/>. Acesso em: 20 jun. 2018.

NTC & LOGÍSTICA. **Planilhas referenciais de custo do transporte rodoviário de cargas**.2013.

NUZZOLO, A.; COPPOLA, P.; COMI, A. Freight transport modeling: Review and future challenges. **International Journal of Transport Economics**, v. 40, n. 2, p. 151–181, 2013.

NUZZOLO, A.; PERSIA, L.; POLIMENI, A. Agent-Based Simulation of urban goods distribution: A literature review. **Transportation Research Procedia**, v. 30, p. 33–42, 2018.

OLIVEIRA, L. K. DE. Diagnóstico das vagas de carga e descarga para a distribuição urbana de mercadorias: um estudo de caso em Belo Horizonte. **Journal of Transport Literature**, 2014.

OLIVEIRA, L. K. DE; MORGANTI, E., DABLANC, L., & DE OLIVEIRA, R. L. M. Analysis of the potential demand of automated delivery stations for e-commerce deliveries in Belo Horizonte, Brazil. **Research in Transportation Economics**, v. 65, p. 34–43, 2017a.

OLIVEIRA, L. K. DE.; LESSA, D. A., OLIVEIRA, E., & CALAZANS, B. F. G. Multi-agent modelling approach for evaluating the city logistics dynamic in a

vulnerability situation: An exploratory study in Belo Horizonte (Brazil). **Transportation Research Procedia**, v. 25, p. 1046–1060, 2017b.

OLIVEIRA, L. K. DE; MORGANTI, E.; DABLANC, L.; DE OLIVEIRA, R. L. M. Analysis of the potential demand of automated delivery stations for e-commerce deliveries in Belo Horizonte, Brazil. **Research in Transportation Economics**, v. 65, p. 34–43, 2017c.

OLIVEIRA, L. K. DE; BRAGA, A. D. S.; ABREU, B. R. A. Relevant attributes in overnight goods delivery : researchers ', transporters ' and retailers ' preference in urban distribution. **12th WCTR**, n. January, p. 11–15, 2010.

OLIVEIRA, L. K. DE; GUERRA, E. D. A Diagnosis Methodology for Urban Goods Distribution: A Case Study in Belo Horizonte City (Brazil). **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 2014.

OLIVEIRA, G. F. DE; OLIVEIRA, L. K. DE. Stakeholder's Perceptions of City Logistics: An Exploratory Study in Brazil. **Transportation Research Procedia**, v. 12, p. 339–347, 2016.

OLIVEIRA, L.; BARRAZA, B.; BERTOCINI, B.; ISLER, C.; PIRES, D.; MADALON, E.; ... ; BANDEIRA, R. An overview of problems and solutions for urban freight transport in Brazilian cities. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 4, p. 1–14, 2018.

OLIVEIRA, L. K. D. E.; MATOS, B. A.; DABLANC, L.; RIBEIRO, K.; ISA, S. S. **Distribuição Urbana de Mercadorias e Planos de Mobilidade de Carga Oportunidades para municípios brasileiros Distribuição Urbana de Mercadorias e Planos de Mobilidade de Carga Oportunidades para municípios brasileiros**. Inter-American Development Bank. 2018.

PCAPREDICT. Fixing Failed Deliveries: Improving Data Quality in Retail. 2018.

PERBOLI, G.; ROSANO, M. Parcel delivery in urban areas: Opportunities and threats for the mix of traditional and green business models. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 99, n. November 2016, p. 19–36, 2019.

PERBOLI, G.; ROSANO, M.; GOBBATO, L. Parcel delivery in urban areas: opportunities and threats for the mix of traditional and green business models. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies,** 99, 19-36.2016.

PIDD, M. **Computer Simulation in Management Science**. Chichester: John Wiley and Sons, 2004.

PINTO, R.; GOLINI, R.; LAGORIO, A. Loading/unloading lay-by areas location and sizing: a mixed analytic-Monte Carlo simulation approach. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 12, p. 961–966, 2016.

PISKOREK, K. .; BARSKI, J. .; NOENNIG, J. R. Creative solutions for smart cities - The Syncity approch. **IFKAD Conference**, p. 10–12, 2015.

QUAK, H. **Sustainability of urban freight transport - Retail Distribution and Local Regulations in Cities.** 2008.

QUAK, H.; BALM, S.; POSTHUMUS, B. Evaluation of City Logistics Solutions with Business Model Analysis. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 125, p. 111–124, 2014.

RABE, M. Event Supply Chain Simulation Tool : Application To a Case Study in. **2018 Winter Simulation Conference (WSC)**, p. 2815–2826, 2018.

RHODES, S. S. **Guidebook for understanding urban goods movement**. Transportation Research Board, Washington DC. 2012.

RINCÓN, M. P.; MORENO, J. D. S.; TRIVIÑO, J. E. O. Análisis de un esquema de coordinación para los procesos de descargue en grandes almacenes , basado en modelos por eventos discretos. **Transporte y Territorio**. v. 17, p. 59–76, 2017.

ROBINSON, S. Choosing the right model: Conceptual modeling for simulation. **Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC)**, p. 1423–1435, 2011.

ROORDA, M. J.; CAVALCANTE, R.; MCCABE, S.; KWAN, H. A conceptual framework for agent-based modelling of logistics services. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 46, n. 1, p. 18–31, 2010.

RUSSO, F.; COMI, A. A model system for the ex-ante assessment of city logistics measures. **Research in Transportation Economics**, v. 31, n. 1, p. 81–87, 2011.

RUSSO, F.; COMI, A. City Characteristics and Urban Goods Movements: A Way to Environmental Transportation System in a Sustainable City. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 2012.

RUSSO, F.; COMI, A. Urban Freight Transport Planning towards Green Goals : Synthetic Environmental Evidence from Tested Results. 2016.

RUSSO, F.; MUSOLINO, G.; TRECOZZI, M. R. A system of models for the assessment of an urban distribution center in a city logistic plan. **WIT Transactions on the Built Environment**, v. 130, p. 799–810, 2013.

SAETTA, S.; CALDARELLI, V. Urban logistics: The role of urban consolidation centre for the sustainability of transportation systems. **18th International Conference on Harbor, Maritime and Multimodal Logistics Modelling and Simulation, HMS 2016**, n. September, p. 69–75, 2016.

SALEH, K. **E-commerce Product Return Rate – Statistics and Trends [Infographic]**. Disponível em: <https://www.invespcro.com/blog/ecommerce-product-return-rate-statistics/>. Acesso em: 7 ago. 2018.

SANCHES JUNIOR, P. F. Logística de Carga Urbana: uma análise da realidade brasileira. **Tese de Doutorado**, p. 239, 2008.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. **Journal of Simulation**, v. 7, n. 1, p. 12–24, 2013.

SCHROEDER, S.; ZILSKE, M.; LIEDTKE, G.; NAGEL, K.. Towards a Multi-Agent Logistics and Commercial Transport Model: The Transport Service Provider's View. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 649–663, 2012.

SCHROEDER, S. et al. Towards a Multi-Agent Logistics and Commercial Transport Model: The Transport Service Provider's View. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 649–663, 2012b.

SENA, D. C. **Política de gestão de estoques utilizando aprendizado por reforço e simulação híbrida em uma farmácia hospitalar**. [s.l.] UNIFEI, 2017.

SHANG, P.; CHEN, Y.; LUO, G.; GUO, D.; SU, X. Using Underground Logistics System to Mitigate the Congestion of Urban Transportation Network. **2nd International Conference on Mechanical Engineering, Industrial Materials and Industrial Electronics**, p. 69–76, 2019.

SHOHAM, Y.; POWERS, R.; GRENAGER, T. If multi-agent learning is the answer, what is the question? **Artificial Intelligence**, v. 171, n. 7, p. 365–377, 2007.

SIEBERS, P. O.; MACAL, C. M.; GARNETT, J.; BUXTON, D.; PIDD, M. Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation. **Journal of Simulation**, v. 4, n. 3, p. 204–210, 2010.

SIIKAVIRTA, H.; PUNAKIVI, M.; KÄRKKÄINEN, M.; LINNANEN, L. Effects of E-Commerce on Greenhouse Gas Emissions: A Case Study of Grocery Home Delivery in Finland. **Journal of Industrial Ecology**, v. 6, n. 2, p. 83–97, 2008.

SOKOLOWSKI, J. A. .; BANKS, C. M. **Principles of modeling and simulation**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2009.

SOMERS, A. **Effects of e-commerce on the value chain.** Thesis. Faculty Of Economics and Business. 2014.

SONG, L.; CHERRETT, T.; MCLEOD, F.; GUAN, W. Addressing the Last Mile Problem. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2097, n. 2097, p. 9–18, 2009.

SONG, L.; CHERRETT, T.; GUAN, W. Implications of collection/delivery points for transport and logistics. **OR Insight**, v. 24, n. 4, p. 231, 2011.

SOPHA, B. M.; SIAGIAN, A.; ASIH, A. M. S. Simulating Dynamic Vehicle Routing Problem Using Agent-Based Modeling and Simulation. **2016 Ieee International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (Ieem);: 1335-1339 2016**, p. 1335–1339, 2016.

SUKSRI, J.; RAICU, R. Developing a Conceptual Framework for the Evaluation of Urban Freight Distribution Initiatives. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 321–332, 2012.

TANIGUCHI, E. et al. Network Modelling and Intelligent Transport System Book. **Pergamon**, 2001.

TANIGUCHI, E.; OKAMOTO, M.; YAMADA, T. Multi-agent modelling for evaluating dynamic vehicle routing and scheduling systems. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, v. 7, n. 2001, p. 933–948, 2007.

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G.; YAMADA, T. The Sixth International Conference on City Logistics Incorporating risks in City Logistics. v. 2, p. 5899–5910, 2010.

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G.; YAMADA, T. Emerging Techniques for Enhancing the Practical Application of City Logistics Models. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 3–18, 2012.

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G.; YAMADA, T. Recent Trends and Innovations in Modelling City Logistics. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 2014.

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G.; YAMADA, T. New Opportunities and Challenges for City Logistics. **Transportation Research Procedia**, v. 12, n. June 2015, p. 5–13, 2016.

TANIGUCHI, E.; VAN DER HEIJDEN, R. E. C. M. An evaluation methodology for city logistics. **Transport Reviews**, v. 20, n. 1, p. 65–90, 2000.

TEO, J. S. E.; TANIGUCHI, E.; QURESHI, A. G. Evaluating City Logistics Measure

in E-Commerce with Multiagent Systems. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 349–359, 2012a.

TEO, J. S. E.; TANIGUCHI, E.; QURESHI, A. G. Evaluation of Load Factor Control and Urban Freight Road Pricing Joint Schemes with Multi-agent Systems Learning Models. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 125, p. 62–74, 2014.

TEO, J.; TANIGUCHI, E.; QURESHI, A. Evaluation of Distance-Based and Cordon-Based Urban Freight Road Pricing in E-Commerce Environment with Multiagent Model. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2269, n. 2269, p. 127–134, 2012b.

TEOH, T.; KUNZE, O.; TEO, C. C.; WONG, Y. Decarbonisation of urban freight transport using electric vehicles and opportunity charging. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 9, 2018.

UKKUSURI, S. V; OZBAY, K.; YUSHIMITO, W. F.; IYER, S.; MORGUL, E. F.; HOLGUÍN-VERAS, J. Assessing the impact of urban off-hour delivery program using city scale simulation models. **EURO Journal on Transportation and Logistics**, 2016.

VALLINO;, E.; MAGGI;, E.; BERETTA, E. An Agent-Based Simulation of Retailers' Ecological Behavior in Central Urban Areas. The Case Study of Turin. **The 4th Conference on Sustainable Urban Mobility**, n. December 2018, p. 639–646, 2019.

VAN DUIN, J. H. R; DE GOFFAU, W.; WIEGMANS, B.; TAVASSZY, L. A.; SAES, M. Improving Home Delivery Efficiency by Using Principles of Address Intelligence for B2C Deliveries. **Transportation Research Procedia**, v. 12, n. June 2015, p. 14–25, 2016.

VAN HEESWIJK, W.; LARSEN, R.; LARSEN, A. An urban consolidation center in the city of Copenhagen: A simulation study. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 13, n. 9, p. 675–691, 2019.

VAN KOLCK, A. H. **Multi-agent model for an Urban Distribution Centre**. [s.l.] Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 2010.

VIDAL VIEIRA, J. G.; FRANSOO, J. C. How logistics performance of freight operators is affected by urban freight distribution issues. **Transport Policy**, v. 44, p. 37–47, 2015.

VISSER, J.; NEMOTO, T.; BROWNE, M. Home Delivery and the Impacts on Urban Freight Transport: A Review. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 125, p. 15–27, 2014.

WANG, X.; ZHAN, L.; RUAN, J.; ZHANG, J. How to choose "last mile" delivery modes for E-fulfillment. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2014, n. 1, 2014.

WANG, X.; LIU, Z.; SHANG, Y. Two-tiered Decentralized Simulation Model to Regulate Urban Freight Trucks Operation. **Journal of Applied Sciences,** 13(16), 3275-3279, 2013

WANGAPISIT, O; TANIGUCHI, E.; TEO, J. S.; QURESHI, A. G . Multi-agent Systems Modelling for Evaluating Joint Delivery Systems. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 125, p. 472–483, 2014.

WANGAPISIT, O.; TANIGUCHI, E.; QURESHI, A. G. Multi-Agent Modelling Systems for Evaluating Urban Freight Policy Measures on Parking Space Restriction. **General Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research Society**

(15-18 July 2013, Rio de Janeiro, Brazil), p. 1–12, 2013.

WELTEVREDEN, J. W. J. B2c e-commerce logistics: the rise of collection-and-delivery points in The Netherlands. **International Journal of Retail & Distribution Management**, v. 36, n. 8, p. 638–660, 2008.

WELTEVREDEN, J. W. J.; ROTEM-MINDALI, O. Mobility effects of b2c and c2c e-commerce in the Netherlands: a quantitative assessment. **Journal of Transport Geography**, v. 17, n. 2, p. 83–92, 2009.

WINGFIELD, N. **A Amazon testa um novo local de entrega: seu carro**. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/tecnologia/a-amazon-testa-um-novo-local-de-entrega-seu-carro/>. Acesso em: 28 maio. 2018.

WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to MultiAgent Systems**. 1 ed.2009.

WOUDSMA, C. Understanding the movement of goods, not people: Issues, evidence and potential. **Urban Studies**, v. 38, n. 13, p. 2439–2455, 2001.

XIAO, HO.; JINGJING, Q.; TANG, X. No TitleB2C e-commerce vehicle delivery model and simulation. **Information Technology Journal**, 2013.

ZISSIS, D.; AKTAS, E.; BOURLAKIS, M. Collaboration in urban distribution of online grocery orders. **International Journal of Logistics Management**, v. 29, n. 4, p. 1196–1214, 2018.