

RHANDAL FREITAS MASTEGUIM

MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE PONTOS DE
COLETA NA DISTRIBUIÇÃO URBANA DE COMÉRCIO ELETRÔNICO: O CASO DE
SÃO PAULO

SÃO PAULO

2022

RHANDAL FREITAS MASTEGUIM

MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE PONTOS DE
COLETA NA DISTRIBUIÇÃO URBANA DE COMÉRCIO ELETRÔNICO: O CASO DE
SÃO PAULO

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências.

SÃO PAULO

2022

RHANDAL FREITAS MASTEGUIM

MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE PONTOS DE
COLETA NA DISTRIBUIÇÃO URBANA DE COMÉRCIO ELETRÔNICO: O CASO DE
SÃO PAULO

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências.

Área de Concentração:
Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador: Prof. Livre-Docente
Claudio Barbieri da Cunha

SÃO PAULO

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 23 de Maio de 2022

Assinatura do autor: Rhondal F. Masteguin

Assinatura do orientador: [Assinatura]

Catálogo-na-publicação

Masteguin, Rhondal

Modelagem e simulação para análise da utilização de pontos de coleta na distribuição urbana de comércio eletrônico: O caso de São Paulo / R. Masteguin -- versão corr. -- São Paulo, 2022.

137 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Pontos de coleta 2.Last-mile 3.Comércio eletrônico 4.Logística urbana
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sua graça e porque sempre és comigo; nada sou sem Ti.

A meu orientador Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha por todos os ensinamentos, por nortear meu caminho colaborando para o aprimoramento deste trabalho e pelas oportunidades oferecidas que pude vivenciar durante todos esses anos. Sua dedicação e excelência são inspiradoras para quem tem o privilégio de trabalhar com você.

Aos membros da banca, Prof. Dr Renato da Silva Lima e Profa. Dra. Patrícia Belfiore Fávero por aceitarem fazer parte da banca de defesa, por seus comentários, sugestões e contribuições para o refinamento da dissertação.

Sou eternamente grato a minha mãe Nilva, por toda paciência, educação, empenho, apoio, esforço imensurável e por ser minha sustentação. Sem você, não seria a metade do que sou hoje.

Ao meu amigo, sócio e colega de pós-graduação Cauê por me mostrar o mundo da logística, me incentivar a iniciar essa jornada do mestrado, pelas inúmeras discussões e por todo suporte.

Ao meu amigo e primo Vinícius, por não medir esforços para que eu pudesse concluir este trabalho, sua ajuda contribuiu muito para o resultado final.

A minha família e amigos por sempre estarem presentes e partilharem das alegrias dessa conquista comigo.

RESUMO

As vendas *online* vêm aumentando constantemente nos últimos anos e no Brasil, as vendas do *e-commerce* atingiram o recorde de 87,4 bilhões em vendas apenas no ano de 2020. Ao contrário do modelo tradicional de compras em lojas físicas, os varejistas de comércio eletrônico precisam entregar pedidos personalizados a locais altamente dispersos em janelas de tempo relativamente restritas. Com o aumento do *e-commerce*, também aumentou a dificuldade de se realizar as entregas à domicílio de produtos na etapa de *last-mile*, e conseqüentemente os efeitos negativos nas grandes áreas urbanas, como congestionamentos e poluição. Embora as entregas em domicílio sejam preferidas pelos compradores *online*, pesquisas na literatura mostram o desenvolvimento de alternativas que satisfazem tanto a demanda do consumidor por meios de entregas não assistidas (sem a necessidade de uma pessoa no local de entrega para efetivar o recebimento), quanto a necessidade das empresas de otimizar a distribuição de encomendas por meio de remessas mais consolidadas. A utilização de pontos de coleta (PC) é uma solução em rápido crescimento que permitem a consolidação de entrega de *e-commerce* em diversos locais das grandes cidades. Neste contexto, este trabalho traz como objetivo a investigação das condições em que uma rede de PC é mais eficiente que entregas em domicílio no ponto de vista financeiro, operacional e ambiental (emissões), no contexto de grandes cidades em países em desenvolvimento. Para atingir o objetivo proposto, foi criada uma metodologia que consiste na simulação de dias de entrega de *e-commerce*, partindo do centro de distribuição até a entrega para o consumidor final em 780 diferentes cenários. Estes cenários têm como finalidade representar as diferentes condições que um operador logístico pode encontrar durante a operação e são compostos por variações das características operacionais como, densidade de pedidos em uma região, a proporção de entregas que utilizam PCs, disposição do cliente se deslocar para coletar uma encomenda em um PC e distância entre o centro de distribuição e a demanda. Foi utilizado um sistema de roteirização para determinar os melhores roteiros de entrega, composição de frota de menor custo e um modelo exato foi criado para obter a configuração da rede ótima de PCs para simulação de cada cenário. A metodologia foi aplicada no centro urbano da cidade de São Paulo, onde a densidade populacional média é de 12.550 habitantes por km² e está inserido na região de maior faturamento de *e-commerce* do Brasil (fatores que aumentam a viabilidade da operação com PCs). Os resultados mostram que é possível reduzir o custo operacional de transporte com a consolidação das entregas nos PCs, pois essa alternativa de entrega possibilita o aumento da eficiência dos veículos, como o aumento da ocupação, aumento do perfil do veículo e menor quilometragem rodada. Também é possível observar que a característica operacional mais influente para redução de custo é a proporção de entregas direcionadas aos PCs, onde a média de redução no custo com a proporção de 20% ao modelo de PC é de 12%; com a proporção de 40% é de 28%; com a proporção de 60% é de 43% e com a proporção de 80% é de 54%. Nos cenários com maiores valores de densidade, caminhada do consumidor e proporção de entregas a PCs, a operação com PCs possibilitou a consolidação de até 2.400 endereços de entrega em apenas 18 pontos de coleta.

Palavras chaves: Modelagem e simulação; entregas de comércio eletrônico; transporte urbano de mercadorias; pontos de coleta.

ABSTRACT

Online sales have been constantly increasing in recent years and in Brazil, e-commerce sales reached a record of 87.4 billion in sales only in 2020. E-commerce retailers must deliver custom orders to highly dispersed locations in relatively restricted time windows. With the increase in e-commerce, the difficulty of making home deliveries of products in the last-mile stage also increased, and consequently the negative effects in large urban areas, such as traffic jams and pollution. Although home delivery is preferred by online shoppers, research reports found in the literature shown the development of alternatives that satisfy both consumer demand through unattended delivery means (without the need for a person at the place of delivery to make the receipt) and the need for companies to optimize parcel distribution through more consolidated shipments. The use of pickup points (PP) is a rapidly growing solution that enables the consolidation of e-commerce delivery in multiple locations across major cities. In this context, this work aims to investigate the conditions under which a PP network is more efficient than home delivery at the economic, operational and environmental (i.e. emissions) point of view, in the context of large cities in developing countries. To achieve the proposed objective, a methodology was created which consists in the simulation of e-commerce delivery days, from the distribution center to delivery to the final consumer in 780 different scenarios. These scenarios are intended to represent the different conditions that a logistics operator may encounter during the operation and are composed of variations in operational characteristics such as order density in a region, the proportion of deliveries that use PPs, customer willingness to go to collect an order on a PP and distance between the distribution center and the demand. A routing system was used to determine the best delivery routes, composition of the lowest cost fleet and an exact model was created to obtain the optimal PP network configuration to simulate each scenario. The methodology was applied in the urban center of the city of São Paulo, where the average population density is 12,550 inhabitants per km² and is located in the region with the highest e-commerce revenue in Brazil (factors that increase the feasibility of operating with PCs). The results show that it is possible to reduce the operational transport cost with the consolidation of deliveries in PPs, as this delivery alternative allows for greater vehicle efficiency, such as increased occupancy, increased vehicle profile and decreased distance traveled. It is also possible to observe that the most influential operational characteristic for cost reduction is the proportion of deliveries directed to PCs, where the average cost reduction with the proportion of 20% for the PC model is 12%; with the proportion of 40% it is 28%; with the proportion of 60% it is 43% and with the proportion of 80% it is 54%. In scenarios with higher values of density, customer willingness to walk and PC delivery proportion, PC operation enabled the consolidation of up to 2,400 delivery addresses into just 18 pickup points.

Keywords: Modeling and simulation; e-commerce deliveries; urban freight transport; pickup points.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Amazon Dash Buttons	14
Figura 2-1: Evolução do comercio eletrônico brasileiro	19
Figura 2-2: Entregas em domicílio sem a presença do consumidor	26
Figura 2-3: Operações de pontos de coleta	28
Figura 4-1: Caracterização da distribuição do last-mile de mercadorias de e-commerce	38
Figura 5-1: Esquema do <i>framework</i> de simulação dos cenários	43
Figura 5-2: Lógica de reparação de cruzamentos	51
Figura 5-3: Exemplo do mapa de representação das rotas	54
Figura 5-4: Exemplo de uma instância de Uchoa	55
Figura 5-5: Exemplo solução de uma instância de Uchoa	56
Figura 5-6: Diferença de distância para a melhor solução.....	56
Figura 5-7: Diferença na quantidade de veículos para a melhor solução	57
Figura 5-8: Diferença de custo para melhor solução	58
Figura 6-1: Área selecionada para simulação de entrega	60
Figura 6-2: Bairros da região do estudo	61
Figura 6-3: Distribuição percentual dos pesos das entregas	63
Figura 6-4: Distribuição percentual dos volumes das entregas	63
Figura 6-5: Exemplo de 1.000 pontos de demanda.....	64
Figura 6-6: Candidatos a pontos de coleta.....	67
Figura 6-7: Localização dos CDs	69
Figura 6-8: Cenário “base de referência”, com toda a demanda entregue em residências.	70
Figura 6-9: Evolução dos cenários com o aumento do percentual de utilização de PCs (20% a 80%).	71
Figura 6-10: Pontos e roteiros de entrega - Cenário base referência	72
Figura 6-11: Clientes aleatórios para serem entregues por PC e seus respectivos PCs	72
Figura 6-12: Novos pontos de entrega (incluindo PCs) e roteiros de entrega..	73
Figura 7-1: Gráfico de percentual de redução de custo.....	83
Figura 7-2: Cenários Q05,4 - Percentual de redução de custo.....	85

Figura 7-3: Comparação da redução de custo entre os cenários de 40% e 60% de adesão	89
Figura 7-4: Cenários Q21,5 - Percentual de redução de custo	92
Figura 7-5: Cenários Q32,2 - Percentual de redução de custo	92
Figura 7-6: Percentual de redução de km percorrido	93
Figura 7-7: Quantidade total de veículos utilizados (Q05,4 e Q10,7)	97
Figura 7-8: Quantidade total de veículos utilizados (Q021,5 e Q32,2)	97
Figura 7-9: Percentual de utilização de cada perfil de veículo	98
Figura 7-10: Ocupação média dos veículos	100
Figura 7-11: PCs e região de atendimento - Cenário D0,8	103
Figura 7-12: PCs e região de atendimento - Cenário D1,2	103
Figura 7-13: PCs e região de atendimento - Cenário D1,6	104
Figura 7-14: Redução percentual do tempo fixo de parada.....	111
Figura 7-15: Correlação entre redução de paradas e aumento de entregas por veículo	112
Figura 7-16: Histograma e histograma de frequência acumulada de distância de caminhada dos consumidores para distância máxima de 800metros – (D0,8)	113
Figura 7-17: Histograma e histograma de frequência acumulada de distância de caminhada dos consumidores para distância máxima de 1.200metros – (D1,2)	113
Figura 7-18: Histograma e histograma de frequência acumulada de distância de caminhada dos consumidores para distância máxima de 1.600metros – (D1,6)	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Comparação entre operação com PC da InPost e Transportadoras	33
Tabela 5-1: Exemplo relatório consolidado de rotas.....	52
Tabela 5-2: Exemplo relatório de itinerários	53
Tabela 6-1: Densidade populacional por bairro	62
Tabela 6-2: Exemplo de demanda gerada aleatoriamente	64
Tabela 6-3: Parâmetros operacionais da frota de veículos.....	66
Tabela 6-4: Quantidades de pacotes utilizados para definição da localização dos PC em cada densidade de demanda	68
Tabela 6-5: Nomenclatura dos cenários com 5,4 pacotes/km ²	74
Tabela 6-6: Nomenclatura dos cenários com 10,7 pacotes/km ²	74
Tabela 6-7: Nomenclatura dos cenários com 21,5 pacotes/km ²	75
Tabela 6-8: Nomenclatura dos cenários com 32,2 pacotes/km ²	75
Tabela 7-1: Custo unitário de entrega para cenários sem PCs em R\$/pacote.	78
Tabela 7-2: Impacto no custo unitário relacionado à proporção de entregas para PCs	79
Tabela 7-3: Impacto no custo unitário relacionado a densidade de pedidos....	80
Tabela 7-4: Impacto no custo unitário relacionado a localização do CD.....	81
Tabela 7-5: Impacto no custo unitário relacionado a distância de caminhada .	82
Tabela 7-6: Cenários Q05,4 - Redução de custo e quantidade de veículos requeridos	87
Tabela 7-7: Média, mínimo e máximo das reduções de custo.....	88
Tabela 7-8: Comparação da redução de custo entre os cenários de Q21,5 e Q32,2 de densidade	91
Tabela 7-9: Variação do percentual de redução de quilometragem por deslocamento	95
Tabela 7-10: Distância (km) total percorrida em cada cenário de simulação...	96
Tabela 7-11: Percentual médio de redução na quantidade de veículos	98
Tabela 7-12: Percentual de utilização de cada perfil de veículo de acordo com a localização do CD	99
Tabela 7-13: Exemplo de rota com ociosidade.....	101
Tabela 7-14: Quantidade média de entregas por veículo	102

Tabela 7-15: Quantidade de PCs por cenário	102
Tabela 7-16: Quantidade de entregas por PC.....	105
Tabela 7-17: Quantificação de cenários com PCs sem receber entregas	107
Tabela 7-18: Classificação de cenários com PC sem entregas	107
Tabela 7-19: Quantificação de cenários com PC recebendo apenas uma entregas.....	108
Tabela 7-20: Classificação de cenários com PC recebendo apenas uma entrega.....	109
Tabela 7-21: Percentual de redução de paradas	111
Tabela 7-22: Autonomia dos veículos	115
Tabela 7-23: Indicadores de emissão de poluentes da CETESB	115
Tabela 7-24: Consumo de combustível e emissão de poluentes para as operações sem PC.....	116
Tabela 7-25: Impacto no consumo de combustível com a utilização de PC...	116
Tabela 7-26: Impacto na emissão de CO com a utilização de PC.....	117
Tabela 7-27: Impacto na emissão de NOX com a utilização de PC	117
Tabela 7-28: Impacto na emissão de MP com a utilização de PC.....	117

LISTA DE SIGLAS

CD	Centro de distribuição
PCs	Pontos de coletas
ADSs	<i>Automatic delivery stations</i>
APS	<i>Automated parcel station</i>
B2B	<i>business-to-business</i>
B2C	<i>bussiness-to-customer</i>
C2C	<i>customer-to-customer</i>
CDPs	<i>Collection and Delivery Points</i>
CP	<i>Collection Point</i>
DL	<i>Delivery Lockers</i>
PP	<i>Pick-up Points</i>
SST	<i>Self-service technology</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo.....	16
1.2 Visão geral da dissertação	17
2. COMÉRCIO ELETRÔNICO NA LOGÍSTICA URBANA	18
2.1 <i>E-commerce</i>	18
2.2 Impacto do comércio eletrônico na logística urbana	19
2.2.1 <i>City Logistics</i>	20
2.2.2 Redução dos prazos de entrega	22
2.2.3 Mudança do perfil da frota de transporte	22
2.2.4 Falhas nas entregas e políticas de retorno	23
2.3 Soluções alternativas para a distribuição de <i>e-commerce</i>	24
2.3.1 Omni-Channels	24
2.3.2 Coletas não assistidas	25
2.4 Serviço de entrega com pontos de coleta.....	27
2.4.1 Descrição da operação	27
2.4.2 Benefícios para o consumidor	28
2.4.3 Benefícios para o operador logístico	29
2.4.4 Importância da localização	31
2.4.5 Benefícios para a logística urbana e meio ambiente	32
2.4.6 Restrições Operacionais.....	33
3. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE A UTILIZAÇÃO DE PONTOS DE COLETA	34
4. CARACTERIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	38
4.1 Aspectos não considerados	40
5. METODOLOGIA.....	43
5.1 Modelo de localização de PCs.....	46
5.2 Ferramenta de otimização para o modelo de localização.....	48
5.3 Ferramenta de roteirização	49
5.3.1 Heurísticas versus modelo exato	49
5.3.2 Descrição do sistema de roteirização.....	50
5.3.3 Verificação e validação do sistema de roteirização	54
6. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA O CASO DE SÃO PAULO.....	59

6.1	Descrição dos parâmetros de simulação	59
6.1.1	Demanda / área de entrega	59
6.1.2	Parâmetros operacionais da frota de veículos	65
6.1.3	Candidatos a pontos de coleta.....	66
6.1.4	Disposição do cliente para se deslocar a fim de coletar uma encomenda	68
6.1.5	Localização do centro de distribuição (ponto de partida).....	69
6.1.6	Proporção percentual da demanda (adesão) que será atendida pela operação de PCs 70	
6.2	Exemplo gráfico da aplicação da metodologia.....	71
6.3	Cenários de simulação e sua nomenclatura	73
7.	RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO	77
7.1	Custo unitário por entrega	78
7.2	Redução de custo total da operação.....	82
7.2.1	Demanda de 5,4 pacotes/km ² (500 pacotes/dia).....	84
7.2.2	Demanda de 10,7 pacotes/km ² (1.000 pacotes/dia).....	87
7.2.3	Demandas de 21,5 pacotes/km ² (2.000 pacotes/dia) e 32,2 pacotes/km ² (3.000 pacotes/dia).....	90
7.3	Desempenho operacional.....	93
7.3.1	Quilometragem (distância percorrida).....	93
7.3.2	Quantidade de veículos.....	96
7.3.3	Ocupação dos veículos	99
7.3.4	Quantidade de pontos de coleta	102
7.3.5	Utilização dos pontos de coleta	104
7.3.6	Tempo de parada	109
7.4	Impacto para o consumidor	112
7.5	Impacto ambiental.....	115
8.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	118
9.	REFERÊNCIAS.....	123
APÊNDICE A	128
APÊNDICE B	132

1. INTRODUÇÃO

As pessoas ao redor do mundo estão se tornando cada vez mais ocupadas com seu estilo de vida e estão procurando a maneira mais rápida, fácil e barata de completar a variedade de tarefas rotineiras. O comércio eletrônico é caracterizado por qualquer transação comercial realizada por meio eletrônico e teve sua origem com o objetivo de facilitar e agilizar as compras e vendas de um volume grande e consolidado de produtos entre empresas (B2B), porém os avanços operacionais e tecnológicos permitiram que sua utilização fosse expandida para o mercado de varejo (B2C) com foco em venda de produtos para o cliente final e entrega domiciliar (caracterizando uma operação mais fragmentada, se comparada a B2B). O principal benefício do comércio eletrônico é que as pessoas podem pesquisar produtos, preços e efetuar compras em diversas lojas, sem ter que sair de casa (JIMENEZ; VALDES; SALINAS, 2019).

Atualmente, o comércio eletrônico se tornou um dos canais de vendas que mais cresce em diferentes tipos de produtos e serviços para os consumidores (SCHÖDER; DING; CAMPOS, 2016). De acordo com Lindner (2017), as vendas *online* vêm aumentando constantemente nos últimos anos e estão projetadas para representar 17,0% de todas as vendas no varejo até 2022.

No Brasil, as vendas online chegaram à marca histórica de mais de 87 bilhões de reais em vendas em 2020, representando um crescimento de 41% quando comparadas ao mesmo período do ano anterior. Neste período, mais de 194 milhões de encomendas foram feitas por vias eletrônicas, o que representa quase uma encomenda por habitantes do país e foram contabilizados 17,9 milhões consumidores do *e-commerce* a mais do que no ano anterior, resultando em um crescimento de 29%. (EBIT | NIELSEN, 2021)

A variedade de novos serviços *online* vem mudando os padrões de compra do consumidor, alterando seu comportamento para maiores facilidades e menor esforço empenhado. A Amazon é atualmente a maior varejista online do mundo e reconhecida como precursora nos avanços tecnológicos para operações logísticas e oferecimento de novos serviços *online*.

Abaixo estão descritas algumas inovações criadas pela Amazon que geraram mudanças no padrão de compra do consumidor:

1. Lançando em 2014, os "*Dash Buttons*" são pequenos dispositivos sem fio que permite que os clientes encomendem automaticamente e remotamente um determinado produto apenas pressionando um botão, o qual está associado a uma determinada marca doméstica, como detergente ou creme dental. Uma

vez que o consumidor pressiona o botão, uma mensagem é enviada para sua conta na Amazon através da conexão sem fio para solicitar o reabastecimento do produto com a quantidade configurada previamente e que posteriormente é entregue ao seu endereço.



Figura 1-1: Amazon Dash Buttons

Fonte: <https://techcrunch.com/2017/04/25/theres-now-an-amazon-dash-button-for-underwear/>

2. A Alexa é uma assistente virtual inteligente que possui a habilidade de executar tarefas através de comandos por voz. Dentre suas funcionalidades estão a capacidade de responder perguntas, ler notícias, fornecer informações sobre o clima e trânsito, configurar alarmes, lembrar de compromissos, tocar músicas e controlar outros aparelhos que possam ser conectados (lâmpadas, termostatos, câmeras etc.). Para compras *online*, consegue responder sobre preços de produtos, fazer uma lista de compras e efetivamente comprar produtos. A Alexa aprende com o histórico de compras, assim quando for necessário fazer um pedido novamente, ela oferecerá um item do histórico de pedidos, confirmará o preço e perguntará se o usuário gostaria de comprá-lo.
3. A *Amazon Prime*, uma assinatura paga que, além do serviço de *streaming* de vídeos e música, oferece benefícios como frete grátis sem valor mínimo de compra para milhões de itens e entrega expressa com prazos reduzidos.

Tais iniciativas de serviços oferecidos pelo *e-commerce* tendem a ser seguidas por outros competidores online, como por exemplo, a B2W (uma das maiores empresas de varejo *online* do Brasil) que também oferece um programa de associação similar ao da Amazon com conveniência de entrega, aumentando o ambiente de compras e impulsionando as oportunidades.

O modelo tradicional de compras em lojas físicas, onde são os próprios clientes que realizam o chamado “trabalho com uso intensivo de mão-de-obra” (por exemplo, a ida a loja,

a escolha do produto desejado e o transporte deste para casa), vem a cada dia dando espaço para o modelo eletrônico de compras. À medida que o crescente fluxo de pedidos de comércio eletrônico continua a gerar novos recordes de receita anual, os varejistas de comércio eletrônico enfrentam os desafios do aumento das demandas dos clientes, volumes transportados, pedidos personalizados, locais dispersos e estreitas janelas de tempo para entrega (VAKULENKO et al., 2019).

Assim, é possível identificar que as compras *online* estão mudando o comportamento dos consumidores, que podem contar com entregas mais frequentes em menores volumes. Conseqüentemente, observam-se os efeitos negativos que são ocasionados, como congestionamentos e poluição em grandes áreas urbanas com alta densidade demográfica, na medida em que as remessas altamente consolidadas entregues aos varejistas são substituídas por remessas muito menos agrupadas, entregues diretamente para consumidores finais (SCHÖDER; DING; CAMPOS, 2016).

Como apontado por Morganti et al. (2014), entregas domiciliares constituem um dos problemas mais complexos a ser enfrentado pelos operadores logísticos em termos de custos e organização de serviços de entregas. Embora as entregas em domicílio sejam preferidas pelos compradores *online*, os autores mostraram o desenvolvimento de alternativas que satisfazem tanto a demanda do consumidor por flexibilidade quanto a necessidade das empresas de otimizar a distribuição de encomendas por meio de remessas consolidadas.

Na Europa, os pontos de coleta de encomendas são soluções em franco crescimento. Essas opções de entrega ao consumidor estão desempenhando um papel decisivo na reorganização das atividades logística e comerciais nas empresas, e estão se tornando uma das principais estratégias dos concorrentes no comércio eletrônico e de transporte (VAKULENKO; HELLSTRÖM; HJORT, 2018).

De acordo com Morganti, et al. (2014), na França, mais de 20% das remessas de compras online são entregues através de algum ponto de coleta ao invés do domicílio do comprador. A junção das redes de pontos e coletas de quatro empresas francesas oferece acesso a um ponto de captação em menos de 10 minutos de carro ou a pé (dependendo da área) para 90% da população daquele país. Nos EUA, a Amazon iniciou a operação com pontos de coleta de autoatendimento em 2011 nas cidades de Nova York e Seattle, porém os constantes investimentos possibilitaram a expansão desses serviços para mais de 900 cidades em 2021.

Dado o contexto apresentado, é levantada a relevância que o comércio eletrônico possui no cenário atual econômico, com um histórico de crescimento expressivo e se

tornando um dos principais canais de venda para bens de consumo, assim como também são descritos os impactos na logística urbana inerente a esse crescimento e a mudança do comportamento de compra dos consumidores.

Dessa forma, estudos estão sendo realizados para avaliar soluções alternativas para a distribuição de *e-commerce* em busca de novos meios de mitigar os problemas logísticos atualmente enfrentados pelos transportadores. Os serviços de entrega com utilização de pontos de coleta (PC) estão em ampla ascensão nos grandes centros urbanos, pois além de oferecer novas opções de entrega para os clientes, minimiza as consequências adversas da operação de entrega.

Com base nesse cenário, este trabalho tem como motivação determinar em que condições pontos de coleta podem ser mais eficientes que entregas em domicílio no ponto de vista financeiro, operacional e sustentável, no contexto de grandes cidades em países em desenvolvimento. Para tanto, é proposta uma metodologia que possibilite considerar os critérios relevantes e aplique-os no contexto da cidade de São Paulo, Brasil.

1.1 Objetivo

O objetivo desse estudo é determinar em que condições pontos de coleta podem ser mais eficientes que entregas em domicílio no ponto de vista financeiro, operacional e ambiental, fornecendo mais subsídio para a tomada de decisão de um operador logístico.

Para isso, é proposta uma metodologia que possibilite simular a operação real de distribuição de produtos vendidos pelo *e-commerce* nos grandes centros urbanos, tanto para os métodos tradicionais de entrega ao domicílio, quanto para a solução de entregas auxiliadas por pontos de coleta.

Como objetivos específicos, se destacam:

- Comparar o desempenho operacional e de custos entre a operação tradicional de entrega em domicílio e a operação de entrega utilizando pontos de coleta, para diferentes densidades de entregas na mesma região e diferentes quantidades de entregas encaminhadas para utilização dos PCs;
- Mensurar o impacto operacional decorrente da distância máxima que o consumidor pode se deslocar para coletar uma encomenda;
- Mensurar o impacto operacional decorrente da distância do centro de distribuição para o início da área de entrega;
- Mensurar o impacto no nível de serviço oferecido ao consumidor, considerando com a distância média de caminhada;

- Mensurar os impactos inerentes à logística urbana, com enfoques em problemas ambientais, de tráfego e tamanho da frota.

1.2 Visão geral da dissertação

A estrutura da dissertação é sumarizada a seguir:

1. **Introdução:** Contextualização do tema de estudo, definição dos objetivos do trabalho e apresentação da estrutura geral da dissertação.
2. **Comércio eletrônico na logística urbana:** Explicação do processo de compra online, bem como os impactos causados na logística urbana. Apresenta soluções alternativas já em operação no mercado e expõe uma descrição detalhada do serviço de entrega com a utilização dos pontos de coleta.
3. **Revisão da literatura sobre a utilização de pontos de coleta:** Apresenta uma revisão bibliográfica sobre a literatura científica associada ao tema de utilização de pontos de coleta para distribuição de comércio eletrônico na logística urbana.
4. **Caracterização e delimitação do problema:** Apresentação formal do escopo da dissertação, delimitando a operação em apenas a distribuição do *last-mile* para itens e produtos restritos a utilização de pontos de coleta.
5. **Metodologia:** Propõe um modelo de simulação de utilização de pontos de coleta que permita mensurar a eficiência de diferentes cenários de entrega. Uma avaliação é feita sobre a confiabilidade do modelo e testes com instâncias propostas na literatura. Por fim, uma justificativa para a escolha do modelo.
6. **Aplicação da metodologia para o caso de São Paulo:** Descrição dos dados utilizados para os cinco parâmetros considerados relevantes para a simulação de uma operação de distribuição de produtos em uma área central urbana.
7. **Resultados do estudo de caso:** Traz resultados obtidos com a simulação dos cenários e análises obtidas com a comparação dos resultados, evidenciando as diferenças operacionais entre as operações de distribuição tradicional e com a utilização de pontos de coleta.
8. **Conclusão:** Apresenta as conclusões sobre a utilização de pontos de coleta em uma operação de distribuição de *e-commerce*.

2. COMÉRCIO ELETRÔNICO NA LOGÍSTICA URBANA

Este capítulo tem por finalidade caracterizar a distribuição urbana de cargas, apresentando algumas das definições sobre comércio eletrônico *online*, os impactos na logística urbana decorrentes do crescimento neste tipo de comércio, soluções alternativas para reduzir os problemas causados no cotidiano de grandes cidades, com foco mais aprofundado na solução de entrega com utilização do serviço de pontos de coleta.

2.1 *E-commerce*

De acordo com Schooder, Ding e Campos (2016) o comércio eletrônico proporcionou uma verdadeira mudança no comportamento dos consumidores atuais, pois como sabemos o ato de comprar é comportamental e vem se modificando gradualmente. Realizar compras *online*, através de plataformas digitais conectadas (computador, celular e outros dispositivos de acesso a internet como tablets) é um hábito relativamente novo, que ainda não está consolidado, mas que vem crescendo de maneira exponencial, pois traz benefícios ao consumidor que o mercado convencional não traz. Os mercados *online* proporcionam, também, mudanças para as empresas varejistas que agora potencializam suas vendas, antes apenas locais pela barreira física, para todo o território nacional e internacional, atingindo de maneira mais eficiente os consumidores que possam consumir os bens e serviços oferecidos. Através do *e-commerce*, o comércio varejista não está mais restrito pelo horário da loja, pela área de marketing geográfico ou pela lista de catálogos de produtos.

No Brasil, as vendas do *e-commerce* atingiram o recorde de 87,4 bilhões em vendas no ano de 2020, com 79,7 milhões de consumidores fazendo pelo menos uma compra virtual e 194 milhões de pedidos efetuados durante o ano. Esse crescimento foi impulsionado principalmente por dois fatores: o isolamento social e restrições de circulação causadas pela pandemia mundial do coronavírus, e a oferta de frete grátis como um dos principais motivadores de compras pelos consumidores brasileiros do *e-commerce* (EBIT | NIELSEN, 2021).

Em dez anos (2011 a 2021) o faturamento obtido com as vendas online cresceu 467%, impulsionados principalmente pela evolução tecnológica do setor, possibilitando que mais segmentos da economia pudessem oferecer produtos por meios eletrônicos, mas também pela migração de usuários do varejo físico para o online e da expansão do uso de dispositivos móveis. No mesmo período também houve um crescimento de 398% na quantidade de pedidos, alcançando um total de 79,9 milhões, impulsionados por lojas de

departamentos, autosserviço, artigos de moda e esportivos e informática (EBIT | NIELSEN, 2021).

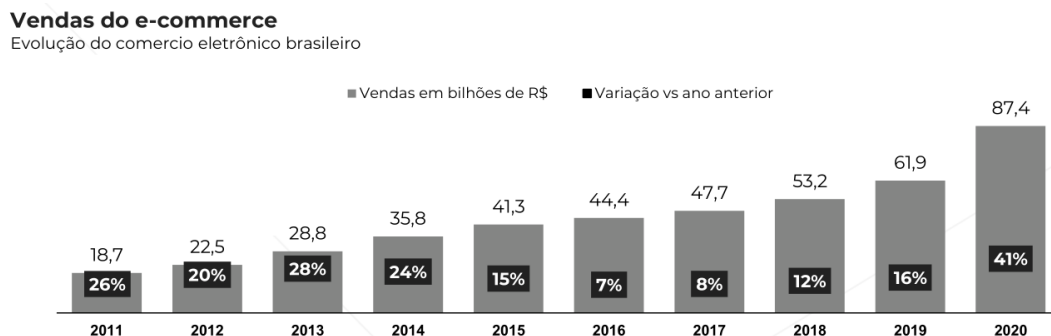


Figura 2-1: Evolução do comércio eletrônico brasileiro

Fonte: Ebit | Nielsen Webshoppers 43

Desde 2012, foi criado um novo modelo de negócios para o mercado online chamado *marketplace*, que funciona como um shopping center virtual porque disponibiliza produtos de diferentes vendedores, lojas e marcas sob um mesmo portal, e muitas vezes com a logística *fulfillment* realizada por esse portal. Grandes empresas como Amazon, Mercado Livre, Submarino, Americanas, Casas Bahia, Walmart, OLX, Enjoei, entre muitas outras, possibilitaram que vendedores menores e até mesmo pessoas físicas utilizem suas infraestruturas consolidadas de vendas online (como publicidade, confiabilidade, websites de vendas e métodos de pagamento) para revenderem seus próprios produtos. Juntos, os *marketplaces* B2C (apenas de produtos novos) e os que são B2C e C2C (com produtos novos, usados e/ou artesanatos) representam um *share* de 65,4% do *Digital Commerce* (EBIT | NIELSEN, 2018).

Um dos custos mais relevantes em uma operação de comércio eletrônico é referente ao frete, representando mais de 62,6% dos custos logísticos. Isto ocorre porque em praticamente todas as transações de uma loja virtual há envio de mercadorias, seja ela feita pelos correios ou transportadoras em geral (ECOMMERCEBRASIL, 2015). Os demais custos mais evidentes da operação são de 19% com armazenagem e 17,5% com manuseio.

2.2 Impacto do comércio eletrônico na logística urbana

Apesar do comércio eletrônico ter modificado a forma dos consumidores fazerem compras, é possível destacar que esse canal de venda transferiu a responsabilidade de transporte do produto para o vendedor, evitando que o consumidor precise ir até a loja física e usufruindo de serviços de entrega em domicílio.

Em uma economia impulsionada pelo consumidor, aspectos como fragmentação de carga, menores prazos de entrega, aumento no número de paradas, entrega malsucedida devido à ausência dos clientes, logística reversa, aumento na quantidade de estruturas logísticas, aumento e troca do perfil da frota de entrega, congestionamento e danos ambientais são alguns impactos causados na logística urbana pelo aumento do *e-commerce*.

Os serviços de entrega ao consumidor final em conjunto com a facilidade de consumir sem sair de casa transformaram o comportamento de compra dos consumidores, com aquisições mais frequentes e em menores quantidades, potencializadas pelos serviços de entrega gratuita. No entanto, isso gera novos desafios para a logística, já que a cadeia de suprimentos precisa lidar com a crescente fragmentação da carga na distribuição da “última milha” (do inglês *last-mile*, como é conhecido o segmento final da cadeia de suprimento), o que resulta em uma logística de distribuição cada vez mais complexa e causa problemas dentro de áreas urbanas (CÁRDENAS; BECKERS; VANELSLANDER, 2017).

Schooder, Ding e Campos (2016) apresentam algumas soluções sustentáveis para a logística urbana. A abordagem dos autores foi identificar os desafios da logística urbana causados pelo aumento do volume de entregas decorrente do desenvolvimento do comércio eletrônico. A análise das práticas sustentáveis das empresas mostrou que elas se concentram no desenvolvimento de processos internos e na utilização de recursos, a fim de reduzir seu impacto ecológico e atender aos clientes.

2.2.1 City Logistics

As operações logísticas resultantes do comércio eletrônico, assim como suas novas soluções alternativas (como a utilização de pontos de coleta) que estão sendo criadas para distribuição de produtos no *last-mile*, impactam diretamente o ambiente urbano em que estão inseridas. Então esta subseção tem os objetivos de explicar o conceito de *city logistic* e fazer um levantamento de indicadores da logística urbana que possibilitem a mensuração do impacto que estas operações causam no ambiente de grandes centros urbanos.

City Logistics é definido por Taniguchi et al. (2001) como “o processo para otimizar totalmente a logística e atividades de transporte realizadas por companhias privadas em áreas urbanas, considerando o ambiente de tráfego, congestionamentos e consumo de energia dentro de um modelo de economia de mercado”.

Os veículos de carga, incluindo aqueles que realizam as entregas do *e-commerce*, competem com os veículos particulares e com o transporte público no fluxo de pessoas pelas ruas e avenidas da cidade, e contribuem significativamente para o congestionamento e impactos ambientais, como emissões de poluentes e ruídos. Esses aspectos afetam a vida

de todas as pessoas que vivem ou trabalham nas cidades, bem como a produtividade das empresas localizadas em zonas urbanas e das cadeias de abastecimento que envolvem essas empresas. Um dos principais fatores que contribuem para o aumento destes impactos é a distribuição com base em estoques baixos e entregas pontuais como, por exemplo, o crescimento do comércio eletrônico entre empresas e clientes, que gera volumes significativos de entregas domiciliares pouco consolidadas (CRAINIC; RICCIARDI; STORCHI, 2009).

Dessa forma, modelos e políticas têm sido elaboradas tentando mitigar os problemas resultantes da movimentação de cargas, como congestionamentos; falta de mobilidade; poluição ambiental e sonora, entre outros (ALVES; LIMA; OLIVEIRA, 2016).

Russo e Comi (2012) definem um conjunto de variáveis quantitativas e qualitativas (indicadores) da logística urbana que impactam na sustentabilidade e os classificam como segue:

1. Sustentabilidade econômica pode ser tratada em termos de:
 - Congestionamentos de tráfego (por exemplo, tempo extra gasto para viajar, tempo de viagem, velocidade de deslocamento),
 - Comprimento da viagem,
 - Tempo de entrega,
 - Custo da infraestrutura;
2. Sustentabilidade social pode ser tratada em termos de:
 - Redução das interferências entre os atores da mobilidade urbana (por exemplo, carro, caminhão e pedestres),
 - Redução de veículos que circulam,
 - Redução de acidentes rodoviários,
 - Habitabilidade da cidade;
3. Sustentabilidade ambiental pode ser tratada em termos de:
 - Redução de poluentes,
 - Redução do ruído,
 - Perda de habitat.

2.2.2 Redução dos prazos de entrega

O aumento das lojas de comércio *online* acirrou a concorrência por menores preços e melhores serviços prestados. Um dos principais diferenciais competitivos mais relevantes na escolha pelos consumidores é relativo ao serviço de entrega, oferecendo menores prazos para recebimento ou frete grátis.

Com menores prazos de entrega e a maior fragmentação de carga, é possível assumir que o tempo disponível para entrega passa a ser a limitação mais restritiva da operação. A consolidação de pedidos de uma região de atendimento pequena se torna mais difícil, fazendo com que as rotas de distribuição efetuem um número maior de paradas em pontos mais pulverizados. O resultado disso é aumento do número de viagens e uma menor eficiência dos veículos, ou seja, veículos menores com menor percentual de ocupação. Adicione-se a isso a dificuldade de estacionamento, especialmente em áreas mais centrais, o que prejudica ainda mais a produtividade da operação de entrega.

A disponibilização de opções de entregas em menos de 24h ou até no mesmo dia pode ser decisiva na escolha entre os competidores, pois a compra pode estar associada à necessidade de agilidade nesse tipo de serviço. Uma fração das compras que ainda leva os consumidores para as lojas físicas é associada à certa necessidade ou urgência, como por exemplos remédios ou presentes de última hora onde o tempo de entrega é mais importante até que o preço, ou que estão associadas a certos tipos de produtos perecíveis como frutas, verduras, laticínios e carnes, onde o tempo de entrega tem impacto na qualidade do produto.

Para que a agilidade oferecida pelos serviços de entrega seja possível, o produto precisa estar mais perto do consumidor e isso impacta diretamente o custo e eficiência no ganho de escala do transportador, pois exige a descentralização de um grande CD em pequenos CDs menores e mais espalhados.

2.2.3 Mudança do perfil da frota de transporte

É possível observar o impacto da migração do volume de compras do segmento B2B para o B2C na logística urbana, pois uma frota com menor número de veículos de maior capacidade para transportar cargas consolidadas entre as empresas deu espaço para uma frota com maior número de veículos com menor capacidade para realizar entregas menos consolidadas diretamente para o consumidor final.

O aumento na quantidade de veículos de entrega nas áreas urbanas implica em um impacto direto no aumento do congestionamento, número de acidentes, poluição do ar e sonora, e conseqüentemente aumento do custo de transporte.

2.2.4 Falhas nas entregas e políticas de retorno

Na operação de entrega a domicílio, a ausência de qualquer pessoa responsável (em muitos casos, restrita a maiores de 18 anos) para receber a encomenda faz com que a entrega não seja concluída, acarretando que novas tentativas de entrega precisem ser realizadas.

Para os operadores logísticos, entregar um pacote a um ponto de coleta (PC) após uma entrega malsucedida na primeira tentativa pode economizar tempo e combustível, já que não é necessário visitar um domicílio por outras vezes para fazer uma entrega bem-sucedida. Além disso, quando os PCs estão localizados perto de locais residenciais (por exemplo em lojas, escolas, etc.) ou em áreas que já geram viagens de consumidores (por exemplo postos de gasolina, terminais de transporte de passageiros, supermercados, etc.) apenas uma pequena mudança de trajeto é necessária aos consumidores para coletar uma entrega (WELTEVREDEN, 2008).

Falhas nas entregas e políticas de retorno de mercadoria são exemplos de complexidade e custos adicionados à operação de entrega que sofreram aumento significativo por causa do *e-commerce*. Do ponto de vista operacional, as entregas bem-sucedidas são muito desejáveis, pois evitam custos relacionados a novas tentativas de entrega, manuseio de pacotes adicionais ou contratação de empresas terceirizadas para o armazenamento dos pacotes. No entanto, garantir entregas bem-sucedidas é uma tarefa que não é trivial, pois muitos clientes não estão disponíveis em seus endereços residenciais durante todo o período de entrega (FLORIO et al., 2018).

Em sua maioria, as pessoas que têm como costume fazer compras regularmente pela internet possuem perfil economicamente ativo e passam a maior parte do horário comercial fora de suas residências (horário cujos operadores logísticos fazem as entregas), o que aumenta a probabilidade de entregas malsucedidas e retrabalho. No Brasil, a norma dos correios exige que sejam feitas três tentativas de entrega e, se nenhuma for bem-sucedida, a encomenda volta para o remetente ou uma carta aviso é deixada em seu endereço notificando que o produto se encontra disponível para retirada na agência dos correios de sua localidade.

Países como a Alemanha possuem uma alta taxa de devolução de produtos pelo fato de que a maioria dos custos referente à logística reversa são gratuitos, especialmente no segmento de moda. Muitos consumidores encomendam frequentemente mais produtos do que o necessário, comprando tamanhos diferentes de um mesmo item e se beneficiando da logística reversa para realizar a devolução daqueles que não tiverem o tamanho adequado (MORGANTI et al., 2014).

2.3 Soluções alternativas para a distribuição de e-commerce

Consumidores, lojas online e operadores logísticos se beneficiam quando as entregas são feitas da forma mais rápida, simples e barata possível.

Por parte dos consumidores, decisões conscientes como a escolha de endereços de entregas onde sempre haverá pessoas para fazer o recebimento no horário comercial, como o local de trabalho ou prédios com portaria, auxilia para que o índice de entrega bem-sucedida na primeira tentativa aumente.

Os operadores logísticos estão desenvolvendo inúmeras maneiras de evitar falhas de entregas na primeira tentativa. Uma possibilidade de alto custo são as entregas flexíveis ou identificar o dia da entrega antecipadamente. Outras possibilidades nesta área incluem entregas a um vizinho favorecido ou até mesmo deixar a encomenda em um lugar secreto na propriedade do beneficiário (conhecido apenas pelo consumidor e pelo prestador de serviços) (MORGANTI et al., 2014).

2.3.1 Omni-Channels

Um canal de varejo e um cliente podem trocar informações e produtos de duas maneiras diferentes em relação à compra e o recebimento do produto: a compra pode ser feita presencialmente em uma loja de varejo ou remotamente em uma plataforma online; O recebimento do produto pode ser através de uma coleta do cliente em uma loja física ou entrega em sua casa. O *omni-channel* refere-se ao uso de uma combinação mista de canais físicos e online para lojas do varejo interagirem com os clientes, com a grande vantagem de oferecer ao cliente o serviço mais adequado com base nas características do produto e nas suas necessidades de compra (CHOPRA, 2018).

A eficiência de cada canal tem impacto direto na escolha a ser utilizada pelo consumidor. Se houver estoque disponível, os clientes podem retirar produtos em uma loja física muito mais rapidamente do que por outros canais, no entanto, são limitados em termos da variedade de produtos oferecidos. Se os clientes estiverem dispostos a acessar remotamente as informações de ofertas, uma empresa pode oferecer uma seleção muito mais ampla de produtos.

A Via Varejo (grande rede de lojas varejistas do Brasil) implantou um serviço onde a coleta do pedido realizado pela internet pode ser feita pelos consumidores em uma loja física de sua escolha dentre a ampla rede de franquias espalhadas na cidade, optando por aquela que seja mais próxima ao itinerário de rotina. Nesse modelo o consumidor continua com as comodidades de uma compra online, como encontrar uma mercadoria específica sem precisar sair de casa e evitando se deparar com a indisponibilidade de estoque em uma

loja física, e ainda inclui os benefícios de economia no valor do frete e de maior agilidade na disponibilização para coleta do produto frente ao tempo de entrega direta ao endereço de escolha. Esse tipo de operação, quando causa variação, influencia de forma mínima o aumento no custo para o operador logístico, pois o abastecimento de lojas físicas já é parte necessária da operação da cadeia de suprimentos e as encomendas indicadas para a coleta embarcariam de carona nos veículos, aumentando apenas sua ocupação.

Na França, os supermercados também estão criando pontos “clique e colete”. O consumidor faz toda a seleção de produtos e pagamento através da internet, escolhe o dia e horário de coleta, então vai até a loja e passa por um “*Drive thru*” para coletar as compras consolidadas. Isso permite compras online de alimentos e reduz o tempo que os clientes gastam na área de vendas do supermercado.

2.3.2 Coletas não assistidas

De acordo com Allen et al. (2007), as empresas de logística projetaram soluções alternativas para minimizar o problema de entregas a domicílio malsucedidas e os altos custos a elas vinculados. Neste contexto, as soluções se apresentam nos modelos de entregas não assistida em domicílio e entregas afastadas dos domicílios, ambas sem a presença do consumidor.

2.3.2.1 Coletas não assistidas em domicílio

A modalidade não assistida não é muito comum no Brasil devido a processos burocráticos exigidos, como assinaturas e validações de recebimento, porém a pandemia do coronavírus fez com que o contato entre as pessoas ficasse reduzido e obrigou que processos de entrega fossem revistos, criando novos mecanismos de viabilização para o modelo não assistido.

As soluções de entregas em domicílio sem a presença do consumidor são:

- Caixa de recepção fixada permanentemente a uma parede fora da casa do cliente para o qual o acesso é possível usando uma chave ou código eletrônico e o cliente pode ser alertado da entrega por telefone celular ou e-mail;
- Caixas de entrega de propriedade do varejista ou empresa de entrega, que são preenchidas com as mercadorias no depósito de distribuição e, em seguida, temporariamente conectada à casa por meio de um dispositivo de trava fixado na parede em um local seguro na casa do cliente. Por fim, as caixas vazias ou caixas contendo mercadorias devolvidas são coletadas pelo operador logístico em uma rota de coleta separada ou como parte da próxima entrega;

- Sistemas controlados fornecem ao motorista da entrega um meio de obter acesso a uma área específica da casa do cliente para deixar a mercadoria. Uma chave pode ser lacrada dentro de uma unidade, que é montada em um local onde a equipe de entrega pode acessá-la e o motorista insere um código de acesso para liberar a chave e abrir o local indicado para deixar a mercadoria;



Figura 2-2: Entregas em domicílio sem a presença do consumidor

2.3.2.2 Coletas não assistidas afastadas dos domicílios

As soluções de entregas longe do domicílio sem a presença do consumidor são locais físicos denominados de pontos de coleta (PCs) onde são entregues as mercadorias adquiridas no *e-commerce*, porém exigem que o consumidor faça a etapa final da entrega, se deslocando até o local determinado para retirada da encomenda.

Pontos de coleta beneficiam os operadores de transporte aumentando o número de entregas de primeira viagem bem-sucedidas, otimizando as rotas de entrega e reduzindo os custos operacionais (MORGANTI et al., 2014).

A ascensão da economia compartilhada vem mudando a maneira como as pessoas se locomovem, fazem compras, viajam e alugam casas. Uma nova iniciativa chamada *crowdshipping* tem sido estudada para investigar a viabilidade de integrar a mobilidade de passageiros e com cargas. Os *crowdshippers*, neste caso, são passageiros que usariam as linhas de metrô em suas atividades rotineiras (por exemplo locomover-se entre o local de residência e o trabalho) e transportariam nestes trajetos produtos coletados em PCs localizados dentro das estações de metrô ou em seus arredores, devolvendo-os ao final da viagem em PCs mais próximos do destino de entrega final (GATTA et al., 2018).

2.4 Serviço de entrega com pontos de coleta

Os serviços de entrega com utilização de pontos de coleta estão em ampla ascensão nos grandes centros urbanos, pois além de oferecer novas opções de entrega para os clientes, minimiza as consequências adversas da operação de entrega. Nesse modelo, o último trecho da entrega é feito pelo consumidor ao invés do operador logístico. Esta operação está limitada apenas a alguns tipos de itens vendidos no *e-commerce*, devido a algumas restrições operacionais que serão exemplificadas mais adiante na subseção 2.4.6.

2.4.1 Descrição da operação

No processo de compra *online*, além do método convencional no qual o consumidor determina o endereço (residencial ou comercial) onde a entrega deve ser feita, também é disponibilizada a opção de escolha de uma variedade de locais (pontos de coleta) pré-determinados pelo vendedor, nos quais a entrega pode ser feita sem que haja a necessidade do consumidor ou de um responsável para realizar o recebimento.

Uma vez que o pacote é entregue no PC o consumidor recebe uma notificação por mensagem ou e-mail avisando que a encomenda pode ser retirada e tem a obrigação de fazer a coleta dentro de um prazo limite (geralmente de três dias), alertando ainda que não cumprimento do prazo implica no retorno da encomenda ao seu vendedor.

A coleta pode ser feita de acordo com a conveniência do consumidor, respeitando a disponibilidade operacional do ponto de coleta, como por exemplo, o horário de funcionamento. O consumidor deve fornecer os meios de autenticação solicitados, sendo credenciais ou senhas de acesso, para que a validação e a retirada uma encomenda de um ponto de coleta possa ser efetivada de forma autêntica e segura.

Os pontos de coleta podem ser classificados conforme a infraestrutura necessária para sua operacionalização, da seguinte forma:

- Pontos de coleta não automatizados (*Pick-up Points* ou PP), baseados em entregas em endereços de atendimento ao público (não residenciais) geralmente com longos horários de funcionamento, como o posto de correios próximo ao destino final, loja de conveniência ou posto de gasolina. Essa solução depende do horário de funcionamento do local e de um funcionário habilitado para fazer o trâmite de entrega, como recebimento dos pacotes por parte dos revendedores e autenticação e entrega da encomenda ao consumidor. A rede de farmácias *Walgreens* nos Estados Unidos oferece o serviço de coleta de pacotes para algumas lojas do *e-commerce*.

- Pontos de coleta automatizados (*Automated Parcel Station* ou APS) são estações (armários) automatizadas com a mesma funcionalidade de recebimento, validação e entrega de encomendas, porém são serviços de autoatendimento fornecidos 24 horas por dia e localizados em áreas de circulação pública como em conjuntos habitacionais, locais de trabalho, estacionamentos, estações de trem, etc. As APS possuem fechaduras eletrônicas que validam a autenticidade do comprador e liberação da entrega através de um código de acesso enviado por e-mail. Após cada utilização, as senhas de acesso podem ser reprogramadas, possibilitando a reutilização por clientes diferentes em dias diferentes. As redes de estação espalhadas pela cidade podem ser dedicadas a uma única empresa de entrega ou compartilhadas por mais de uma.



Pontos de coleta não automatizados



Pontos de coleta automatizados

Figura 2-3: Operações de pontos de coleta

2.4.2 Benefícios para o consumidor

Pontos de coleta oferecem benefícios tanto para o cliente quanto para o operador logístico, pois contribuem para aumentar a satisfação do consumidor e a otimização da entrega de distribuição. O grupo de pessoas da sociedade composto por aqueles que permanecem a maior parte ou excedem o período comercial fora de suas residências (trabalhadores, estudantes em tempo integral) possuem a dificuldade de recebimento de uma encomenda adquirida por meios eletrônicos, pois muitas vezes não têm a possibilidade de recebimento em seus endereços comerciais, de forma que fica cada vez mais comum que não exista uma pessoa disponível para receber a entrega em suas residências no momento da entrega de uma encomenda.

Então, para os consumidores, esse serviço disponibiliza novas opções de entrega que auxiliam na resolução de dificuldades de recebimento enfrentadas no modelo tradicional de

entrega, pois não necessita da presença do cliente para efetivação, então a retirada do produto pode se realizar através de pontos de coleta quando o pacote não pode ser entregue diretamente a um dos endereços cotidianos do comprador.

Nos casos de pontos de coletas automatizados, o serviço fica disponível por vinte e quatro horas por dia e sete dias por semana, já nos pontos de coletas não automatizados o serviço fica disponível durante o horário de funcionamento das lojas, que geralmente são maiores que o horário comercial das 9h às 18h e o cliente pode fazer a retirada conforme for conveniente.

Outros benefícios para o consumidor são maior agilidade no prazo de entrega, podendo gerar menor custo de frete e maior comodidade para realizar devolução de uma compra. Estes são benefícios que podem ser oferecidos pelos operadores logísticos para incentivar a utilização desta modalidade de entrega aos clientes, pois trazem redução no custo de envio de cada encomenda.

2.4.3 Benefícios para o operador logístico

A fragmentação da carga é um dos principais impactos causados pelo *e-commerce* na logística, no entanto a operação de entrega com a utilização de PCs foi idealizada para mitigar essa redução de eficiência. Os PCs possibilitam aumentar a consolidação das entregas, pois ao invés de entregar uma encomenda em cada residência, possibilita que uma quantidade maior de encomendas seja entregue em apenas um ponto de parada, gerando grandes benefícios para os operadores logísticos (MOROZ; POLKOWSKI, 2016).

Os benefícios decorrentes do aumento da consolidação de carga são obtidos por meio do aumento da eficiência dos veículos de distribuição, como:

- Redução da distância total percorrida, pois substitui nos roteiros uma quantidade grande de residências por uma quantidade menor de PCs;
- Redução do tempo necessário para fazer todas as entregas, pois com um menor número de pontos de parada o tempo que o entregador gasta com o processo de entrega (buscando vagas para estacionar, estacionando o veículo, aguardando o cliente e executando protocolos de entrega) também diminui;
- O aumento do tempo disponível para fazer entregas possibilita que mais pedidos sejam incluídos em cada veículo, assim aumentando também sua ocupação;
- A integração entre o aumento do tempo disponível e veículos com percentual de ocupação elevado cooperam para o aumento do perfil da frota, visando um menor custo unitário por entrega;

- Redução na quantidade de veículos necessários para a operação, devido ao aumento de pedidos que é possível incluir em cada veículo;
- Uma frota com menor número de veículos reduz a quantidade necessária de motoristas e o valor de ativos imobilizados.

Para o operador logístico, o aumento da eficiência dos veículos obtida pela utilização dos PCs possibilita realizar a mesma quantidade de volumes de entrega com um menor custo.

Um exemplo do aumento da eficiência obtida com a instalação de uma rede de PCs foi demonstrado em um estudo realizado em 2015 na Polônia, onde os dados de um único dia de entrega com a utilização de PCs foram comparados com os dados de uma operação de entregas comum, direta aos endereços dos compradores. O total de quilômetros percorridos em um dia caiu de 150km para 70km; o número de encomendas entregues em um dia por um caminhão cresceu de 60 para 600 pacotes, o que também reduz significativamente as emissões de CO₂ e o consumo de combustível (URBAN FREIGHT LAB, 2018).

Nas ocasiões em que o cliente queira fazer a devolução ou troca de uma compra feita pela internet, as opções habituais são de fazer o envio do produto ao vendedor através de uma agência dos correios ou agendar a retirada no local inicial de entrega. Porém os PCs também possuem funcionalidades benéficas à logística reversa, agindo como uma central de devolução na qual o cliente pode levar o produto e consegue fazer a devolução sem nenhum ônus.

Com sua maior utilização, os PCs são pontos de paradas frequentes das rotas de entregas, então caso seja necessário retirar um produto que não foi coletado pelo cliente no prazo estipulado ou realizar a logística reversa de produtos devolvidos, o próprio veículo de abastecimento do PC pode fazer essas operações sem adição de nenhuma quilometragem.

Operações mais eficientes, com menor distância percorrida e menor número de viagens necessárias contribuem para limitar as emissões de gases nocivos ao meio ambiente, reduzir o número de congestionamentos, reduzir o ruído relacionado ao transporte e reduzir o consumo de fonte de energia não renovável.

Nos casos de pontos de coletas automatizados, o operador pode utilizar as facilidades de realizar a operação de entrega fora do horário comercial, pois não há necessidade de nenhuma pessoa responsável para fazer o recebimento, de forma que pode se beneficiar das melhores condições de tráfego, com passagens livres e sem congestionamentos evitando os horários de pico.

2.4.4 Importância da localização

Um dos fatores de maior importância na eficiência deste tipo de solução é a localização adequada das estações usadas para entregas. Isso se deve ao fato de que os usuários de PCs mostram maior interesse em coletar seus pacotes se as estações estiverem localizadas próximas ao itinerário de suas atividades de rotina, como no caminho para o trabalho, paradas e estações de transporte público, em supermercados, entre outros. Outros fatores também decisivos para a escolha dos usuários são os horários disponíveis para a coleta e disponibilidade de vagas para estacionamento.

O Brasil possui um problema de segurança pública, de forma que o modelo estabelecido em outros países pode não ser diretamente aplicável à realidade brasileira. Portanto é importante considerar aspectos de segurança na escolha de locais de instalação de PCs, sejam eles automatizados ou não automatizados, e ainda considerar o aumento de custos relativos à instalação de câmeras de monitoração e estruturas mais reforçadas contra violação.

De acordo com a pesquisa referente ao valor agregado aos clientes pelos serviços de entrega com a utilização de PCs realizada por Vakulenko, Hellstron e Hjort (2018) a localização dos PCs estava entre os elementos funcionais de valor mais dominantes citados pelos participantes, seguido pela disponibilidade de tempo de acesso.

O Bentobox foi uma das soluções de PCs testadas em Berlim (Alemanha) e Turim (Itália) pelo projeto europeu CITILOG. Os usuários do teste piloto ficaram satisfeitos, e este teste indicou que a localização do Bentobox em estabelecimentos comerciais é um dos fatores mais relevantes para o sucesso de implementação (QUAK et al., 2012).

Segundo Iwan et al. (2016), após a transferência de cinco PCs com baixa utilização para os novos locais mais adequados e a implementação de um PC adicional, a quantidade de entregas aumentou em 32% ao mês. Os melhores locais para implantação de pontos de coleta devem ser:

- Locais com alta densidade de população dentro de subúrbios - ao lado de lojas de conveniência;
- Áreas com alto tráfego de pedestres nos centros das cidades;
- Centros comerciais e estacionamentos de supermercados;
- Estações de ônibus ou metrô;
- Postos de gasolina;
- Estações de serviço;

- Centros comerciais.

2.4.5 Benefícios para a logística urbana e meio ambiente

As transportadoras costumavam entregar um grande número de unidades por parada no modelo de comércio B2B. Com o crescimento do comércio eletrônico B2C, essas remessas são fragmentadas ao nível de um único pacote por parada. Isso também implica em rotas mais longas por causa de um maior número de locais a visitar e maior número de veículos com menor capacidade de transporte de carga.

Segundo Crainic, Ricciardi e Storchi (2009), a ideia fundamental da *city logistics* é que o número de veículos que trafegam nas áreas urbanas pode ser reduzido por meio da utilização mais eficiente dos veículos: maiores taxas de ocupação médias e menos viagens vazias.

A utilização de pontos de coleta vai ao encontro ao conceito de *city logistics* porque tem como principal objetivo aumentar a consolidação de uma operação que tem como característica alta fragmentação.

O objetivo mais importante da implementação de armários de pacotes é reduzir o número de entregas na área da cidade, incluindo entregas malsucedidas e a devolução subsequente de mercadorias por transportadores e serviços postais, além de ajudar a aumentar a eficiência do veículo, diminuindo o número de paradas, aumentando o tempo disponível de entrega, aumentar a ocupação e otimizar a quilometragem rodada por veículo, dessa forma reduzindo o uso de combustível, os impactos no congestionamento e a poluição emitida.

Edwards et al., (2010) fizeram um estudo que examina a questão da falha na entrega por uma perspectiva de emissão de carbono. O estudo considera a economia potencial para o meio ambiente com o uso de formas alternativas de coleta e entrega, comparando-os aos métodos tradicionais em casos de entregas em domicílio mal sucedidas. A conclusão do estudo é de que a grande maioria (entre 85% e 95%) das emissões provenientes de uma entrega tradicional com falha não surgem da nova tentativa de entrega, mas sim da locomoção de cada cliente individualmente até depósito local da transportadora. Nos casos onde são implementados pontos de coleta a emissão foi de apenas 13% do CO² quando comparado com a coleta tradicional feita por carro em um depósito local.

O Departamento de Robótica e Mecatrônica da AGH *University of Science and Technology* em Cracóvia (Polônia) publicou um estudo em outubro de 2013 que demonstrava que o serviço postal InPost que utiliza entregas com pontos de coleta é capaz de entregar 600 encomendas em apenas um dia, com distância de percurso de cerca de

70km em comparação aos 60 pacotes e 150km no sistema de entrega tradicional. Além disso, modelo de PC possibilitou a redução de 95,3% na emissão de CO₂, conforme apresentado na Tabela 2-1 (IWAN; KIJEWKA; LEMKE, 2016).

Tabela 2-1: Comparação entre operação com PC da InPost e Transportadoras

	Transportadora	PC da InPost
Nº de km durante um dia	150	70
Nº de entregas durante um dia	60	600
Emissão de CO ² (ton/ano)	32.500 T	1.516 T
Consumo anual de combustível (litros)	22.500.000 L	1.050.000 L
Resultados	100%	< 5%

Fonte: Iwan et al., 2016

2.4.6 Restrições Operacionais

Os avanços alcançados pelo *e-commerce* e pela logística operacional que o sustenta possibilitaram abrir o leque de diversidade de produtos que podem ser comercializados por esse canal, desde produtos de saúde, cosméticos e perfumaria até eletrodomésticos de grande porte, telefonia e informática de alto valor agregado e alimentos e bebidas com características perecíveis.

Alguns desses itens se tornam inelegíveis para os serviços com PCs devido às limitações operacionais, como dimensões físicas e o peso dos produtos, pois podem necessitar de mão-de-obra e equipamentos específicos para o manuseio ou não são suportados pelas estações automatizadas, além de que a circulação de itens com alto valor agregado aumenta o risco e pode inviabilizar a operação. É necessário excluir ainda a circulação de produtos que necessitam de procedimentos específicos para armazenamento, como refrigerados, perecíveis, inflamáveis ou perigosos.

A Amazon já utiliza de forma consolidada o serviço de entrega com pontos de coleta nas grandes cidades dos EUA e trabalha com as seguintes limitações de produtos:

- Peso inferior a 20 libras (aproximadamente 9 quilos);
- Dimensões inferiores a 19 x 12 x 14 polegadas (aproximadamente 48 x 30 x 35 centímetros);
- Valor inferior a cinco mil dólares;
- Não contenha materiais perigosos;

3. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE A UTILIZAÇÃO DE PONTOS DE COLETA

Em complementação à revisão feita no capítulo anterior, o objetivo deste capítulo é apresentar uma revisão bibliográfica sobre a literatura científica associada ao tema de utilização de pontos de coleta para distribuição de comércio eletrônico na logística urbana.

Morganti, Deblanc e Fortin (2014) abordam a estratégia de uma rede de operadores de pontos de coleta (PCs), estudando esse serviço alternativo de entregas de pacotes para consumidores de *e-commerce* na Europa, especialmente na França. Nesse estudo foi realizada uma análise inicial sobre a utilização de PC na Europa, apontando o tipo e a quantidade de PC disponibilizados, bem como a quantidade de pacotes entregues via PC e o respectivo crescimento deste volume ao longo dos anos. Em seguida, com base em entrevistas e questionários realizados com 33 empresas dos setores de varejo e de transporte, foi definido o modelo de implantação de PC do ponto de vista de um operador logístico, onde a hipótese principal é que o crescimento da malha de PC é influenciado por fatores internos e externos, como a densidade populacional, proximidade dos meios de transporte e centros socioeconômicos e fluxo de entregas de pacotes. Além de descrever como os operadores organizam sua rede de pontos de coleta, identificando as principais variáveis e restrições, foi proposta ainda uma análise da distribuição espacial dos pontos de coleta na França.

Morganti et al. (2014) fizeram um estudo com objetivo de comparar as alternativas de entrega em domicílio utilizadas por operadores logísticos franceses e alemães. Inicialmente foram analisados alguns hábitos dos consumidores de *e-commerce*, como quais são os produtos mais comprados por meios eletrônicos e também os principais impactos causados por esse comércio no serviço de entrega como, por exemplo, a frequente encomenda de mais produtos do que o necessário, em especial no caso de artigos de moda, onde é corriqueira a compra de tamanhos diferentes de um mesmo item resultando em altos volumes de entregas e devoluções. Outros impactos descritos são a fragmentação das entregas de *last-mile* e o respectivo impacto ao longo da cadeia de suprimentos, causando um aumento do número de instalações logísticas necessárias para a operação, como depósitos e centros de distribuição. Os pontos de coleta são apresentados como soluções inovadoras para entregas de comércio eletrônico, com os benefícios de custos menores em comparação a entregas em domicílio e mitigação do risco de entregas malsucedidas, oferecendo maneiras de reduzir a fragmentação das entregas finais no setor B2C e, desta forma, ajudando a reduzir os congestionamentos e a poluição ambiental gerada pelas viagens de frete urbano.

Iwan, Kijewska e Lemke (2016) apresentam uma análise de usabilidade e eficiência da solução PCs para entregas com base no exemplo do sistema polonês *InPost Company* sob três perspectivas: redução dos impactos ambientais, localização apropriada e opinião do consumidor. Segundo os autores, um diferencial das estações automatizadas em comparação com os serviços de entrega dos correios é uma redução significativa na quantidade de quilômetros percorridos em um dia e, conseqüentemente, no consumo de combustível fóssil e emissão de CO₂, reduzindo também o número de operadores necessários para realizar a operação, além da redução na quantidade de falhas nas entregas das encomendas resultante da ausência dos destinatários e, desta forma, aumento na quantidade de pacotes entregues em comparação ao modelo tradicional.

Um dos objetivos foi averiguar até que ponto a localização dos PCs em cidades determinadas se enquadra na estratégia de desenvolvimento sustentável. Para isso, um experimento foi realizado na cidade de Estetino na Polônia a fim de avaliar a influência das localizações dos PCs na sua eficiência. Foram selecionados PCs de uma operação já implementada para serem realocados em novas localizações e mensurar o impacto na quantidade de entregas e, depois de alterar a localização de cinco PCs pouco utilizados e a implementar um PC adicional, a quantidade de entregas aumentou 32% ao mês. O critério mais importante de relocação nesse experimento foi a proximidade a postos de gasolina, universidades e centros comerciais. O crescimento mais eficiente foi alcançado no caso de PCs localizados perto do shopping centers (IWAN; KIJEWSKA; LEMKE, 2016).

Com relação a opinião do consumidor sobre a utilização de serviços de ponto de coleta, Iwan, Kijewska e Lemke (2016) analisaram quatro principais aspectos através de um questionário realizado com 83 pessoas e identificaram que o nível de satisfação dos utilizadores de PCs é de 8,18 em uma escala de 0 a 10; as três principais razões para a utilização dos PCs são, respectivamente, o preço, a disponibilidade 24 horas por dia e a localização; a mais importante razão quanto à utilização dos PC é que a localização seja próxima ao endereço de residência; e a avaliação das localizações atuais de armários em Estetino é de 7,46, numa escala de 0 a 10.

Deutsch and Golany (2018) propuseram uma solução para o problema de desenho de malha em operações com pontos de coleta, definindo o número ótimo de PC, suas localizações e respectivos tamanhos das instalações. A solução do problema foi desenvolvida utilizando programação linear inteira, com o modelo equivalente ao problema de Localização de Instalações Não Capacitadas (*Uncapacitated Facility Location Problem*) e que tem como objetivo maximizar o lucro total, que consiste na receita dos clientes que utilizaram o serviço, menos os custos fixos e operacionais das instalações, os descontos

nos custos de entrega para clientes que precisam se deslocar para coletar seus pacotes e a perda de potenciais clientes que não estão dispostos a se deslocar.

Lemke, Iwan e Korczak (2016) realizaram uma pesquisa para avaliar a usabilidade dos pontos de coleta da perspectiva do cliente. A pesquisa foi realizada na Polônia com 2933 pessoas e apontou que 51,2% dos usuários preferem utilizar o carro para ir até o PC para coletar suas encomendas, enquanto 35,9% dão preferência para se locomoverem a pé. Além disso, constatou-se que 46,7% dos entrevistados não precisaram se desviar para pegar uma encomenda em um PC, e 45,9% dos respondentes tiveram que desviar entre um e cinco quilômetros de distância do seu caminho habitual.

A pesquisa feita por Lachapelle et al. (2018) explora o desenvolvimento, características locais e regionais de operações de pontos de coleta em cinco cidades do sudeste de Queensland, Austrália, discutindo implicações de planejamento urbano e de transporte numa cidade com elevado volume de carros. Para 273 PCs já existentes foram considerados aspectos de microlocalização (características locais) como possibilidade de acesso por diversos meios de transporte, características físicas do lugar e arredores e a percepção de segurança e aspectos de macrolocalização (características regionais) tais como características da população (densidade, taxa de emprego), ocupação territorial (comercial, industrial, residencial) e transporte (utilização de carros particulares, transporte público). O estudo concluiu que a maioria dos PCs atuais está localizada em áreas com maior densidade populacional, onde a maior parte da população é economicamente ativa, e em áreas onde a maior parte das residências possui acesso à Internet. Em contrapartida, áreas em que a população possui baixo poder aquisitivo parecem ter pouca vantagem para instalação de PCs, porém um alto volume de pessoas que dependem unicamente do transporte público para locomoção e capacidade limitada de viajar longas distâncias. Estes fatores têm a possibilidade de contrabalancear essa desvantagem no uso de PCs.

Oliveira et al. (2017) analisaram a demanda potencial de estações de entrega automatizadas (PC) na cidade de Belo Horizonte, Brasil. Para isso, o estudo foi baseado em dados obtidos através de pesquisa com 534 pessoas, coletados para entender o comportamento do consumidor em relação às entregas de comércio eletrônico. Considerando perguntas focadas em opções de entrega e sistemas de ponto de coleta, como aderência às entregas utilizando PCs, protocolos de segurança, localização das estações, horário de utilização e distância percorrida para coleta.

- 63% dos respondentes relataram que usariam o sistema se ele fosse implementado em Belo Horizonte;

- A segurança do local e as questões de segurança relacionadas aos PC são avaliadas como importantes ou muito importantes para 54% dos entrevistados e necessárias para 45% deles. Além disso, 83% gostariam de receber um código de segurança para realizar o processo de retirada de encomendas;
- Com relação a localização, a maior parte dos entrevistados classificou sua preferência por PC em supermercados (26%), lojas (22%) e shoppings (21%);
- As janelas de tempo de acesso aos armários com maior preferência foram entre as 18:00 e 20:00 (24%), entre as 20:00 e 00:00 (19%) e entre 14:00 e 18:00 (16%);
- 59% dos entrevistados usariam principalmente veículos particulares para coleta de encomendas, com um tempo de viagem de 15 a 30 min (39%).

O estudo realizado por Da Silva et al. (2019) explora o uso do modelo de escolha binária discreta para analisar a disposição dos consumidores em utilizar pontos de coleta no Brasil. A pesquisa foi conduzida de forma *online*, teve participação de 458 pessoas e considera a influência de alguns aspectos como preço do frete, tempo de entrega e a proximidade dos PC à rotina diária dos participantes, de forma que a variação nestes aspectos cria diferentes cenários. Foi medida a adesão que os participantes teriam ao modelo de pontos de coleta em cada um dos cenários propostos e houve adesão de 50,03% dos entrevistados no cenário onde o custo e o tempo de entrega são os mesmos do que no modelo tradicional e o desvio na rota diária era entre 2 e 5 quilômetros. A adesão sobe para 92,03% quando existe um desconto de 50% no valor do frete, o tempo de entrega é 48 horas menor do que no modelo tradicional de entrega e não houve desvio na rota diária. Por fim, o autor utiliza a localização de potenciais parceiros que poderiam atuar como pontos de coleta (drogarias, lojas de conveniência, estações de transporte público) para obter a distância média que seria percorrida para atingir o mesmo número de entregas do que a operação tradicional, e com base em indicadores de eficiência estimou qual seria a redução de custo para diferentes veículos de entrega.

Considerando a revisão da literatura realizada, foi possível identificar uma lacuna de estudo para estimar a redução de custos da utilização de pontos de coleta para entregas de compras do *e-commerce*, observando ainda aspectos relacionados ao impacto ambiental e urbano que o modelo tradicional de entrega acarreta.

Alguns dos termos encontrados na revisão da literatura para descrever essa operação são: *Lockers*, *Delivery Lockers (DL)*, *Collection Point (CP)*, *Click & Collect*, *Collection-and-Delivery Points (CDPs)*, *self-pick-up*, *automatic delivery stations (ADSs)*, *lockers*, *automated locker boxes*, *self-service delivery lockers*, *intelligent lockers* e *self-service technology (SST)*.

4. CARACTERIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

O escopo desta pesquisa corresponde ao problema de distribuição do *last-mile* de mercadorias de *e-commerce* em áreas urbanas de grandes cidades. Estas encomendas se originam em um centro de distribuição e precisam ser entregues por um operador logístico para os seus respectivos consumidores que estão espalhados dentro de um centro urbano. Para este estudo é considerada a possibilidade de o comprador escolher entre o endereço de entrega ou utilizar uma das opções disponíveis de PCs (que estão espalhadas na área de interesse), para ser coletada posteriormente, conforme ilustrado na Figura 4-1.

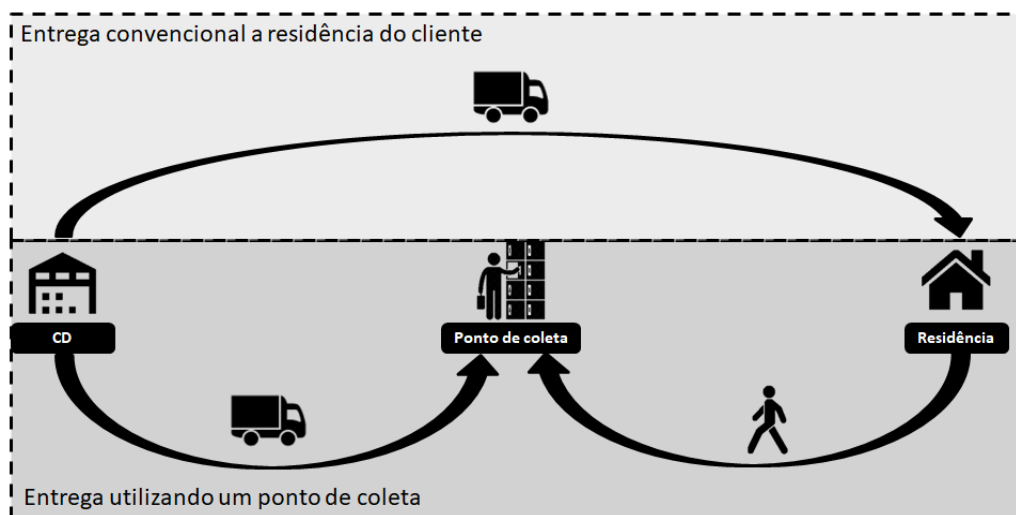


Figura 4-1: Caracterização da distribuição do last-mile de mercadorias de *e-commerce*

Dada a atual abrangência de itens que podem ser comercializados de forma eletrônica, para o presente estudo optou-se por restringir os itens a apenas encomendas e pacotes de pequenas dimensões, pois é pré-requisito que possam ser acomodadas nos PCs. As restrições com relação a peso, volume e dimensões máximas dos pacotes serão detalhadas mais adiante, na subseção 6.1.1. Assim, itens de maiores dimensões (peso e volume) e produtos perecíveis, como hortifrutí, produtos que necessitam refrigeração ou congelados não fazem parte do escopo desta pesquisa, uma vez que não podem ser acondicionados em PCs.

O operador logístico tem a função de transportar toda a demanda de encomendas (peças) a serem entregues em um dado dia a partir do centro de distribuição até o local determinado por cada comprador (seja o endereço de entrega ou PC), e para isso terá à disposição uma frota composta de veículos urbanos de entrega de cargas de diferentes tamanhos, capacidades, custos e velocidades de trânsito. A determinação da frota de

entrega necessária (tipos e respectivas quantidades) é feita através da escolha de veículos e rotas que sejam capazes de realizar entrega de toda a demanda do *last-mile*, obrigatoriamente dentro do horário de expediente de entrega definido e que componham o menor custo operacional. Serão considerados apenas os custos relativos ao transporte da mercadoria, de forma que não serão considerados outros custos, conforme detalhado mais adiantes na seção 4.1.

A análise é feita considerando o horizonte de um dia típico de entrega, uma vez que neste tipo de operação *last-mile* de *e-commerce* uma análise multi-período não faria sentido, pois não será considerada a decisão de quanto é melhor entregar do ponto de vista de consolidação de carga buscando maior eficiência na entrega. Assim, a demanda é constituída de uma quantidade determinada de pacotes (peças) com peso e volume definidos e variados que estão localizados no centro de distribuição, prontos para iniciar a operação de entrega. Como é comum a variação das quantidades e locais das entregas de dia para dia, é necessário simular diversos dias em que as demandas sejam diferentes para que o resultado não seja afetado por uma situação única da operação que pode não refletir o que ocorre considerando um período de tempo maior.

Outra variação considerada no problema é a quantidade de clientes que optam pela utilização dos PCs ao invés da entrega convencional nos seus domicílios. A adesão aos PCs está relacionada à preferência de cada indivíduo, o que depende de fatores de difícil mensuração como escolha pessoal, ausência de pessoas para receber a encomenda em endereços residenciais ou facilidade e proximidade de um PC disponível. Assim, para superar essa dificuldade em estimar as preferências individuais, são considerados cenários que correspondem a diferentes percentuais da demanda total para serem entregues em PCs, refletindo diferentes níveis de adesão aos mesmos, por questões inclusive de conveniência, alinhado com a literatura que mostra que nem sempre a entrega domiciliar é melhor alternativa, pela ausência de alguém para receber, o risco de deixar o pacote na porta, entre outros.

De acordo com Lemke, Iwan e Korczak (2016), a quantidade e a localização dos PCs compõem os fatores mais relevantes relacionados à sua utilização pelos consumidores. Dessa forma, o escopo dessa pesquisa abrange determinar também a quantidade e a localização ideais dos PCs, para diferentes cenários de demanda e distância de deslocamento do consumidor. Ambos os fatores foram considerados na delimitação dos cenários de simulação, uma vez que o aumento da densidade dos PCs e conseqüente redução das distâncias que precisam ser percorridas para coletar uma encomenda também proporciona maior nível de atendimento. Assim sendo, podem ser considerados como locais candidatos a receberem pontos de coleta quaisquer estabelecimentos comerciais (como

mercados, lojas, postos de combustíveis e *shopping centers*) que permitam a instalação e disponibilização do serviço de coleta para os clientes.

A metodologia proposta, detalhada no próximo capítulo, tem como objetivo simular a operação a fim de mensurar o impacto financeiro, operacional e ambiental em diferentes cenários, e para essa finalidade foram selecionados os seguintes indicadores para comparação de desempenho:

- Quantidade de veículos necessária para atender toda demanda;
- Ocupação dos veículos;
- Distância percorrida por cada veículo e total percorrida por tipo de veículo e pela frota;
- Tempo médio de rota;
- Custo operacional relacionado ao transporte *last-mile* para o operador logístico (custos fixos e variáveis relativos à frota);
- Impacto ambiental da adoção de PCs medido através da emissão de poluentes a partir do consumo de combustível relacionados aos veículos de entrega;
- Esforço transferido do operador logístico para o cliente através do deslocamento para coletar sua encomenda ao invés de recebê-la em domicílio.

Vale ressaltar que para a obtenção de diversos desses indicadores serão simulados diferentes cenários de entrega através de um sistema de roteirização para obter os indicadores operacionais de cada cenário e, posteriormente, compará-los a fim de definir a viabilidade da operação de pontos de coleta em comparação à entrega convencional. Por outro lado, é importante ressaltar que esta pesquisa não tem como foco a proposição de algoritmos para resolução do problema de roteamento de veículos (VRP), que de acordo com Clarke and Wright (1964) é caracterizado como um modelo de otimização linear e tem como objetivo determinar a melhor forma de atender um conjunto de clientes geograficamente dispersos em torno do depósito central, usando uma frota de caminhões com capacidades variadas.

4.1 Aspectos não considerados

Algumas características da operação não serão consideradas nesta pesquisa porque são impactadas por fatores externos que não podem ser incorporados na simulação, conforme descrito a seguir.

Como mencionado anteriormente, a pesquisa busca entender a viabilidade de implementar pontos de coleta frente a entrega direta em domicílio, e faz parte da análise dos resultados obter a quantidade de pontos de coleta necessária assim como a demanda em cada um deles, de forma que a capacidade de cada PC não será considerada no modelo. No fator de disponibilidade de recursos, a análise é estratégica e prévia à decisão da microlocalização de cada PC, e não é possível determinar as particularidades em cada um dos locais candidatos, como por exemplo, o espaço físico que estará disponível num posto de gasolina para implementar a operação, seja ela automatizada ou não.

A segurança pública é um fator social que não foi considerado em estudos de referência realizados em países desenvolvidos, que são precursores dessa operação. No Brasil, entretanto, a segurança pública é um problema mais grave, de forma que impacta a implementação de uma operação de pontos de coleta, uma vez que estão sujeitos a vandalismo, fraudes, violação e furtos. O custo referente aos mecanismos de segurança necessários para mitigar estes riscos não é considerado.

Apesar de poderem eventualmente acarretar aumento na mão de obra necessária para operação, os estabelecimentos que oferecem PCs não automatizados podem se favorecer com o aumento na circulação de potenciais consumidores, de forma que o custo da disponibilização do serviço não é puramente operacional, pois também sofre um impacto da iniciativa dos estabelecimentos em investir em possíveis ações de atratividade de clientes. Não ocorre aumento de custo devido a necessidade de estocagem dos pacotes neste cenário, uma vez que a operação deve utilizar o espaço físico disponível no estabelecimento.

Para pontos de coleta automatizados, o custo da sua implantação engloba energia elétrica, conexão de internet, aluguel do espaço físico, infraestrutura dos PCs, instalação de equipamentos de automação, serviços de autenticação/validação da entrega, entre outros. Estes são fatores que variam de acordo com o posicionamento comercial do operador frente aos riscos operacionais, de forma que um PC de alta disponibilidade, por exemplo, deve ter opções alternativas para caso de falta de energia ou de instabilidade de conexão, o que encarece seu custo fixo. Além disso, por ser uma operação relativamente nova em território brasileiro, existe uma escassez de fornecedores especializados neste tipo de serviço, que também influencia no custo.

Desta forma, não faz parte do escopo deste estudo determinar se os pontos de coleta utilizados serão automatizados ou não. Portanto, tais custos de operação do PCs não foram considerados nesta análise.

A definição do valor do frete cobrado pela empresa de *e-commerce* para os clientes é uma decisão comercial que transcende o custo operacional e pode estar relacionada com estratégias sazonais e/ou de incentivo à compra, diferencial de mercado, marketing e propagandas. Com a utilização dos PCs, o operador logístico transfere parte do esforço e ônus de entrega ao cliente, mas este repasse não necessariamente impacta o valor do frete. Porém vale ressaltar que propor uma redução no valor de frete cobrado para a modalidade de entrega com PCs tem grande influência na quantidade de pessoas que optariam por esse método de entrega. A redução de custo incentivaria um maior número de clientes a escolher PCs como opção de entrega.

5. METODOLOGIA

A metodologia proposta tem por finalidade avaliar em quais condições o uso de pontos de coleta (PCs) é mais eficiente do que entregas domiciliares da perspectiva econômica do operador logístico através do uso de simulações de cenários. Para tanto, baseia-se na definição de uma demanda e respectivas características que criam um cenário, o qual é utilizado na simulação de um dia de entrega de pedidos que partem do centro de distribuição até a entrega para o consumidor final.

Cada cenário é simulado considerando a entrega em domicílio (como normalmente ocorre em uma operação de distribuição padrão) e também a entrega da mesma demanda com diferentes percentuais de adesão a uma estrutura de PCs otimizada. O resultado das simulações fornece subsídios para a comparação de desempenho e eficiência entre a operação de entrega em domicílio e a operação usando PCs. A metodologia proposta define uma estrutura padronizada de procedimentos (*framework*) que são capazes de representar a operação real de um operador logístico, bem como o custo operacional, a frota necessária e a distância percorrida.

A Figura 5-1 mostra o esquema do *framework* proposto para simulação, dividido em 5 etapas.

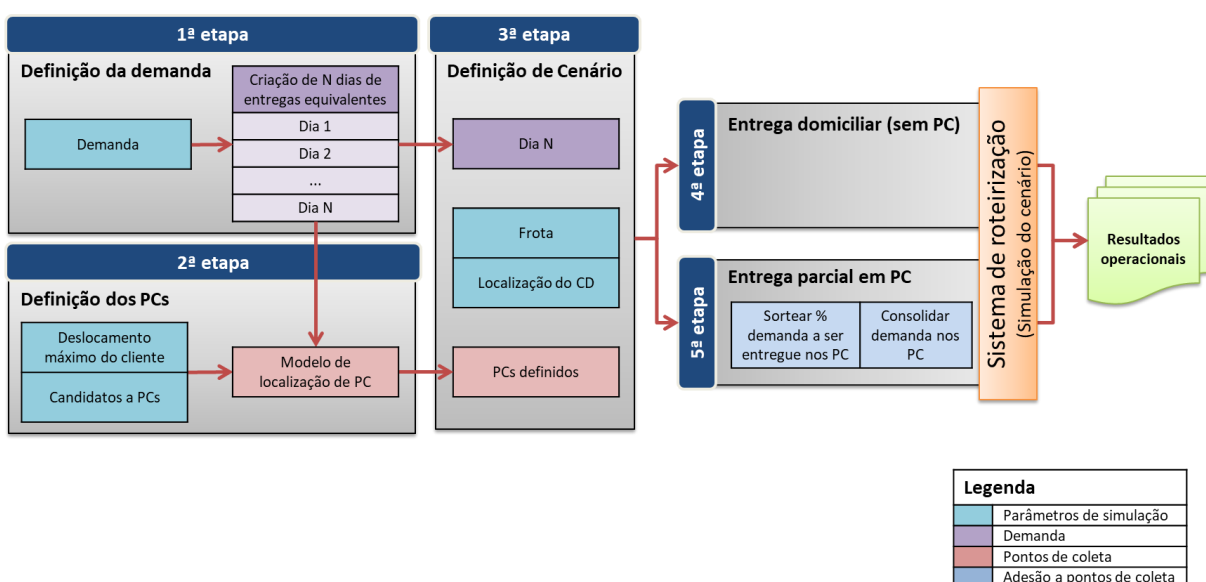


Figura 5-1: Esquema do *framework* de simulação dos cenários

Para ser possível mensurar sob quais condições as operações com PCs são mais eficientes que as de entrega em domicílio, foram feitas investigações para definir quais fatores têm impacto nos indicadores de eficiência operacional. Assim, foi criada uma lista com atributos que impactam os custos operacionais, os quais precisam ser considerados para representar uma variedade de possibilidades de operações reais que um operador

logístico pode encontrar. Neste estudo, foram selecionados os seguintes parâmetros de simulação, e cada cenário consiste na variação desses fatores em diferentes etapas do processo:

- Demanda / área de atendimento, podendo variar a densidade de pontos, o perfil das encomendas (volume e peso) e localização das entregas;
- Parâmetros operacionais da frota de veículos utilizados na entrega, podendo ser utilizados veículos de diferentes tipos e tamanhos;
- Candidatos para pontos de coleta, selecionando locais que comportem essa operação e que disponibilizem aos clientes a possibilidade de coletar seu pedido dentro de uma distância aceitável;
- Disposição do cliente em se deslocar a fim de coletar uma encomenda;
- Localização do Centro de Distribuição, podendo variar a distância do ponto de partida das rotas e os locais de entrega;
- Proporção percentual da demanda (adesão) que será atendida pela operação de PCs.

A variação dos parâmetros de simulação compõe os diferentes cenários que são utilizados para definir as condições sob as quais a operação será avaliada e, ao final do processo, para responder se há benefícios no uso da PC, tanto quanto mensurar a diferença para a operação de entrega em domicílio. Mais adiante, na seção 6.1, os parâmetros de simulação alvos deste estudo são descritos, assim como as variações propostas para cada um deles.

Para simular a entrega e obter os custos totais da operação em qualquer um dos cenários, foi desenvolvido um sistema de roteirização que a partir dos parâmetros de simulação busca a melhor combinação de rotas e veículos, com o objetivo principal de minimizar o custo operacional total. Além de incluir todas as funcionalidades necessárias para a simulação - limitação de tempo, limitação de capacidade peso e volume, tempo fixo por parada e tempo variável por pacote - também fornece informações detalhadas sobre o resultado de cada rota, como trajeto, distância, veículo, ocupação, tempo de viagem, tempo de entrega, custos operacionais e mapas.

Conforme mostrado na Figura 5-1, na primeira etapa é feita a definição da demanda, onde é determinada a quantidade de entregas que serão realizadas em um dia, ou seja, a quantidade de pacotes considerando peso e volume. Com base no valor da demanda são construídos dias de entrega equivalentes, que consistem em determinar a localização específica (endereço) de entrega de cada pacote. Os dias de entrega equivalente possuem

entre eles a mesma quantidade de pacotes, mesma soma de peso e mesmo volume para que os resultados operacionais sejam comparáveis; só mudam os locais de entrega. Caso não fossem, o resultado operacional poderia apresentar um perfil diferente de frota, como é o exemplo de um dia de entrega com a mesma quantidade de pacotes, mas com quantidade/volume total diferentes, que poderia exigir uma frota distinta em termos do número de veículos e da sua composição.

Faz-se necessário criar diferentes dias de entrega para minimizar o possível impacto que eventuais anormalidades causariam por conta da aleatoriedade dos dados, refletidos pelos locais de entrega. Desta forma é possível aumentar a confiabilidade do resultado e garantir que o custo equivale a uma operação com tais características.

Na etapa seguinte (segunda) são determinados quais e quantos candidatos a PCs são necessários para atender a demanda. Para isso utiliza-se um modelo de programação linear de localização de instalações cuja função objetivo é a de minimizar a quantidade de PCs necessários. Este modelo utiliza um conjunto pré-definido de candidatos a PCs como variáveis de decisão a fim de atender a demanda, considerando também a restrição de distância de deslocamento máximo de seus endereços originais e o percentual mínimo de atendimento da demanda. A localização de um PC não pode ser definida com base em um único dia de entregas, mas sim com base num histórico de operação ou com base em um potencial da localização da demanda, dessa forma, a demanda deve ser composta pelo conjunto de dias equivalentes determinado na etapa anterior.

Na terceira etapa é definido cada cenário de simulação, onde são considerados os parâmetros de frota e localização do centro de distribuição, assim como um dia de entrega definido na primeira etapa e os PCs definidos na segunda etapa. Cada alteração em uma ou mais variáveis desta etapa corresponde a um novo cenário.

Para cada conjunto de parâmetros definidos (cenário), são executadas, nas etapas 4 e 5, diferentes simulações que se distinguem apenas na quantidade de demanda entregue através dos PCs. A primeira simulação ocorre na quarta etapa, que representa a operação de entrega domiciliar convencional sem a utilização de PCs, e o custo resultante dessa simulação será base de comparação para as simulações seguintes.

Simulações para diferentes percentuais de adesão aos PCs são realizadas na quinta etapa; ou seja, a parcela da demanda que será atendida pela operação de PCs e deixará de ser entregue em seu endereço original. Ainda nesta etapa são selecionados aleatoriamente os pacotes que resultam no percentual de adesão desejado, e cada um destes é alocado ao respectivo PC mais próximo.

Depois que etapa 5 é finalizada, os endereços originais não fazem mais parte das rotas de distribuição e os PCs selecionados passam a ser os novos locais de entrega, consolidando as entregas em um número menor de pontos de parada.

5.1 Modelo de localização de PCs

O modelo de localização de PCs tem como objetivo selecionar a quantidade mínima de candidatos que atenda a restrição de distância máxima de deslocamento dos clientes para coletar um pacote. Minimizar a quantidade de PCs foi o direcionador escolhido para a tomada de decisão com base em dois principais motivos: (i) relacionar o nível de serviço disponibilizado ao cliente com a distância máxima de deslocamento e não a quantidade de PCs; (ii) a estação de coleta tem um custo de operação conforme descrito na seção 4.1, assim, quanto menor a quantidade de PCs, menor será o custo para o operador logístico.

Inicialmente foi considerado o Modelo de Cobertura do Conjunto (TOREGAS et al., 1971) para definir a seleção dos candidatos a PCs, de tal modo que todos os pedidos de entrega possam ser atendidos considerando a distância máxima.

O modelo pode ser formulado da seguinte forma: o conjunto I corresponde à totalidade de clientes a serem atendidos, a partir dos quais são selecionados os clientes i para utilizarem PCs. O conjunto J corresponde aos candidatos a PCs.

Parâmetros:

n = Quantidade de candidatos a PC

d = Distância máxima entre o endereço original e o PC

$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o cliente } i \text{ está a menos que } d \text{ km do candidato } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}, \forall i \in I \text{ e } \forall j \in J$

Variáveis:

$x_j = \begin{cases} 1, & \text{se o candidato } j \text{ é selecionado} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}, \forall j \in J$

Função Objetivo:

Minimizar

$$\sum_{j=1}^n x_j \quad (1)$$

Restrições:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq 1, \forall i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (3)$$

A função objetivo (1) representa a quantidade de PCs abertos na solução, que deve ser minimizada, enquanto a restrição (2) garante que existam pelo menos um PC aberto com distância menor ou igual a d de cada cliente e a restrição (3) delimita o domínio das variáveis.

Porém após a aplicação do modelo e análise dos resultados preliminares foram identificadas distorções que não representariam a operação real de um operador logístico, como a abertura de PCs em regiões com baixa demanda para atendimento de um único pacote. Essa distorção torna o Modelo de Cobertura do Conjunto não adequado para representar uma operação real, porque esse modelo tem como restrição o atendimento total da demanda, ou seja, todos os pacotes devem ter pelo menos um PC dentro da distância máxima de deslocamento.

Para solucionar as distorções descritas acima e representar de forma mais realista a operação, foram propostas as seguintes alterações no Modelo de Cobertura do Conjunto:

- Inclusão da restrição de quantidade mínima de pacotes para abertura de um PC;
- Flexibilização da restrição de atendimento da demanda com a inclusão de um parâmetro de percentual mínimo da demanda total que deve ser atendida.

O modelo com as alterações pode ser formulado da seguinte forma: o conjunto I corresponde à totalidade de clientes a serem atendidos, a partir dos quais são selecionados os clientes i para utilizarem PCs. O conjunto J corresponde aos candidatos a PCs.

Parâmetros:

m = Quantidade de clientes

n = Quantidade de candidatos a PC

d = Distância máxima entre o endereço original e o PC

d_{ij} = Distância entre o cliente i e o PC j

$QtdMin$ = Quantidade mínima de clientes atendidos por um único PC

$PercMin$ = Percentual mínima do total de clientes que podem ser atendidos por PCs

Variáveis:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{se o candidato } j \text{ foi selecionado} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}, \forall j \in J$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o candidato } j \text{ atende o cliente } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}, \forall j \in J, \forall i \in I, \forall ij \text{ com } d_{ij} \leq d$$

$$z_i = \begin{cases} 1, & \text{se o cliente } i \text{ foi atendido} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}, \forall i \in I$$

Função Objetivo:

Minimizar

$$\sum_{j=1}^n x_j \quad (1)$$

Restrições:

$$\sum_{i=1}^n z_i \geq PercMin \cdot m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} \geq z_i, \forall i = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$x_j \geq y_{ij}, \forall i = 1, \dots, m, \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{i=j}^n y_{ij} \geq QtdMin \cdot x_j, \forall j \in J \quad (5)$$

A função objetivo (1) representa a quantidade de PCs abertos na solução, que deve ser minimizada, enquanto a restrição (2) garante que a quantidade de clientes atendidos por PCs seja maior que a quantidade total de clientes multiplicado pelo parâmetro de percentual mínimo da demanda total que deve ser atendida. A restrição (3) garante que se houver um fluxo de atendimento entre um PC e um cliente, esse cliente será contabilizado como atendido; a restrição (4) garante que apenas haverá fluxo de atendimento entre um PC e um cliente para PCs que forem abertos e a restrição (5) garante que um PC só pode ser aberto caso tenha uma quantidade mínima de clientes sendo atendidos pelo mesmo.

5.2 Ferramenta de otimização para o modelo de localização

Problemas de programação linear são realizados em duas etapas, de forma que a primeira é a de modelagem e a segunda é a de executar o modelo em uma ferramenta de otimização para encontrar a solução ótima. O modelo de localização de pontos de coleta apresentado na seção 5.1 foi aplicado por meio de um programa computacional

desenvolvido em linguagem C#, que utilizou o Gurobi 9.0.2 (Gurobi Optimization, Inc.) como otimizador.

5.3 Ferramenta de roteirização

A metodologia propõe que durante o estudo seja realizada a roteirização de cenários para avaliação da utilização de pontos de coleta. Segundo Cunha (2000), roteirização é um termo utilizado para descrever o processo de criação de uma rota para um veículo de frota com o objetivo de atender a um conjunto de pontos dispersos geograficamente, minimizando o custo ou a distância total percorrida pelo veículo neste trajeto.

O problema de roteirização compreendido neste estudo tem complexidade elevada e na literatura é possível encontrar dois diferentes tipos de soluções para esse tipo de problema: o baseado em modelo exato e o baseado em heurística.

5.3.1 Heurísticas versus modelo exato

Os métodos exatos de otimização de soluções utilizados na pesquisa operacional permitem que o ótimo global seja encontrado. No entanto, frequentemente eles são computacionalmente caros para problemas de VRP (e muitas de suas extensões), pois estes são classificados como *NP-Hard* (LENSTRA; KAN, 1981), assim apenas pequenas instâncias podem obter soluções ótimas dentro dos limites de tempos de processamentos viáveis nestes modelos.

Heurísticas e meta-heurísticas não garantem otimalidade, porém frequentemente são mais adequadas para aplicações práticas, porque os problemas da vida real são consideravelmente maiores em escala (por exemplo, uma empresa pode precisar fornecer milhares de clientes a partir de dezenas de depósitos com numerosos veículos e sujeitos a uma variedade de restrições), (BRAEKERS; RAMAEKERS; VAN NIEUWENHUYSE, 2016), (CUNHA, 2000).

De acordo com a (GOLDEN et al., 1984), a etapa de roteirização neste estudo pode ser classificada por *Fleet Size and Mix VRP*, pois além de ser um problema de roteirização clássico onde um grupo de clientes deve ser atendido a partir de um depósito usando veículos com mesmas características, também incorpora frota mista com diferentes capacidades, velocidades de percurso e custo.

A escolha pelo modelo de heurísticas se mostrou mais apropriada, pois os cenários de execução podem incluir milhares de pedidos por dia utilizando três tipos de veículos diferentes, o que o caracterizaria como grande demais para ser resolvido por um modelo de otimização em tempo viável. Sendo assim, para realizar a simulação do problema real de

um operador logístico na distribuição de pedidos com a utilização de PCs foi escolhido um sistema baseado em heurísticas consolidadas e amplamente estudadas na literatura.

5.3.2 Descrição do sistema de roteirização

Neste estudo foi utilizado o SPOT.R 6.1.6 (INPO LTDA.), um sistema de roteirização de mercado baseado em heurística e desenvolvido em linguagem C#, que possui a função de buscar a melhor combinação de rotas e veículos com o objetivo de reduzir o tempo em trânsito, a distância percorrida e principalmente minimizar os custos operacionais logísticos. O software tem uma versão acadêmica gratuita e está disponível em <https://inpo.eng.br/solucoes/spot-r/>.

Para a execução do sistema de roteirização, são necessários os seguintes parâmetros de entrada:

- Demanda de pedidos que precisam ser roteirizados, incluindo as informações de posicionamento geográfico, quantidade, volume e peso do pedido;
- Cadastro dos pontos de partida das rotas, que são CDs ou instalações onde os veículos são carregados e iniciam as rotas para a entrega dos pedidos;
- Composição da frota de veículos, onde são descritos os tipos de veículos disponíveis para a operação e suas respectivas características operacionais, como custo fixo por veículo e variável por quilometro rodado, capacidade de itens, peso e volume, tempo disponível para entrega (duração das rotas), tempos gasto por entrega e velocidade média de deslocamento.

Existe a opção de utilização de uma matriz de distância entre os pontos a serem roteirizados, porém caso essa informação não seja importada, o sistema considera a distância linear entre os pontos multiplicada por um fator de desvio. Exemplo, se a distância linear entre dois pontos for igual a 100 quilômetros e fator de desvio for igual a 1,25, então o sistema irá considerar 125 quilômetros no resultado da roteirização.

Para buscar a composição de menor custo entre rotas e veículos, o sistema utiliza a heurística descrita abaixo.

Inicialmente a demanda é dividida em *clusters* através da heurística *K-Means Clustering*, porém modificada para que o volume total de cada cluster seja menor que a capacidade do menor veículo disponível na frota e, assim, a quantidade de *clusters* é resultado e não premissa conforme é proposto inicialmente. Em seguida, para cada *cluster* é criada uma rota inicial utilizando o veículo de menor capacidade.

A heurística de vizinho mais próximo é utilizada para definir o itinerário da rota a partir do CD (início da rota) e passando por todos os pontos de demanda que compõe cada *cluster*. Essas rotas iniciais são aprimoradas com a busca e reparação de cruzamentos entre trechos gerados pela heurística anterior. O aprimoramento é feito através da troca do destino de um dos trechos envolvidos no cruzamento pela origem do outro trecho envolvido, conforme demonstrado na Figura 5-2.

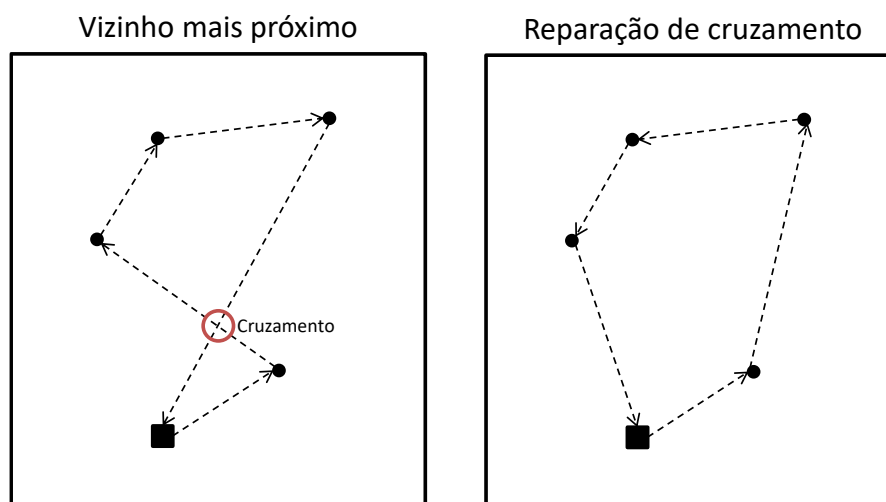


Figura 5-2: Lógica de reparação de cruzamentos

A partir dessa etapa, o sistema já encontrou uma solução viável para o problema e então passa a buscar novas soluções viáveis, porém de menor custo. São utilizadas heurísticas de exclusão de rotas, de redistribuição de pedidos para as rotas mais próximas, de aumento do perfil do veículo das rotas, de otimização da ocupação dos veículos ou de troca de pedidos entre rotas. As heurísticas mencionadas são executadas para cada uma das rotas iniciais. Sempre é verificado se foi encontrada uma solução viável e de menor custo e, caso positivo, essa solução é salva e a rota seguinte passa pelas mesmas heurísticas.

Por fim, o sistema utiliza uma meta-heurística de seleção aleatória, destruição e reconstrução para contornar a solução ótima local encontrada e buscar novos resultados melhores. A técnica foi aplicada da seguinte forma: Partindo da melhor solução encontrada pela heurística inicial, uma de suas rotas é selecionada aleatoriamente, assim como uma quantidade total de rotas mais próximas a serem destruídas e reconstruídas. Classificam-se como rotas mais próximas aquelas com os centros de gravidade mais próximos do centro de gravidade da rota selecionada.

Os pontos de demanda decorrentes das rotas destruídas passam novamente por todas as heurísticas até constituírem uma nova solução, que será incorporada caso tenha um menor custo.

Os resultados da execução do sistema são disponibilizados através de um relatório consolidado de rota, um relatório de itinerários e um mapa gráfico de representação das rotas.

O relatório de consolidado de rotas contém as informações operacionais de cada rota, como o veículo utilizado, sua ocupação, a quilometragem total percorrida, tempo total da rota, tempo parado realizando entrega e quantidade, volume e peso dos pedidos entregues, conforme exemplo na Tabela 5-1.

Tabela 5-1: Exemplo relatório consolidado de rotas

Rota	Veículo	Custo Rota	KM Total	Tempo Total Rota	Tempo Parado	Qtd de Itens	Peso	Volume	Ocupação
1	Furgão	214,3	87,7	8:39	2:48	33	60,5	113	9%
2	Furgão	215,8	91,1	8:37	2:33	30	63,8	125,4	10%
3	Furgão	215,6	90,6	8:45	2:43	32	57,3	103,4	9%
4	Furgão	213,4	85,9	8:36	2:53	34	65,9	119,2	10%
5	Furgão	216,4	92,4	8:32	2:22	28	34,6	62,3	5%
6	Furgão	218,5	97,1	8:36	2:07	25	62,7	108,7	10%
7	Furgão	220,8	102,1	8:40	1:52	22	42,8	87,3	7%
8	Furgão	216,9	93,6	8:12	1:57	23	38,8	71,4	6%
9	Furgão	220,8	102,2	8:46	1:57	23	25,2	46,9	4%
10	Furgão	218,7	97,6	8:40	2:10	30	66,9	123,9	10%
11	Furgão	218,3	96,7	8:29	2:02	24	36,3	61,1	6%
12	Furgão	217,1	94	8:43	2:28	29	50,6	100,4	8%
13	Furgão	220,6	101,7	8:44	1:57	23	47,1	80,1	7%
14	Furgão	222,7	106,4	8:47	1:42	20	41,5	72,4	6%
15	Furgão	220,9	102,3	8:41	1:52	22	43	75,1	7%
16	Furgão	223,1	107,4	8:46	1:37	19	37,4	66,3	6%
17	Furgão	223	107,1	8:45	1:37	19	40,4	73,7	6%
18	Furgão	219,5	99,3	8:34	1:57	23	45,7	86,2	7%
19	Furgão	220,8	102,2	8:46	1:57	23	64,8	129,8	10%
20	Furgão	220,6	101,8	8:19	1:31	18	37,9	66	6%

O relatório de itinerário apresenta a ordem de entrega de cada pedido, assim como a distância percorrida e tempo de trajeto entre cada ponto de entrega, conforme exemplo na Tabela 5-2.

Tabela 5-2: Exemplo relatório de itinerários

Rota	Ordem	ID Origem	ID Destino	Demanda	Distância	Tempo
1	1	CD	379	1,65	37,6	2:30:36
1	2	379	378	1,25	0,2	0:00:36
1	3	378	376	1,48	0,5	0:01:48
1	4	376	375	1,85	0,1	0:00:36
1	5	375	39	7,57	1,5	0:06:00
1	6	39	43	8,26	0,8	0:03:00
1	7	43	41	2,36	0,5	0:01:48
1	8	41	40	0,04	0,2	0:00:36
1	9	40	38	1,48	0,2	0:00:36
1	10	38	37	3,91	0,3	0:01:12
1	11	37	36	0,13	0,3	0:01:12
1	12	36	35	1,12	0,4	0:01:12
1	13	35	373	0,02	1,0	0:04:12
1	14	373	367	0,26	0,5	0:01:48
1	15	367	361	0,24	0,3	0:01:12
1	16	361	363	4,74	0,3	0:01:12
1	17	363	356	0,41	0,3	0:01:12
1	18	356	339	0,17	0,6	0:02:24
1	19	339	337	6,52	0,2	0:01:12
1	20	337	336	0,4	0,2	0:00:36
1	21	336	86	0,13	0,5	0:01:48
1	22	86	87	0,16	0,1	0:00:36
1	23	87	346	0,01	0,5	0:02:24
1	24	346	345	0,39	0,3	0:01:12
1	25	345	347	2,1	0,1	0:00:36
1	26	347	350	0,02	0,3	0:01:12
1	27	350	349	4,94	0,0	0:00:00
1	28	349	359	2,1	0,4	0:01:48
1	29	359	365	2,34	0,2	0:01:12
1	30	365	369	0,43	0,5	0:01:48
1	31	369	370	0,06	0,0	0:00:00
1	32	370	372	0,21	0,1	0:00:36
1	33	372	371	3,75	0,3	0:01:12
1	34	371	CD		38,2	2:33:00

O mapa gráfico de representação das rotas exibe o itinerário das rotas resultantes da execução, desde o início no centro de distribuição, passando por cada ponto de entrega, até retornar ao ponto de partida. O mapa representará o caminho do veículo de maneira simplificada (sem traçar os trechos das rotas dentro das vias de trânsito existentes), porém é importante ressaltar que o sistema utiliza as distâncias reais para cálculo da solução.

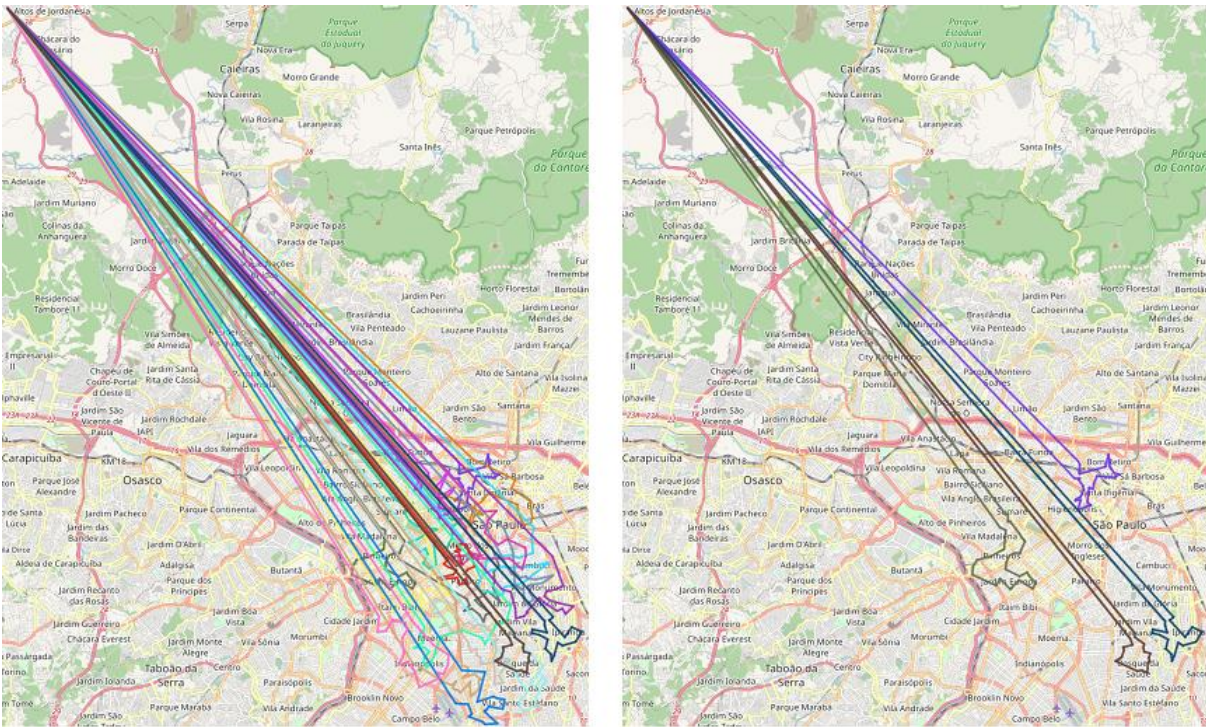


Figura 5-3: Exemplo do mapa de representação das rotas

O sistema possui todas as funcionalidades necessárias para as simulações de cenário conforme proposto pela metodologia.

5.3.3 Verificação e validação do sistema de roteirização

O modelo de simulação tem como principal objetivo representar de maneira adequada a operação real de um operador logístico e, para alcançar a credibilidade dos seus resultados, foram adotadas técnicas de verificação e validação para determinar a aderência do seu comportamento à realidade.

Schlesinger (1979) define que o modelo de verificação tem como objetivo garantir a correta implementação da versão computadorizada do modelo, e define também que o modelo de validação tem como objetivo comprovar que um modelo computadorizado tem uma faixa satisfatória de precisão consistente com a aplicação pretendida.

De acordo com Kleijnen (1995), uma das técnicas de verificação é denominada de “verificação intermediária da saída de simulação”, onde são calculados manualmente alguns resultados intermediários da simulação e comparados com os resultados provenientes do programa de simulação.

Foram selecionados pontos aleatórios com geolocalização para criação e otimização de uma rota. As distâncias reais entre todos estes pontos foram obtidas através do Google Maps e utilizadas para criar a matriz de distâncias, a qual foi utilizada como parâmetro de entrada no sistema de roteirização. Após a execução do programa de roteirização foram

comparadas as distâncias percorridas em cada rota resultante do sistema com a soma das distâncias dos pontos que pertencem a esta rota, de acordo com a matriz de distâncias, onde houve total aderência entre as quilometragens totais percorridas.

Para validação de consistência de um sistema é necessário determinar se o comportamento resultante do modelo de simulação tem a precisão exigida para o propósito pretendido do modelo (SARGENT, 2013).

Uchoa et al., (2017) fizeram uma vasta pesquisa sobre os principais problemas de roteirização de veículos capacitados (CVRP) encontrados na literatura e propuseram um conjunto comum de instâncias de benchmark, junto com seus respectivos resultados do mais alto nível de desenvolvimento de métodos heurísticos e exatos. Essas instâncias utilizam como principais parâmetros a localização dos pontos, a demanda de cada ponto, a quantidade e capacidade dos veículos e a localização dos centros de distribuição, obtendo como resultado a distância total percorrida. Na Figura 5-4 é possível observar um exemplo da instância A-n60-k9 de Uchoa e os parâmetros nela utilizados.

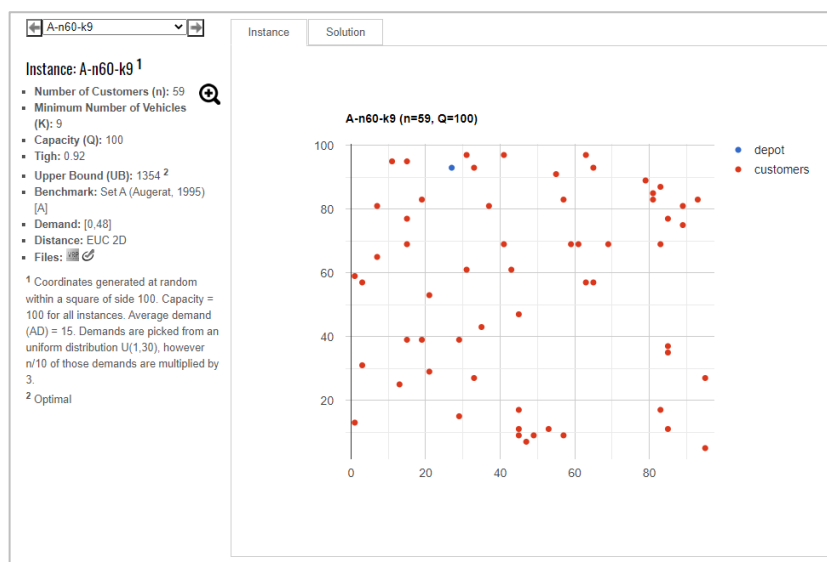


Figura 5-4: Exemplo de uma instância de Uchoa

Na Figura 5-5 é possível observar a solução otimizada encontrada para a instância sugerida.

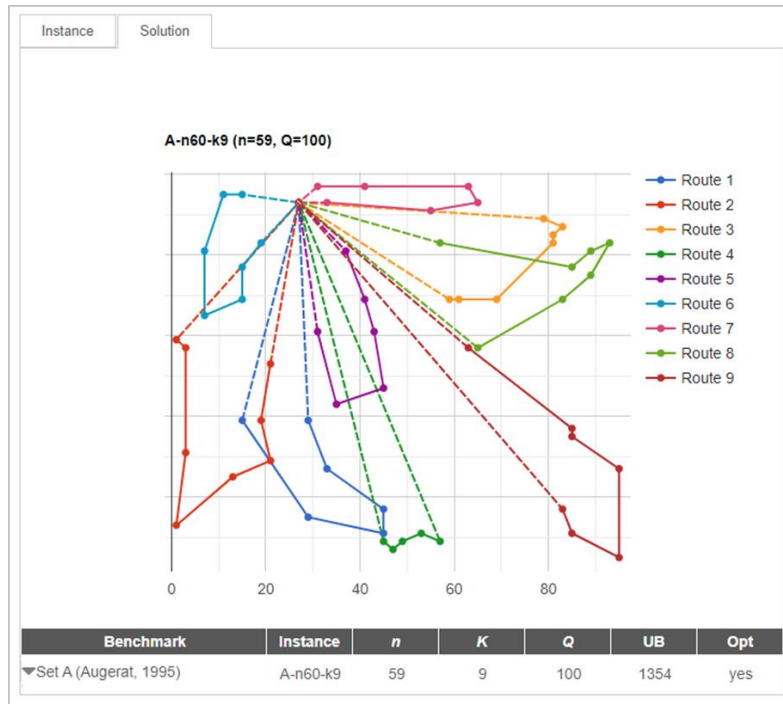


Figura 5-5: Exemplo solução de uma instância de Uchoa

Para validação do modelo, o sistema de roteamento utilizado executou um conjunto de 143 instâncias provenientes da pesquisa de Uchoa, obtendo resultados que, comparados com os encontrados na literatura, obtiveram a distância total percorrida em média 5,3% maior. Outros indicadores relevantes dos resultados de distância em comparação à literatura são: mediana 5,6% maior, diferença máxima de distância 13% maior e diferença mínima de distância 24% menor (nos casos em que o sistema encontrou solução com menor distância percorrida). O detalhamento dos parâmetros de comparação é apresentado no APÊNDICE A. É possível observar que para 98,60% das instâncias a distância percorrida teve variação inferior ou igual a 12% em comparação aos resultados de Uchoa, conforme Figura 5-6.

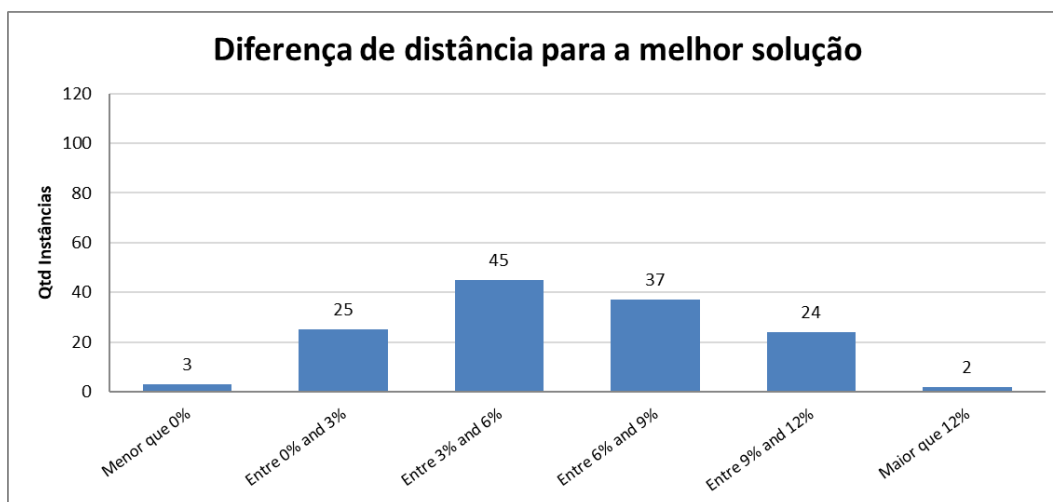


Figura 5-6: Diferença de distância para a melhor solução

Para as instâncias de Uchoa a quantidade de veículos é um parâmetro definido a priori, porém para o sistema de roteirização utilizado este valor é um resultado obtido. Desta forma, é possível observar que para 72,02% das instâncias a quantidade de veículos utilizada na solução roteirizada é igual ou menor em comparação ao resultado da literatura, conforme Figura 5-7.

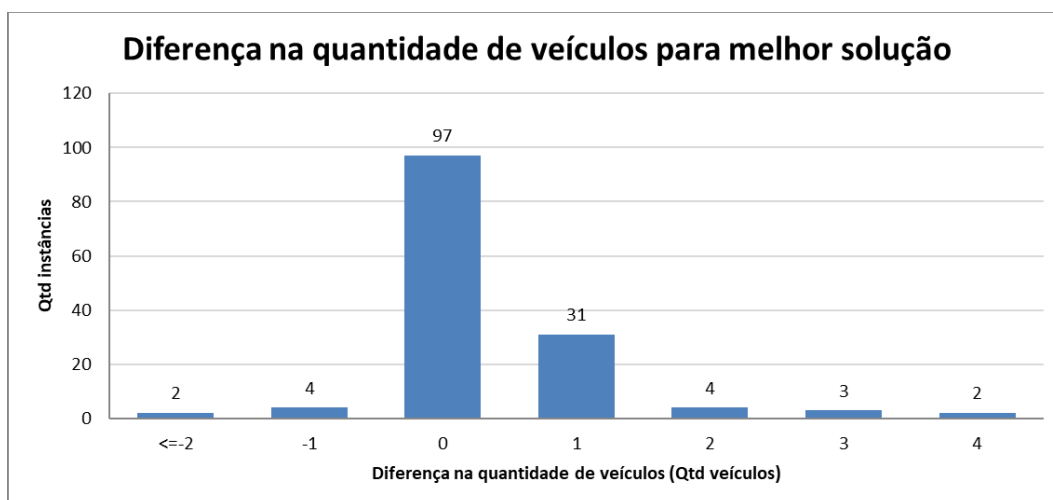


Figura 5-7: Diferença na quantidade de veículos para a melhor solução

Em algumas instâncias, o sistema utilizado encontrou soluções com menor distância total percorrida e menor número de veículos utilizados que os resultados da literatura.

É importante ressaltar duas principais diferenças nas características das instâncias, nos objetivos e nos métodos utilizados para resolução que causam impactos diretos e explicam a diferença nos resultados obtidos. (1) Todos os problemas apresentados nas instâncias utilizam apenas um tipo de veículo sem custo fixo e com capacidade única (problema clássico de VRP), enquanto os problemas a serem resolvidos pelo sistema utilizam veículos com diferentes custos fixos e capacidades (*Mixed Fleet VRP*). (2) Os métodos heurísticos e exatos utilizados por Uchoa para resolver as instâncias têm como principal objetivo diminuir a distância total percorrida, além da obrigação de utilizar a quantidade de veículos definidos a priori. Por outro lado, o sistema de roteirização utilizado tem como objetivo diminuir custos, onde a solução de menor custo pode ser constituída de uma quantidade menor de veículos percorrendo uma distância total maior.

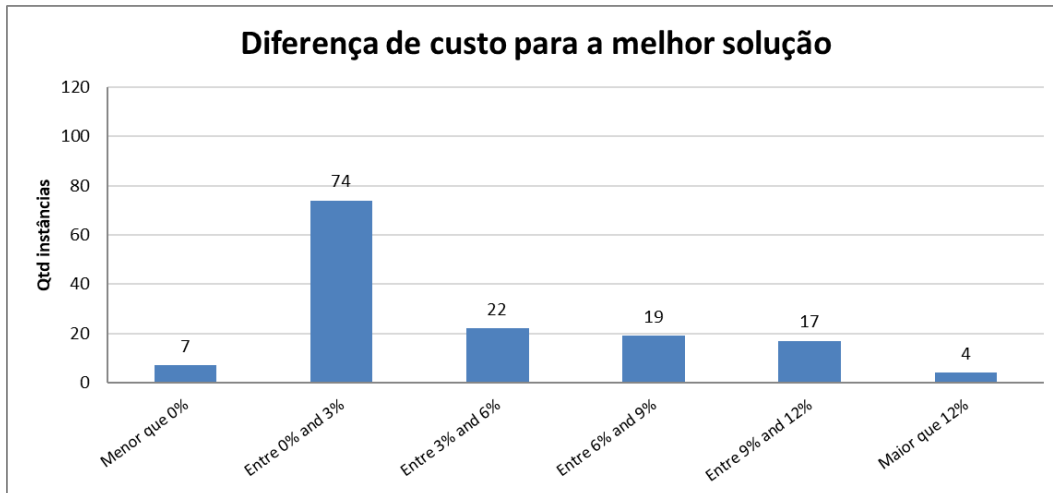


Figura 5-8: Diferença de custo para melhor solução

Para obter uma base comparável com relação aos custos entre as instâncias de Uchoa e o sistema utilizado, foram aplicados em ambos os casos os custos de um veículo médio de *e-commerce* conforme descrito na subseção 6.1.2. Assim, foi possível calcular o custo total de uma instância através do produto entre o custo fixo por carro e a quantidade de veículos necessários somado ao produto entre o custo variável por distância e a distância percorrida. A comparação dos custos calculados demonstra que 72,02% dos custos tiveram uma variação de até 6%, sendo que em algumas instâncias o custo foi menor, conforme a Figura 5-8.

Para complementar a validação, foram realizadas entrevistas com especialistas e profissionais das áreas de transporte, implantação de PCs, operações logísticas e varejistas de compras online para validar os parâmetros de entrada do modelo, como velocidade, capacidade e tempo de parada de cada veículo, assim como os indicadores operacionais resultantes da execução do modelo como quantidade de entregas e ocupação de cada rota.

Com as verificações e validações realizadas, é possível assegurar a confiabilidade dos resultados na representação da operação real de um operador logístico na distribuição de pedidos com a utilização de PCs.

6. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA O CASO DE SÃO PAULO

Neste capítulo serão descritos os parâmetros considerados na simulação e os cenários construídos para simular corretamente a metodologia proposta no caso de entregas no perímetro urbano do centro expandido da cidade de São Paulo utilizando pontos de coleta.

6.1 Descrição dos parâmetros de simulação

A seleção e variação dos diferentes parâmetros de simulação têm como principal objetivo representar as diferentes condições e cenários nos quais o operador logístico pode se deparar em diferentes operações. Este capítulo tem como objetivo explicar e apresentar as variações sugeridas dos seguintes parâmetros de simulação exigidos pelo *framework* proposto na metodologia:

- Demanda / área de atendimento;
- Frota;
- Pontos de coleta;
- Disposição do cliente para se deslocar a fim de coletar uma encomenda;
- Localização do Centro de Distribuição;
- Proporção percentual da demanda (adesão) que será atendida pela operação de PCs;

Nesse estudo de caso, os dados operacionais referentes à demanda, como quantidade, endereço, peso e volume de cada entrega, assim como a localização do centro de distribuição foram obtidos através da literatura, de valores médios de mercado e de entrevistas com especialistas da área.

As explicações das condições usadas em cada parâmetro para a composição dos diferentes cenários são descritas abaixo.

6.1.1 Demanda / área de entrega

A utilização de PCs tem como resultado a consolidação e centralização de entregas de uma pequena região em apenas um ponto. Portanto, esse tipo de operação só se torna viável quando há uma quantidade mínima de entregas, que, se consolidadas em um único ponto, ainda permaneçam na proximidade dos itinerários de seus destinatários.

Para selecionar a região de execução das simulações, foram considerados fatores socioeconômicos e geográficos que possibilitem preencher as necessidades de utilização de PC, que são:

- Densidade populacional, assumindo que quanto maior a concentração de pessoas, maior o número de entregas geradas na região;
- Número de estabelecimentos comerciais, aumentando a possibilidade de instalações de PC;
- Proximidade com as atividades diárias dos clientes (trabalho, escola, supermercado, lazer, transporte público), que facilitam o deslocamento até o PC.

Essas características são facilmente encontradas nos centros das grandes cidades, de modo que foi escolhida para ser utilizada no estudo a região do centro expandido da cidade de São Paulo (Figura 6-1) com área de 93,2 km², população de 1,17 milhão de habitantes (IBGE, 2010) e densidade populacional média de 12.550 habitantes por km².

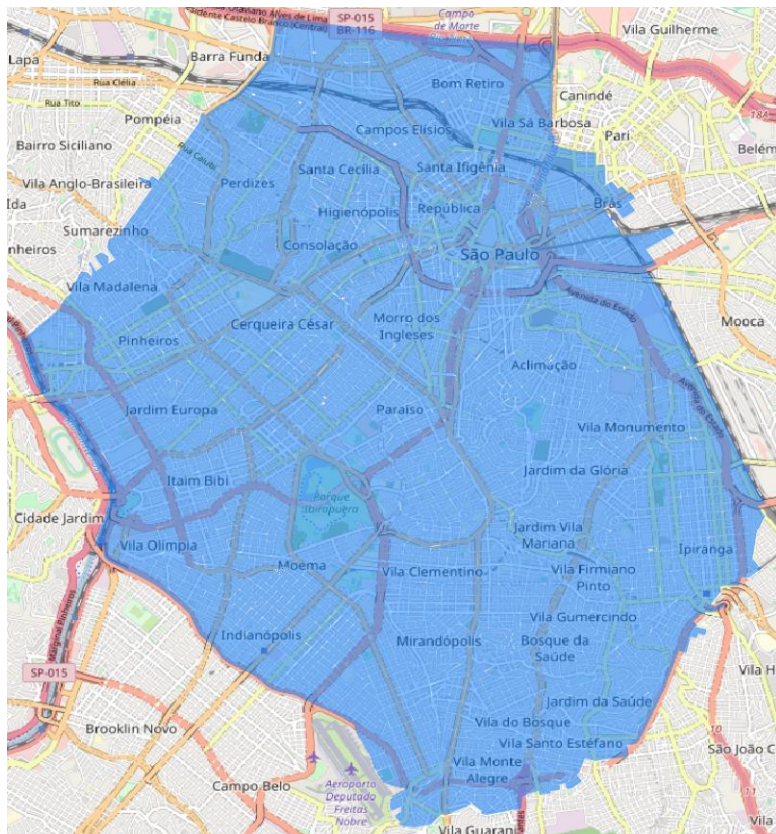


Figura 6-1: Área selecionada para simulação de entrega

Para este estudo, a demanda foi criada com base na densidade demográfica, na localização geográfica dos pontos que devem ser atendidos, na quantidade de entregas e em seus respectivos peso e volume.

Através do Censo de 2010 (IBGE, 2010) foram obtidos os dados de densidade demográfica dos setores censitários correspondentes à região do centro expandido da cidade de São Paulo (Figura 6-1) que, posteriormente, foram sumarizados de forma a obter a densidade populacional correspondente a cada bairro dentro da região estudada (Figura 6-2).

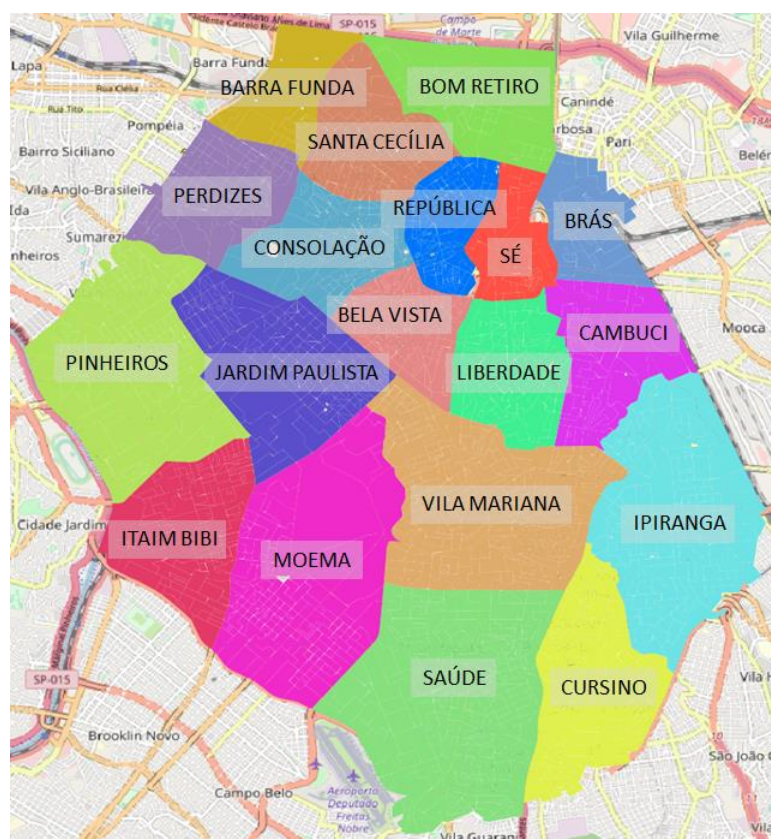


Figura 6-2: Bairros da região do estudo

Em entrevistas com grandes empresas varejistas de *e-commerce* no Brasil foi constatada uma média de 1.500 entregas por dia partindo de um mesmo centro de distribuição para região final de atendimento. Dessa forma, para representar a realidade das empresas do *e-commerce* que possuem diferentes valores de demanda, foram selecionadas quatro densidades de entregas diárias, as quais são distribuídas de forma proporcional ao percentual equivalente da população de cada bairro:

1. 500 entregas, equivalente a 5,4 pacotes/km²;
2. 1.000 entregas, equivalente a 10,7 pacotes/km²;

3. 2.000 entregas, equivalente a 21,5 pacotes/km²;
4. 3.000 entregas, equivalente a 32,2 pacotes/km²;

A Tabela 6-1 demonstra a sumarização dos dados de densidade populacional por bairro, além do percentual equivalente da população em cada bairro desta região.

Tabela 6-1: Densidade populacional por bairro

Bairro	População	Percentual População	500 entregas	1.000 entregas	2.000 entregas	3.000 entregas
BARRA FUNDA	7.214	0,6%	3	6	12	18
BELA VISTA	66.813	5,8%	29	58	116	174
BOM RETIRO	26.808	2,3%	12	24	48	72
BRÁS	18.113	1,6%	8	16	32	48
CAMBUCI	35.322	3,0%	15	30	60	90
CONSOLAÇÃO	57.138	4,9%	25	50	100	150
CURSINO	70.599	6,1%	30	60	120	180
MOEMA	83.223	7,2%	36	72	144	216
IPIRANGA	79.814	6,9%	35	70	140	210
ITAIM BIBI	50.485	4,4%	22	44	88	132
JARDIM PAULISTA	88.428	7,6%	38	76	152	228
LIBERDADE	67.458	5,8%	29	58	116	174
PERDIZES	34.003	2,9%	15	30	60	90
PINHEIROS	51.266	4,4%	22	44	88	132
REPÚBLICA	56.458	4,9%	24	48	96	144
SANTA CECÍLIA	82.243	7,1%	35	70	140	210
SAÚDE	130.415	11,3%	56	112	224	336
SÉ	23.595	2,0%	10	20	40	60
VILA MARIANA	129.017	11,1%	56	112	224	336
TOTAL	1.158.412	100,0%	500	1.000	2.000	3.000

Para cada densidade foram construídos 5 dias equivalentes de entrega, ou seja, dias em que será realizado o mesmo número de entregas, porém variando a localização geográfica e dimensões de cada pacote, mas mantendo sempre constante a soma total dos pesos e a soma total dos volumes dos pacotes do dia.

Uma vez que a densidade de cada bairro foi estabelecida, foi preciso determinar um par de coordenadas geográficas que indicasse um endereço válido para cada pacote. Considera-se um endereço válido aquele em que é possível realizar uma entrega comum, de forma a evitar que o par de coordenadas indique, por exemplo, parques e praças públicas ou pontos localizados no interior de um quarteirão. Para essa finalidade, foi utilizada uma base de endereços reais georreferenciados cedida por uma empresa varejista de *e-commerce* contendo pares de coordenadas suficientes para seleção de pontos para cada bairro.

Uma das empresas varejistas de *e-commerce* entrevistadas cedeu uma base histórica de informações, de onde foram extraídos apenas os dados para obtenção das curvas de peso e volume conforme ilustrado nas figuras Figura 6-3 e a Figura 6-4. Para este estudo foram consideradas apenas as entregas pesando menos de 9 kg e volume menor que 0,05 metros cúbicos, não havendo restrição quanto ao valor de cada pacote. Dessa forma, para determinar o peso e o volume de cada pacote, foram gerados aleatoriamente valores de acordo com os percentuais equivalentes demonstrados nas Figura 6-3 e a Figura 6-4, onde 36,4% dos pacotes, por exemplo, receberam um valor aleatório entre 0,01 e 0,5kg e 35,7% dos pacotes receberam aleatoriamente um valor de volume entre 0,001 e 0,014m³.

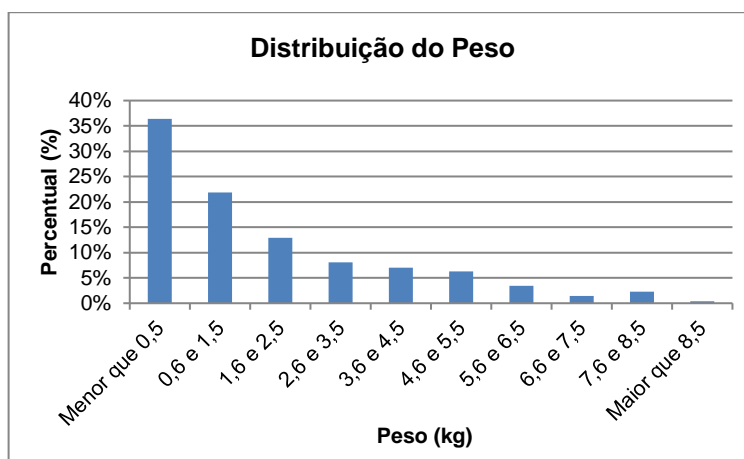


Figura 6-3: Distribuição percentual dos pesos das entregas

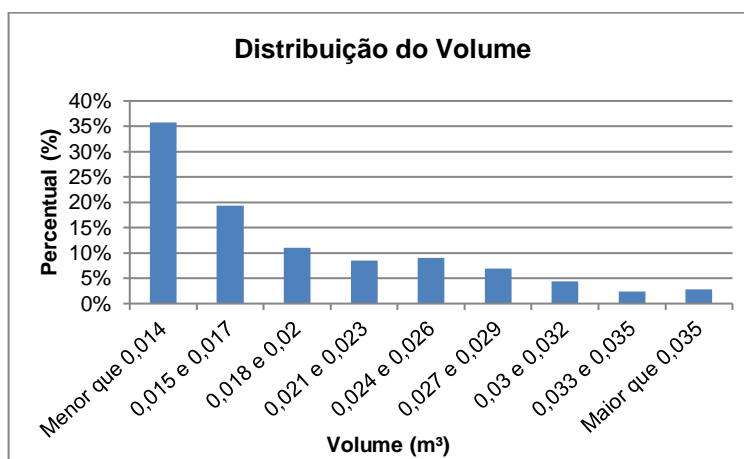


Figura 6-4: Distribuição percentual dos volumes das entregas

A demanda se define, finalmente, com a determinação da densidade de entregas dentro da região do centro expandido da cidade de São Paulo e os atributos de endereço, peso e volume de cada pacote desta densidade. Abaixo é possível observar (Figura 6-5) 1.000 pontos de entrega estão distribuídos na região estudada e uma amostra dos dados aleatoriamente gerados para demonstrar os pacotes (Tabela 6-2).

6.1.2 Parâmetros operacionais da frota de veículos

Para que o *framework* proposto de simulação de entrega represente a realidade, foi necessário usar diferentes tipos de parâmetros que representassem o custo operacional de transporte de distribuição, restrições de capacidade e tempo dos veículos, seja em rota ou estacionados para realizar entregas. Esses parâmetros são críticos para o sucesso de qualquer análise de cenário, uma vez que, à medida que esses parâmetros se distanciam da realidade operacional, os resultados das simulações não têm valor para os operadores logísticos.

Para determinar o custo total da operação, foram considerados custos fixos por veículo e custos variáveis equivalentes a distância percorrida. Os custos fixos são compostos por custos de funcionários (salário, encargos trabalhistas e impostos) e os custos de veículos (depreciação, remuneração de capital imobilizado, impostos e seguros). Como esses custos têm frequência mensal, para simular apenas um dia da entrega, o custo fixo foi obtido através da divisão do custo mensal total pelo número médio de dias em um mês. Os custos variáveis são compostos apenas por custos atrelados à rodagem do veículo, como combustível, manutenção e consumo de pneus.

Todos os veículos da frota possuem restrições de capacidade de volume e peso; dessa forma, a somatória dos pesos e volumes de todos os itens associados a uma rota não deve ultrapassar a limitação física do veículo.

As rotas possuem restrição de tempo em função do horário comercial e da jornada máxima de trabalho dos entregadores, então todo o processo de entrega, desde a saída do centro de distribuição, efetuar todas as entregas e retornar ao ponto de origem, não pode durar mais tempo que a jornada de trabalho estabelecida previamente.

Não existem rotas dedicadas que fazem apenas entregas a residência ou a PCs; qualquer veículo pode fazer entregas em ambos os locais, inclusive em uma mesma rota.

O tempo de entrega foi dividido entre tempo fixo por ponto de parada e variável por quantidade de volumes entregues, para que a simulação pudesse representar as peculiaridades das duas operações de entrega (com e sem PCs). O tempo fixo consiste na soma dos tempos gastos com a busca por vagas de estacionamento, tempo de manobra para estacionar o veículo e o tempo de atendimento do receptor. O tempo variável soma os tempos gastos com a seleção de pacotes e execução de protocolos de entrega.

Nos casos sem PCs, a quantidade de pontos de parada é maior (aumentando o tempo fixo das entregas), pois há necessidade de parada em cada residência (mais paradas) e a quantidade de volumes entregues em cada parada é menor (tempo variável por entrega). Ocorre uma inversão de comportamento na operação com PCs, onde a quantidade de

pontos de parada é menor, pois permite consolidar as entregas de um número maior de residências em um número menor de destinos (PCs), porém a quantidade de volumes entregues em cada parada é maior.

Para as simulações, foram escolhidos três tipos de veículos. Os parâmetros operacionais da frota de veículos usados podem ser vistos na Tabela 6-3.

Tabela 6-3: Parâmetros operacionais da frota de veículos

	Moto	Furgão Leve	Van
Custo Fixo (\$/dia)	110,21	174,79	223,36
Custo Variável (\$/km)	0,16	0,45	0,43
Capacidade Peso (kg)	30	650	1.540
Capacidade Volume (m ³)	0,135	3,2	10
Jornada de Trabalho (hrs)	10	10	10
Tempo Fixo (por parada)	01:30	04:30	06:00
Tempo Variável (por pacote)	00:36	00:36	00:36
Velocidade na Cidade (km/h)	25	15	12
Velocidade na Estrada (km/h)	50	50	50

A “Velocidade na Estrada” determina a velocidade média na qual os veículos trafegam entre a saída do CD e a chegada ao perímetro urbano e foi considerado um fator de 40% do limite de velocidade do trecho devido a influência do trânsito no horário de pico na entrada da cidade. Caso o CD já esteja dentro do perímetro urbano, a velocidade na estrada não é utilizada.

Assume-se que não há limitação para a quantidade de veículos de cada tipo, e a definição da frota de menor custo é dada como resultado do sistema de roteirização.

6.1.3 Candidatos a pontos de coleta

De acordo com uma pesquisa realizada na Polônia por Lemke, Iwan e Korczak (2016) sobre a usabilidade de PCs de acordo com a perspectiva do cliente, um pouco menos de 40% dos entrevistados utilizam PCs por considerarem suas localizações muito boas, e aproximadamente 15% estariam dispostos a utilizar um ponto de coleta com maior frequência se suas localizações melhorassem. Também apontou que clientes favorecem PCs encontrados nas proximidades dos seus itinerários cotidianos (como a caminho do trabalho, perto da escola dos filhos ou supermercados), preferencialmente em locais com estacionamento.

Oliveira et al. (2017) realizaram uma pesquisa sobre o comportamento do consumidor relacionado com a entrega de produtos comprados *online*, para identificar quais são os atributos mais relevantes para a utilização de PCs. O resultado mostrou que 77% dos

entrevistados apontaram mercados, lojas, postos de combustíveis e shopping centers como locais de preferência para coletar uma encomenda.

Foram selecionados 606 candidatos reais da região de estudo (mostrados na Figura 6-6) a fim de garantir que todos os pontos de demanda tivessem pelo menos uma opção de PC disponível a menos de 800 metros do endereço original da entrega. Os candidatos foram identificados através de uma pesquisa simples na ferramenta Google Maps, pesquisando pelas palavras “supermercado”, “posto de combustível” e “shopping center” e coletando manualmente as coordenadas de cada um deles.

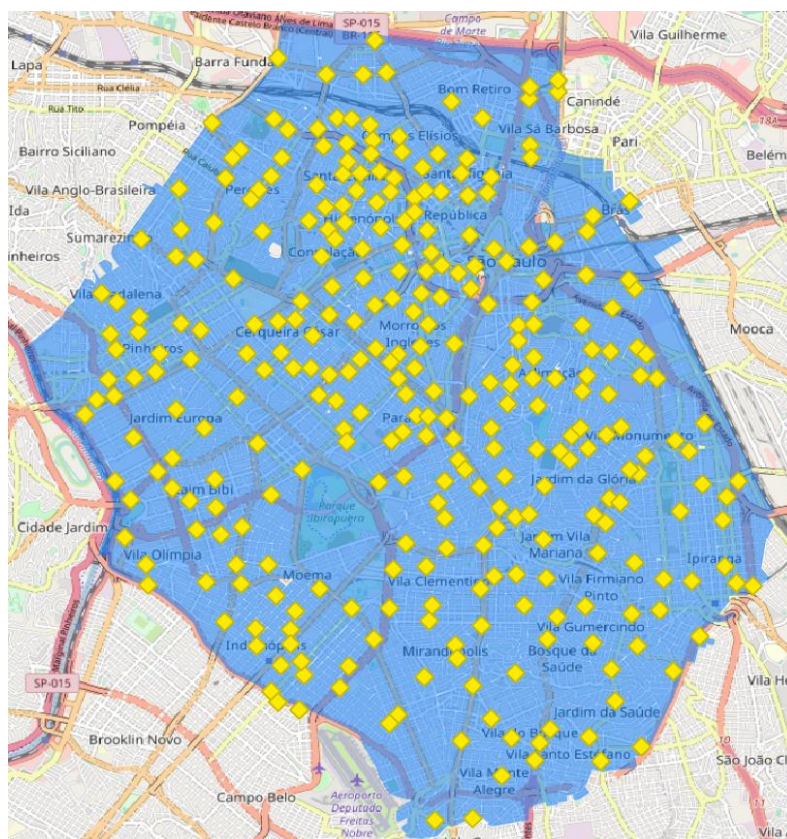


Figura 6-6: Candidatos a pontos de coleta

6.1.3.1 Modelo de localização de PCs

Sabendo da importância da localização do PC, um dos objetivos do modelo é identificar quantos PC são necessários para atender a demanda e qual seria a localização dos candidatos selecionados para realizar esta operação. Tais respostas serão obtidas através da solução do modelo de localização de pontos de coleta, explicado com mais detalhes no capítulo 5.1.

O modelo proposto utiliza como parâmetro dois valores de execução que são: a limitação mínima de pacotes para abertura de um ponto de coleta e o percentual mínimo do total da demanda que deve ter a possibilidade de atendimento por um PC dentro do raio

máximo de deslocamento. Neste estudo de caso, para estes parâmetros foram considerados o mínimo de 5 pacotes para abertura de um ponto de coleta e 90% da demanda.

Conforme a metodologia detalhada na seção 5 para evitar um possível impacto de anormalidades causadas devido a aleatoriedade dos dados devem ser criados dias equivalentes de entrega para cada densidade de demanda e conforme a os parâmetros de demanda descritos anteriormente na subseção 6.1.1, para esse estudo foram criados 5 dias equivalentes de entrega para cada densidade de demanda.

Assim sendo, a localização dos PC foi definida considerando a localização das entregas nos 5 dias equivalentes e não em apenas um dia, de forma que as restrições de mínimo de pacotes para abertura de um ponto de coleta e de atendimento da demanda devem ser cumpridas dentro da soma desses 5 dias. De forma prática, para definir a localização dos pontos de coleta numa demanda de 500 entregas, equivalente a 5,4 pacotes/km², foram utilizados os dados de localização de 2.500 entregas, referentes a demanda equivalente de 5 dias. As quantidades de pacotes utilizados para definição da localização dos PC em cada densidade de demanda são conforme a Tabela 6-4.

Tabela 6-4: Quantidades de pacotes utilizados para definição da localização dos PC em cada densidade de demanda

Demanda	Densidade de Demanda	Dias Equivalentes	Quantidade de Pontos
500 pacotes	5,4 pacotes/km ²	5	2.500
1.000 pacotes	10,7 pacotes/km ²	5	5.000
2.000 pacotes	21,5 pacotes/km ²	5	10.000
3.000 pacotes	32,2 pacotes/km ²	5	15.000

6.1.4 Disposição do cliente para se deslocar a fim de coletar uma encomenda

Apesar das vantagens já mencionadas para o uso do PC como opção de entrega, sua desvantagem certamente está no fato de que a parte final da jornada tem que ser feita pelos clientes. A disposição de um cliente a se deslocar para coletar uma encomenda tem grande impacto na quantidade de PCs necessários para atender a demanda. Quanto maior for a distância que os clientes aceitem se deslocar para coletar um pedido, menor é o número de PCs necessários, aumentando a consolidação de pedidos em todos os PC.

De acordo o modelo de simulação propostos por Alves (2019), a distância média percorrida pelos clientes que escolhem receber seus pedidos em PCs está entre 2.1 km e 2.3 km (ida e volta), onde a quantidade PCs segue a proporção de 5 para cada 100.000 habitantes. Como não é possível determinar a priori a distância que cada cliente está disposto a percorrer para coletar seu pacote em um PC, foram simulados três cenários com

valores de 0,8, 1,2 e 1,6km para a distância máxima que o cliente poderia se deslocar entre o endereço de entrega original e o correspondente PC mais próximo, considerando apenas a distância do trecho de ida. Dessa forma é possível mensurar o impacto no custo operacional decorrente do aumento do nível de serviço em aproximar os PCs dos consumidores.

6.1.5 Localização do centro de distribuição (ponto de partida)

A operação de distribuição da última milha é caracterizada pela fragmentação da carga e pelo maior número de pontos de descarga. Por isso, é comum que o tempo disponível restrinja a quantidade de carga nos veículos mais do que sua capacidade de volume e peso.

A distância do centro de distribuição (CD) à área de entregas impacta diretamente no número de veículos necessários para concluir a operação de entrega. Normalmente, quanto mais longa a distância, mais tempo o veículo leva para iniciar as entregas e, portanto, menos tempo ele tem para realmente entregar.

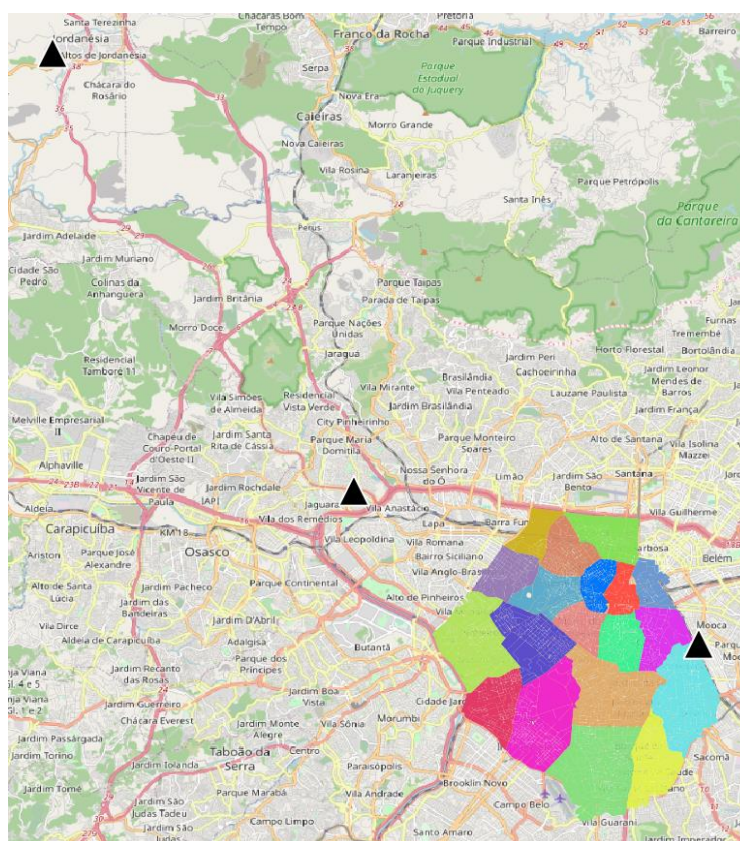


Figura 6-7: Localização dos CDs

Foram simuladas operações onde o CD está localizado em 3 diferentes regiões: em Cajamar, onde o trecho percorrido é predominantemente constituído de rodovias e a distância média percorrida até a primeira entrega é de 40 quilômetros; no distrito de

Jaguará, situado no limite do perímetro urbano de São Paulo e, por isso, de fácil acesso através das rodovias, reduzindo a distância média percorrida até a primeira entrega para 15 quilômetros; e no distrito da Mooca, que se localiza dentro do perímetro urbano do centro expandido da cidade de São Paulo e tem a menor distância média percorrida até a primeira entrega, de 3 quilômetros. As regiões foram escolhidas por serem amplamente conhecidas por abrigar fábricas, galpões comerciais e centros de distribuição.

6.1.6 Proporção percentual da demanda (adesão) que será atendida pela operação de PCs

Por fim, de acordo com o *framework* apresentado na Figura 5-1, a quinta etapa da metodologia consiste na seleção de um percentual da demanda para ser entregue através dos PCs; foram definidos quatro parâmetros fixos de 20%, 40%, 60% e 80% da demanda e, de acordo com a porcentagem, foram escolhidos aleatoriamente os pacotes que deixaram de ser entregues em seu endereço original e foram redirecionadas para um PC.

Na Figura 6-8 é possível observar a demanda total a ser distribuída no cenário de entrega tradicional, o qual não utiliza PCs de coleta na operação e todas as entregas são feitas no endereço de origem. Na figura, os diferentes tamanhos de cada ponto representam a quantidade de pedidos associados a cada endereço de entrega, assim, os pontos com as maiores dimensões indicam uma consolidação de carga que pode ocorrer quando existe um agrupamento de pessoas em um mesmo endereço, como em edifícios comerciais ou residências, empresa, entre outros.



Figura 6-8: Cenário “base de referência”, com toda a demanda entregue em residências.

A Figura 6-9 mostra a evolução dos cenários com o aumento do percentual de 20% a 80% da demanda sendo redirecionada para entregas utilizando PCs. É possível observar que conforme a adesão das entregas ao modelo de pontos de coleta aumenta, a consolidação dos pontos a serem atendidos também aumenta.

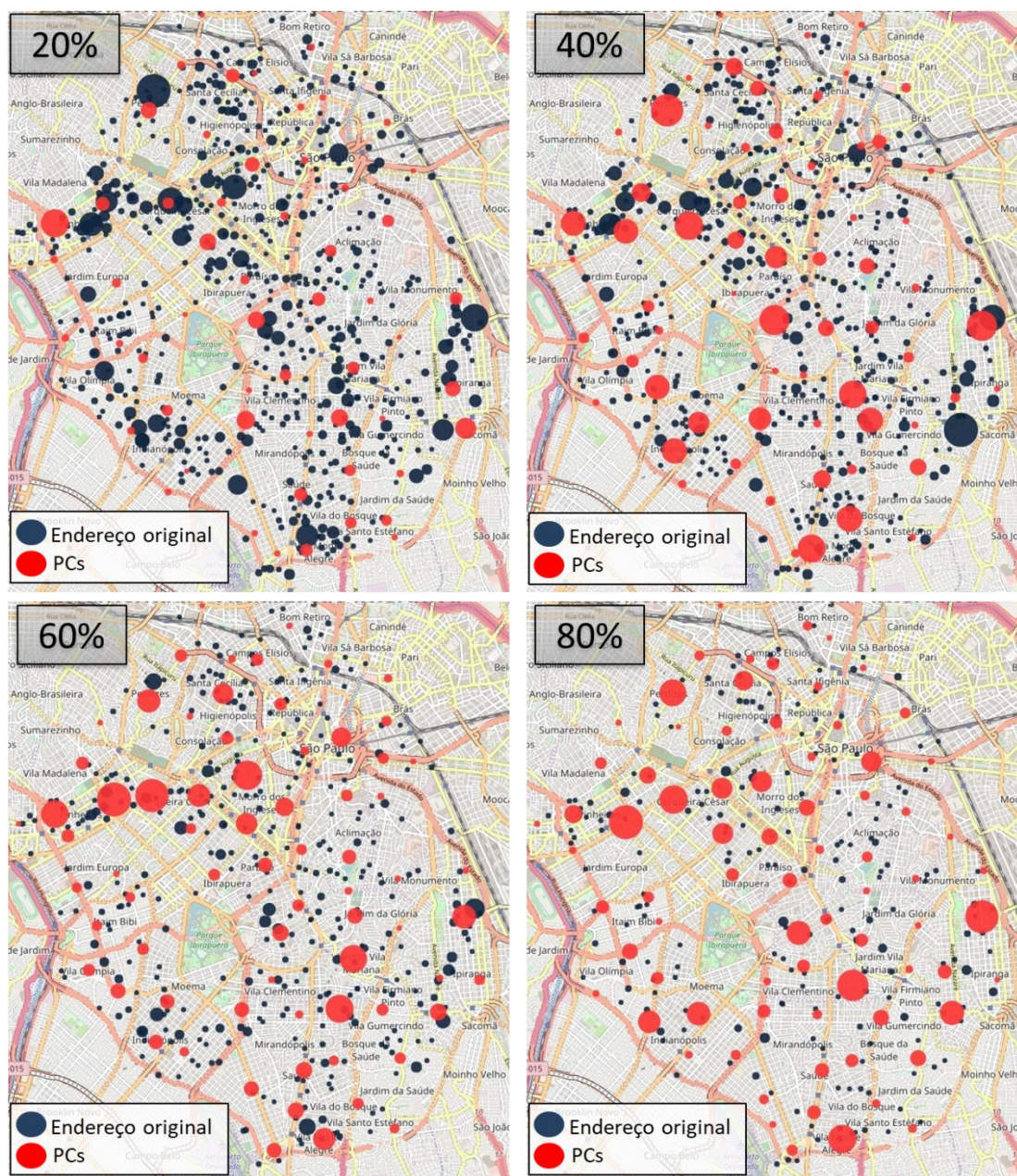


Figura 6-9: Evolução dos cenários com o aumento do percentual de utilização de PCs (20% a 80%).

6.2 Exemplo gráfico da aplicação da metodologia

A Figura 6-10 mostra os pontos de entrega de um cenário base de referência (sem PC), bem como seus respectivos roteiros de entrega, representando um exemplo de uma operação convencional de entrega em domicílio.

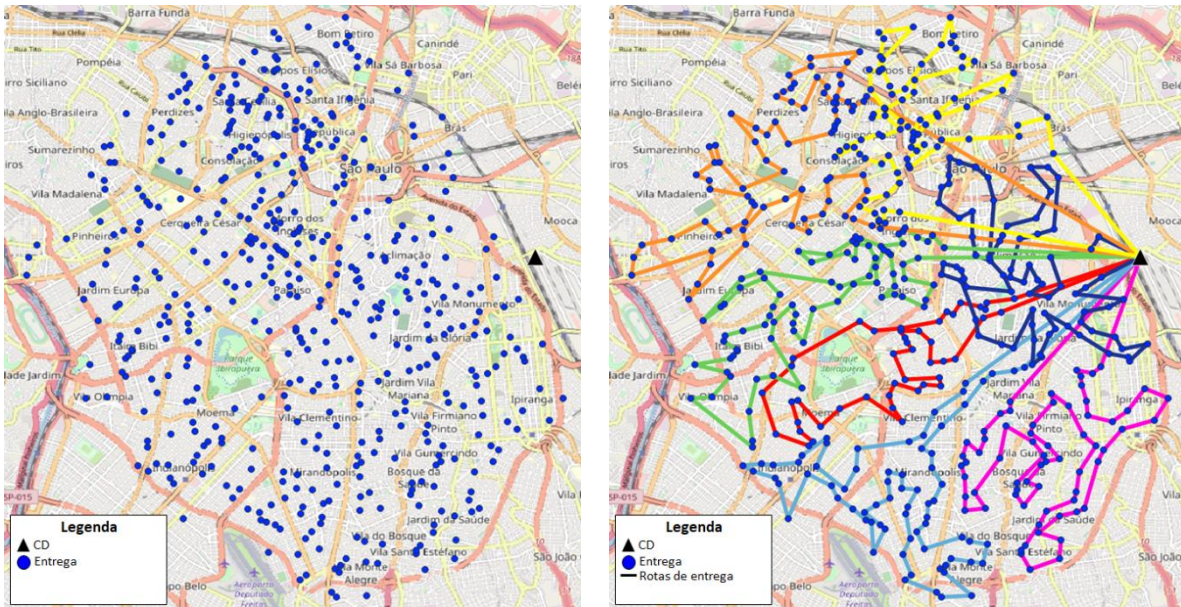


Figura 6-10: Pontos e roteiros de entrega - Cenário base referência

A Figura 6-11 exibe os mesmos pontos de entrega da Figura 6-10, porém alguns pontos foram selecionados aleatoriamente (em vermelho) para que a entrega seja direcionada a PCs, bem como a associação de cada entrega ao PC mais próximo.

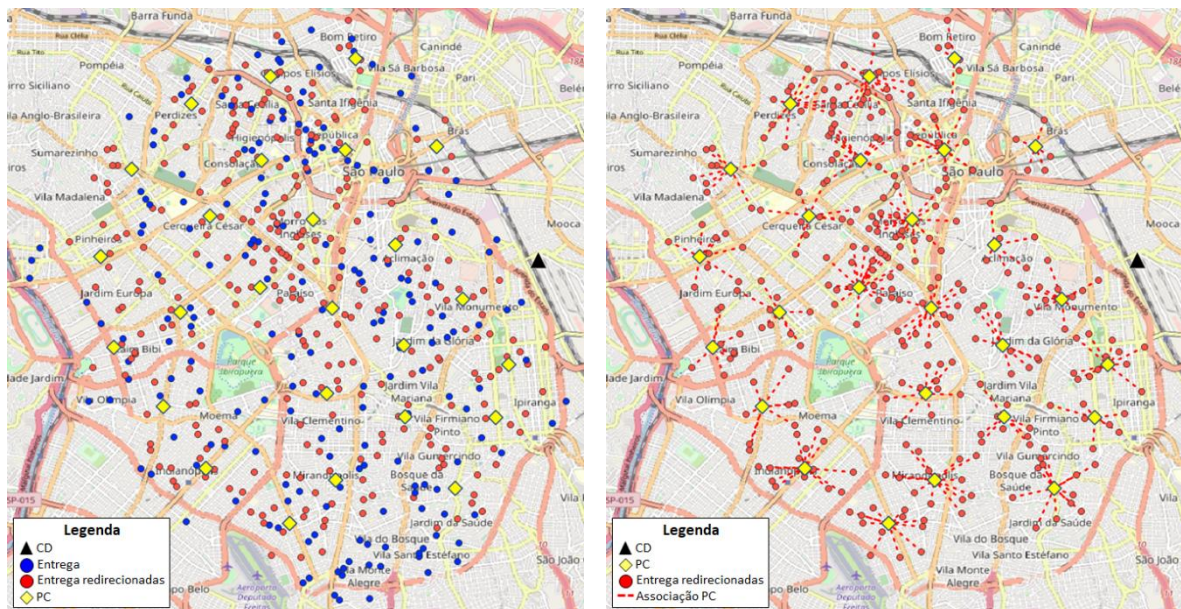


Figura 6-11: Clientes aleatórios para serem entregues por PC e seus respectivos PCs

A Figura 6-12 mostra os novos pontos de entrega (incluindo as entregas em seus endereços originais e os PCs de consolidação) que o operador logístico deve fazer, bem como seus respectivos roteiros, onde é possível observar a redução de 7 rotas (cenário base de referência) para 4 rotas (cenário com utilização de PCs).

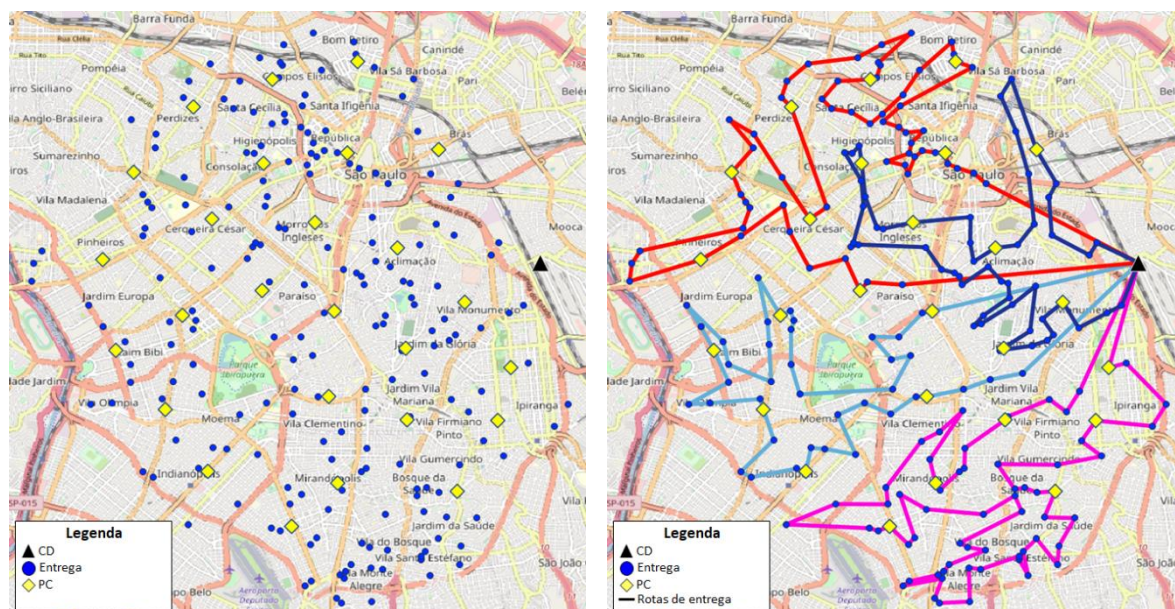


Figura 6-12: Novos pontos de entrega (incluindo PCs) e roteiros de entrega

6.3 Cenários de simulação e sua nomenclatura

Para apresentar todas as possibilidades de cenários considerando as possíveis variações de parâmetros propostas na seção 6.1, foram criadas as tabelas abaixo. Os cenários foram nomeados considerando o seguinte sistema de nomenclatura: Q equivale à densidade de pacotes (demanda), L equivale à distância de localização do centro de distribuição em relação a demanda, D equivale ao deslocamento percorrido pelo consumidor até o ponto de coleta e A equivale à adesão percentual do total da demanda ao modelo de PC, criando desta forma o seguinte padrão de nomenclatura: “Qxx,x_Lxx_Dx,x_Ax,x”.

Os cenários do tipo “Qxx,x_Lxx_SemPC” são utilizados como base de referência, ou seja, representam a operação de entrega domiciliar convencional sem utilização de pontos de coleta, afim de obter um parâmetro comparativo. Nestes cenários, não há deslocamento do consumidor até o PC (Q=0) nem taxa de adesão de utilização (A=0%).

Tabela 6-5: Nomenclatura dos cenários com 5,4 pacotes/km²

		Demanda = 500 Pacotes 5,4 pacotes/km ²		
Localização CD	Adesão	Deslocamento 0,8 km	Deslocamento 1,2 km	Deslocamento 1,6 km
Perto 3 km	0%	Q05,4_L03_SemPC		
	20%	Q05,4_L03_D0,8_A0,2	Q05,4_L03_D1,2_A0,2	Q05,4_L03_D1,6_A0,2
	40%	Q05,4_L03_D0,8_A0,4	Q05,4_L03_D1,2_A0,4	Q05,4_L03_D1,6_A0,4
	60%	Q05,4_L03_D0,8_A0,6	Q05,4_L03_D1,2_A0,6	Q05,4_L03_D1,6_A0,6
	80%	Q05,4_L03_D0,8_A0,8	Q05,4_L03_D1,2_A0,8	Q05,4_L03_D1,6_A0,8
Margem 15 km	0%	Q05,4_L15_SemPC		
	20%	Q05,4_L15_D0,8_A0,2	Q05,4_L15_D1,2_A0,2	Q05,4_L15_D1,6_A0,2
	40%	Q05,4_L15_D0,8_A0,4	Q05,4_L15_D1,2_A0,4	Q05,4_L15_D1,6_A0,4
	60%	Q05,4_L15_D0,8_A0,6	Q05,4_L15_D1,2_A0,6	Q05,4_L15_D1,6_A0,6
	80%	Q05,4_L15_D0,8_A0,8	Q05,4_L15_D1,2_A0,8	Q05,4_L15_D1,6_A0,8
Afastado 40 km	0%	Q05,4_L40_SemPC		
	20%	Q05,4_L40_D0,8_A0,2	Q05,4_L40_D1,2_A0,2	Q05,4_L40_D1,6_A0,2
	40%	Q05,4_L40_D0,8_A0,4	Q05,4_L40_D1,2_A0,4	Q05,4_L40_D1,6_A0,4
	60%	Q05,4_L40_D0,8_A0,6	Q05,4_L40_D1,2_A0,6	Q05,4_L40_D1,6_A0,6
	80%	Q05,4_L40_D0,8_A0,8	Q05,4_L40_D1,2_A0,8	Q05,4_L40_D1,6_A0,8

Tabela 6-6: Nomenclatura dos cenários com 10,7 pacotes/km²

		Demanda = 1000 pacotes 10,7 pacotes/km ²		
Localização CD	Adesão	Deslocamento 0,8 km	Deslocamento 1,2 km	Deslocamento 1,6 km
Perto 3 km	0%	Q10,7_L03_SemPC		
	20%	Q10,7_L03_D0,8_A0,2	Q10,7_L03_D1,2_A0,2	Q10,7_L03_D1,6_A0,2
	40%	Q10,7_L03_D0,8_A0,4	Q10,7_L03_D1,2_A0,4	Q10,7_L03_D1,6_A0,4
	60%	Q10,7_L03_D0,8_A0,6	Q10,7_L03_D1,2_A0,6	Q10,7_L03_D1,6_A0,6
	80%	Q10,7_L03_D0,8_A0,8	Q10,7_L03_D1,2_A0,8	Q10,7_L03_D1,6_A0,8
Margem 15 km	0%	Q10,7_L15_SemPC		
	20%	Q10,7_L15_D0,8_A0,2	Q10,7_L15_D1,2_A0,2	Q10,7_L15_D1,6_A0,2
	40%	Q10,7_L15_D0,8_A0,4	Q10,7_L15_D1,2_A0,4	Q10,7_L15_D1,6_A0,4
	60%	Q10,7_L15_D0,8_A0,6	Q10,7_L15_D1,2_A0,6	Q10,7_L15_D1,6_A0,6
	80%	Q10,7_L15_D0,8_A0,8	Q10,7_L15_D1,2_A0,8	Q10,7_L15_D1,6_A0,8
Afastado 40 km	0%	Q10,7_L40_SemPC		
	20%	Q10,7_L40_D0,8_A0,2	Q10,7_L40_D1,2_A0,2	Q10,7_L40_D1,6_A0,2
	40%	Q10,7_L40_D0,8_A0,4	Q10,7_L40_D1,2_A0,4	Q10,7_L40_D1,6_A0,4
	60%	Q10,7_L40_D0,8_A0,6	Q10,7_L40_D1,2_A0,6	Q10,7_L40_D1,6_A0,6
	80%	Q10,7_L40_D0,8_A0,8	Q10,7_L40_D1,2_A0,8	Q10,7_L40_D1,6_A0,8

Tabela 6-7: Nomenclatura dos cenários com 21,5 pacotes/km²

		Demanda = 2000 pacotes 21,5 pacotes/km ²		
Localização CD	Adesão	Deslocamento 0,8 km	Deslocamento 1,2 km	Deslocamento 1,6 km
Perto 3 km	0%	Q21,5_L03_SemPC		
	20%	Q21,5_L03_D0,8_A0,2	Q21,5_L03_D1,2_A0,2	Q21,5_L03_D1,6_A0,2
	40%	Q21,5_L03_D0,8_A0,4	Q21,5_L03_D1,2_A0,4	Q21,5_L03_D1,6_A0,4
	60%	Q21,5_L03_D0,8_A0,6	Q21,5_L03_D1,2_A0,6	Q21,5_L03_D1,6_A0,6
	80%	Q21,5_L03_D0,8_A0,8	Q21,5_L03_D1,2_A0,8	Q21,5_L03_D1,6_A0,8
Margem 15 km	0%	Q21,5_L15_SemPC		
	20%	Q21,5_L15_D0,8_A0,2	Q21,5_L15_D1,2_A0,2	Q21,5_L15_D1,6_A0,2
	40%	Q21,5_L15_D0,8_A0,4	Q21,5_L15_D1,2_A0,4	Q21,5_L15_D1,6_A0,4
	60%	Q21,5_L15_D0,8_A0,6	Q21,5_L15_D1,2_A0,6	Q21,5_L15_D1,6_A0,6
	80%	Q21,5_L15_D0,8_A0,8	Q21,5_L15_D1,2_A0,8	Q21,5_L15_D1,6_A0,8
Afastado 40 km	0%	Q21,5_L40_SemPC		
	20%	Q21,5_L40_D0,8_A0,2	Q21,5_L40_D1,2_A0,2	Q21,5_L40_D1,6_A0,2
	40%	Q21,5_L40_D0,8_A0,4	Q21,5_L40_D1,2_A0,4	Q21,5_L40_D1,6_A0,4
	60%	Q21,5_L40_D0,8_A0,6	Q21,5_L40_D1,2_A0,6	Q21,5_L40_D1,6_A0,6
	80%	Q21,5_L40_D0,8_A0,8	Q21,5_L40_D1,2_A0,8	Q21,5_L40_D1,6_A0,8

Tabela 6-8: Nomenclatura dos cenários com 32,2 pacotes/km²

		Demanda = 3000 pacotes 32,2 pacotes/km ²		
Localização CD	Adesão	Deslocamento 0,8 km	Deslocamento 1,2 km	Deslocamento 1,6 km
Perto 3 km	0%	Q32,2_L03_SemPC		
	20%	Q32,2_L03_D0,8_A0,2	Q32,2_L03_D1,2_A0,2	Q32,2_L03_D1,6_A0,2
	40%	Q32,2_L03_D0,8_A0,4	Q32,2_L03_D1,2_A0,4	Q32,2_L03_D1,6_A0,4
	60%	Q32,2_L03_D0,8_A0,6	Q32,2_L03_D1,2_A0,6	Q32,2_L03_D1,6_A0,6
	80%	Q32,2_L03_D0,8_A0,8	Q32,2_L03_D1,2_A0,8	Q32,2_L03_D1,6_A0,8
Margem 15 km	0%	Q32,2_L15_SemPC		
	20%	Q32,2_L15_D0,8_A0,2	Q32,2_L15_D1,2_A0,2	Q32,2_L15_D1,6_A0,2
	40%	Q32,2_L15_D0,8_A0,4	Q32,2_L15_D1,2_A0,4	Q32,2_L15_D1,6_A0,4
	60%	Q32,2_L15_D0,8_A0,6	Q32,2_L15_D1,2_A0,6	Q32,2_L15_D1,6_A0,6
	80%	Q32,2_L15_D0,8_A0,8	Q32,2_L15_D1,2_A0,8	Q32,2_L15_D1,6_A0,8
Afastado 40 km	0%	Q32,2_L40_SemPC		
	20%	Q32,2_L40_D0,8_A0,2	Q32,2_L40_D1,2_A0,2	Q32,2_L40_D1,6_A0,2
	40%	Q32,2_L40_D0,8_A0,4	Q32,2_L40_D1,2_A0,4	Q32,2_L40_D1,6_A0,4
	60%	Q32,2_L40_D0,8_A0,6	Q32,2_L40_D1,2_A0,6	Q32,2_L40_D1,6_A0,6
	80%	Q32,2_L40_D0,8_A0,8	Q32,2_L40_D1,2_A0,8	Q32,2_L40_D1,6_A0,8

Desta forma, com base na variação da demanda foram criados 4 grupos, cada um deles contendo 39 cenários onde são variadas a distância de localização do centro de distribuição, o deslocamento do consumidor e a adesão da demanda ao modelo de PC, totalizando 156 cenários distintos. Conforme o capítulo 5, cada cenário do tipo $Q_{x,x}$, $L_{x,x}$, $D_{x,x}$, $A_{x,x}$ foi executado 5 vezes, variando o peso, o volume e a localização de cada ponto de demanda, porém sem alterar o peso, o volume e a densidade total do cenário, com a finalidade de obter a média de um dia típico de entrega e evitar resultados fora de uma curva de normalidade por uma condição aleatória dos dados dos cenários. Assim, um total de 780 cenários foram executados.

7. RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são relatados os resultados dos cenários descritos no capítulo anterior, que correspondem a diferentes condições de utilização de PCs, apresentando comparativamente os valores obtidos de custos, quilometragem, tamanho da frota e quantidade de pontos de coleta em relação à operação convencional. Também são tratados aspectos de impacto ambiental, como a redução no consumo de combustível e consequente emissão de gases poluentes, assim como o impacto sofrido pelo consumidor ao ter que caminhar determinada distância uma vez que é implementado um modelo de entrega utilizando pontos de coleta.

O capítulo está segmentado em cinco seções, apresentando resultados inerentes a comparação da operação tradicional de entrega com a operação que utiliza PCs:

- A seção 7.1 consiste em uma análise inicial e exploratória dos custos unitários da operação, apresentando de forma isolada o impacto no custo por entrega associado a cada característica operacional (densidade de demanda (Q), localização do CD (L), distância de caminhada (D) e proporção de entregas para PC (A)).
- Na seção 7.2, são apresentados os percentuais de redução do custo total da operação: as análises são segmentadas por densidade de demanda ($Q = 5,4, 10,7, 21,5$ e $32,2$ pacotes/km²), pois foram encontrados padrões no comportamento da redução de custo associado a cada valor.
- A seção 7.3 apresenta os resultados dos indicadores de desempenho operacional associados a frota (como quantidade de veículos, distância percorrida e ocupação), aos PCs (como a quantidade de PCs necessária para cada nível de serviço proposto e quantidade de espaços necessários em cada PC para atender a demanda) e ao ambiente urbano (como o tempo de ocupação de vagas em via pública devido o estacionamento de veículos para realização de entregas) .
- Já a seção 7.4 traz uma análise da distância de caminhada percorrida pelos consumidores para coletar um pacote em um PC, mensurando de forma quantitativa o esforço de entrega transferido do operador logístico para os clientes.
- Por fim, a seção 7.5 apresenta a quantificação do impacto que uma operação com pontos de coleta pode ter nos indicadores de meio ambiente e

sustentabilidade em grandes centros urbanos, como o consumo de combustível e consequentemente a emissão de poluentes.

No APÊNDICE B são apresentados detalhadamente os resultados operacionais de custos, distâncias percorridas pelos veículos de entrega e pelos consumidores até os pontos de coleta, quantidade, ocupação, quantidade de paradas e quantidade de entregas realizadas pelos veículos utilizados, consumo de combustível, emissão de poluentes e quantidade de pontos de coleta utilizados de todos os cenários simulados. Estes dados são utilizados para definir em quais condições a utilização de PCs é favorável, e também para mensurar a diferença em comparação à operação de entrega em domicílio tradicional.

7.1 Custo unitário por entrega

Como é possível observar na Tabela 7-1, mesmo considerando a operação convencional de entrega (sem PC), as diferentes demandas (Q) e localizações dos centros de distribuição (L) por si só já têm impacto no custo unitário de entrega de cada pacote, que é calculado pela razão entre o custo total da operação (na subseção 6.1.2, onde são descritos os custos operacionais da frota) e a demanda. O aumento da demanda faz com que o custo operacional seja diluído por um maior número de pacotes, da mesma forma a maior proximidade entre o CD e a região de entrega faz com que o tempo disponível para entregas de cada veículo seja maior. Ambos os fatores cooperam para que o custo unitário seja menor, independente da utilização de pontos de coleta.

Tabela 7-1: Custo unitário de entrega para cenários sem PCs em R\$/pacote.

Localização CD	Densidade de pedidos (pacotes/km ²)			
	5,4	10,7	21,5	32,2
Perto (3km)	2,71	2,31	2,20	2,09
Margem (15km)	3,23	2,93	2,69	2,57
Afastado (40km)	3,62	3,38	3,16	3,06

No caso de operação de entrega com pontos de coleta, os resultados apontam redução de custo operacional em todos os cenários em que PCs fazem parte da operação em comparação a operação convencional. É importante examinar os impactos de cada um dos parâmetros operacionais isoladamente.

Todos os cenários são compostos pelos diferentes valores para cada um dos parâmetros operacionais, de forma que, para que seja possível realizar uma análise mais abrangente do impacto da variação destes parâmetros no custo unitário, foram colocados em evidência os valores respectivos de cada parâmetro e para os valores de média, mínimo

e máximo são calculados com base nos custos unitários de todos os cenários que possuem a mesma característica isolada. Por exemplo, se colocado o parâmetro de densidade de demanda ($Q=5,4; 10,7; 21,5; 32,2$) em evidência, para cada um deles serão calculadas as médias de custos unitários dos demais parâmetros operacionais ($L=03; 15; 27, D=0,8; 1,2; 1,6, A=0,2; 0,4; 0,6; 0,8$). Assim, para calcular a média do custo unitário para o parâmetro de demanda (Q) igual a 5,4 pacotes/km² por dia foram utilizados todos os cenários do tipo **Q05,4_Lxx_Dx,x_Ax,x**.

Isolar um parâmetro operacional possibilita observar de forma mais abrangente os impactos, observando a existência de maior influência no custo em comparação aos demais parâmetros. Os resultados dessas análises estão nas Tabela 7-2 (proporção de entregas para PCs), Tabela 7-3 (densidade de pedidos), Tabela 7-4 (localização do CD) e Tabela 7-5 (distância de caminhada).

A Tabela 7-2 evidencia o parâmetro de proporção de entregas direcionadas aos PCs (A). Diferente dos demais parâmetros da operação, a variação deste parâmetro demonstrou impacto significativo na variação do custo unitário na operação, já que é possível observar que cada aumento na faixa de adesão demonstra um percentual médio de redução do custo unitário de pelo menos 11%, podendo chegar até a 16%.

Tabela 7-2: Impacto no custo unitário relacionado à proporção de entregas para PCs

Utilização de PC	Adesão	Média	Máximo	Mínimo	% médio de redução
Sem PC	0	2,83	3,63	2,08	0%
	20%	2,49	3,61	1,77	-12%
Com PC	40%	2,04	3,19	1,40	-28%
	60%	1,61	2,45	1,24	-43%
	80%	1,31	1,71	0,87	-54%

Em uma operação sem pontos de coleta, o custo médio unitário é de R\$2,83/pacote. A implementação de uma operação com apenas 20% dos pacotes direcionados a pontos de coleta reduz o custo para R\$2,49/pacote, ou seja, 12% menor; já comparado com uma operação onde 80% dos pacotes serão direcionados a PCs, o custo unitário médio passa a ser 54%, ou seja, R\$1,31/pacote.

Colocando em evidência a variável de densidade de pedidos (Q) (Tabela 7-3), observou-se que as porcentagens médias de redução do custo unitário tiveram variações pequenas (redução entre 32% e 36%). Quando a demanda (Q) é de 5,4 pacotes/km², a porcentagem média de redução do custo unitário é de 32%; já quando a demanda é de 21,5 pacotes/km², (i.e., quatro vezes maior), a porcentagem de redução do custo unitário é de 36%, ou seja, ainda que a demanda seja 4 vezes maior, a redução média teve variação de

apenas 4%. Fica ainda mais evidente que a operação com PCs proporciona um percentual de redução de custo aproximado, independente da densidade da demanda. Essa condição pode ser comprovada quando comparadas as demandas de 21,5 pacotes/km² com a de 32,2 pacotes/km², uma vez que a demanda é 50% maior, mas a porcentagem média de redução do custo unitário se manteve a mesma, ou seja, 36%.

As baixas variações na porcentagem média de redução de custos, neste caso, ocorrem porque o percentual de redução de custo unitário sofre maior influência da proporção de pacotes enviados para os PCs (A) do que a própria variação da demanda (Q).

Tabela 7-3: Impacto no custo unitário relacionado a densidade de pedidos

Densidade de pedidos (pacotes/km ²)	Utilização de PC	Média (R\$/pacote)	Máximo (R\$/pacote)	Mínimo (R\$/pacote)	% médio de redução
5,4 (500 pacotes)	Sem PC	3,19	3,63	2,70	-32%
	Com PC	2,18	3,61	1,27	
10,7 (1000 pacotes)	Sem PC	2,87	3,39	2,30	-34%
	Com PC	1,90	3,00	1,15	
21,5 (2000 pacotes)	Sem PC	2,68	3,17	2,19	-36%
	Com PC	1,73	2,88	0,97	
32,2 (3000 pacotes)	Sem PC	2,57	3,09	2,08	-36%
	Com PC	1,64	2,64	0,87	

É possível ressaltar que, conforme a densidade da demanda aumenta, o custo unitário máximo tem comportamento distinto para grupo de demanda (500, 1.000, 2.000 e 3.000 pacotes). Para os cenários onde a densidade (Q) é de 5,4 pacotes/km², o custo unitário máximo mostra uma redução de apenas 1% (R\$0,02) entre as operações com e sem PCs (de R\$3,63 para R\$3,61) evidenciando uma operação de custos equivalentes. Essa condição foi resultado do cenário Q05,4_L40_D0,8_A0,2 que possui por característica o menor potencial de consolidação da pacotes em PCs, com a menor densidade de demanda (Q), maior distância do CD (L), menor distância de caminhada do consumidor (D) e menor percentual de adesão (A) ao modelo de PC. Para todos os demais grupos de densidade de demanda, o custo unitário máximo teve variação entre 9% (de R\$3,17 para R\$2,88) e 15% (de R\$3,09 para R\$2,64), podendo assim concluir que cenários com densidades iguais ou superiores a 10,7 pacotes/km² garantem uma redução do custo unitário superior a 9%, mesmo nos cenários de o menor potencial de consolidação.

Quando evidenciada apenas a demanda (Tabela 7-3), os custos unitários médios das operações sem PCs variam entre R\$3,19 (5,4 pacotes/km²) e R\$2,57 (32,2 pacotes/km²). Comparativamente, o maior custo unitário médio de uma operação com pontos de coleta é de R\$2,18, ou seja, ainda é menor do que o menor custo unitário médio de uma operação sem pontos de coleta. Isso demonstra que a implementação de uma operação com pontos de

coleta tem maior potencial de redução de custo do que a eventual diminuição do custo causada pelo aumento da demanda. Desta forma, conclui-se que a densidade de entregas não tem influência significativa na redução do custo unitário.

Na Tabela 7-4, observa-se a influência da distância entre o centro de distribuição e a região de entrega. Conforme esperado, o custo unitário aumenta em todos os cenários conforme aumenta a distância do CD com relação a região em que serão realizadas as entregas, isto porque quanto mais tempo o veículo leva se deslocando até a região, menor é o tempo disponível para entregas, reduzindo assim a quantidade de pacotes entregues por veículo e, conseqüentemente, o custo do veículo é dividido por uma quantidade menor de pacotes.

Em uma operação sem pontos de coleta, o custo unitário médio vai de R\$2,33/pacote (CD a 3 km) até R\$3,30/pacote (CD a 40 km), ou seja, há variação de aproximadamente 41% do valor. Já numa operação com pontos de coleta, o custo unitário médio vai de R\$1,56/pacote (CD a 3 km) até R\$2,15/pacote (CD a 40 km), acompanhando assim a variação de custo, que neste caso é de 38%.

Tabela 7-4: Impacto no custo unitário relacionado a localização do CD

Localização do CD	Utilização de PC	Média (R\$/pacote)	Máximo (R\$/pacote)	Mínimo (R\$/pacote)	% médio de redução
Perto (3km)	Sem PC	2,33	2,72	2,08	-33%
	Com PC	1,56	2,37	0,87	
Margem (15km)	Sem PC	2,85	3,25	2,56	-34%
	Com PC	1,87	3,23	1,10	
Afastado (40km)	Sem PC	3,30	3,63	3,01	-35%
	Com PC	2,15	3,61	1,21	

Semelhante à análise do impacto da demanda, o percentual médio de redução do custo unitário teve variações pouco significativas, uma vez que a redução foi de 33% quando o CD estava a 3km do local das entregas e de 35% quando o CD estava a 40 km do local das entregas, ou seja, o percentual de redução médio do custo unitário variou 2% ainda que distância do CD tenha aumentado em aproximadamente 13 vezes. Desta forma, conclui-se que a operação com PCs proporciona um percentual de redução de custo aproximado, independente da distância do CD.

Com relação à distância de caminhada até os PCs, (Tabela 7-5), é possível observar que há redução média de 34% no custo unitário, porém o percentual médio de redução do custo unitário também teve variações pouco significativas com relação a distância de caminhada, uma vez que dobrá-la (de 0,8km para 1,6km) aumenta a redução de custo em apenas 2% (de 33% para 35%), equivalente a R\$0,08/pacote. Desta forma, conclui-se que a

implantação de uma operação com PCs proporciona redução de custos equivalentes, independente da distância de caminhada, pois a variação dessa distância manteve a média de percentual de redução do custo.

Tabela 7-5: Impacto no custo unitário relacionado a distância de caminhada

Utilização de PC	Distância de caminhada (km)	Média (R\$/pacote)	Máximo (R\$/pacote)	Mínimo (R\$/pacote)	% médio de redução
Sem PC	0	2,83	3,63	2,08	0%
	0,8	1,91	3,61	1,01	-33%
Com PC	1,2	1,85	3,59	0,97	-34%
	1,6	1,83	3,59	0,87	-35%

7.2 Redução de custo total da operação

Na seção 7.1 foi feita uma análise dos custos unitários segmentados por cada um dos parâmetros de simulação, onde foi apontada a influência da adesão ao modelo de PCs como principal fator de impacto na redução do custo.

Conforme a tabela de resultados apresentada no APÊNDICE B, os custos totais para cada cenário são muito distintos, devido a fatores como o aumento da demanda ou da distância da localização do CD, que demandam uma quantidade maior de veículos ou aumentam a distância percorrida (e conseqüentemente maiores custos operacionais). Sendo assim, a comparação entre os custos totais das operações não é a forma mais adequada para definir em que condições pontos de coleta podem ser mais eficientes que entregas em domicílio, então foi utilizado o percentual de redução de custo total que uma operação com PC possibilita quando comparada com sua respectiva operação tradicional de entrega como métrica de análise. Dessa forma, é possível comparar a eficiência de PCs mesmo em cenários com parâmetros operacionais bastante distintos, como por exemplo, a comparação entre cenários com densidade de demanda 6 vezes maior (que é o caso dos cenários Q0,54 e Q32,2).

Então, nessa seção será abordada a redução percentual média do custo total da operação (composto pelos custos fixos por veículo e custos variáveis equivalentes a distância percorrida, conforme subseção 6.1.2) que a implementação de PCs possibilita em relação a uma operação de entrega convencional.

A análise dos resultados mostrou que as operações com mesma densidade de demanda (Q) possuem percentual de redução de custos semelhantes e, portanto, essa seção será segmentada por esse parâmetro da operação. A proporção de entregas destinadas aos PCs (A), localização de CD (L) e a distância de caminhada (D) serão analisadas de forma mais detalhada para cada valor de densidade de demanda.

A Figura 7-1 mostra a média percentual de redução do custo calculada para cada cenário quando comparada com o respectivo cenário de referência sem PC (Qxx,x_Lxx_SemPC), bem como a amplitude (mínimo e máximo) dos percentuais de redução decorrentes da variação dos parâmetros operacionais não evidenciados na figura (localização do CD e distância de caminhada). O eixo horizontal está organizado segundo a demanda (Q) e proporção de pacotes destinados aos PCs (A).

É importante ressaltar que as variações de qualquer um dos parâmetros operacionais sempre resultaram na redução de custo da operação, uma vez que a utilização de pontos de coleta com densidade da demanda (Q), proporção de entregas direcionadas aos PC (A), localização dos centros de distribuição (L) e distância de deslocamento do consumidor para a coleta (D) geram uma menor necessidade de veículos para a operação e menor distância percorrida por cada veículo.

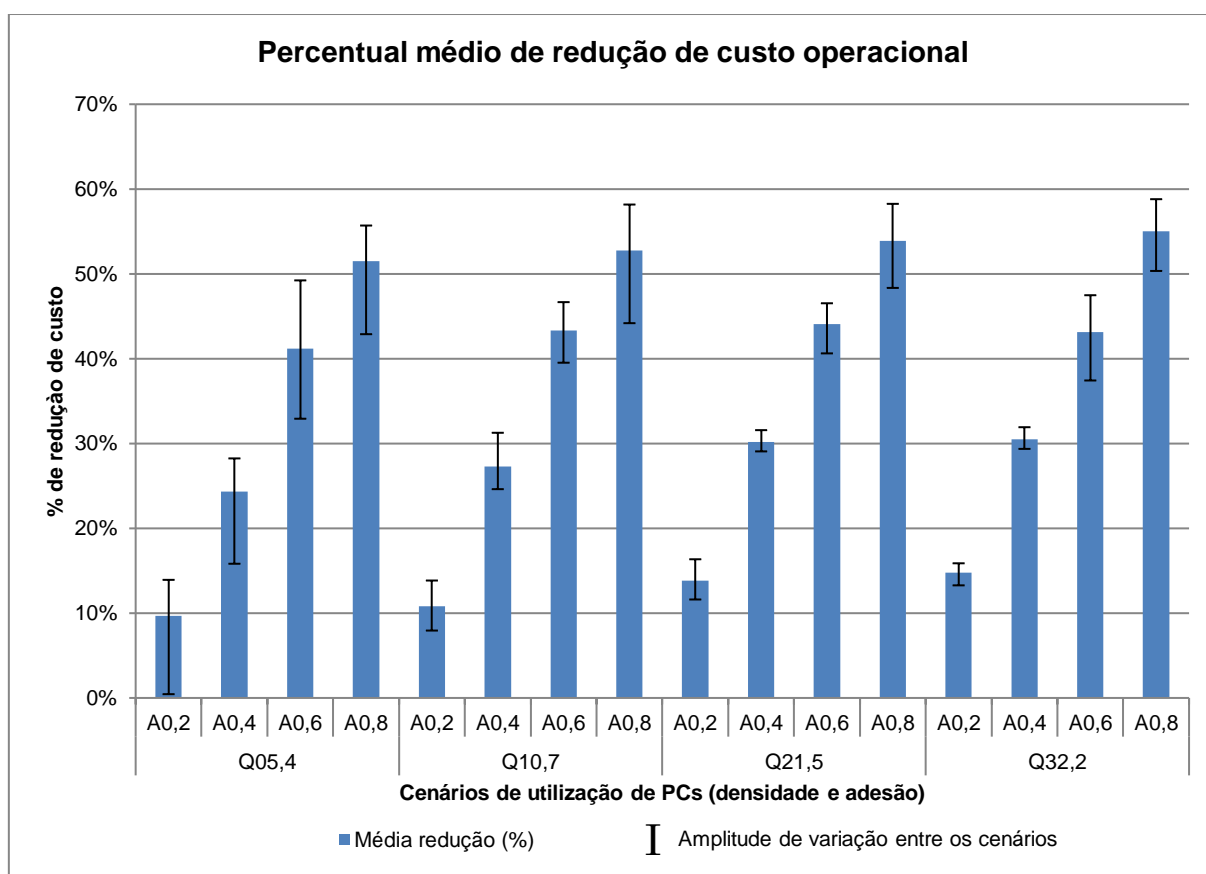


Figura 7-1: Gráfico de percentual de redução de custo

Nota-se que conforme as densidades de pacotes (Q) aumentam, as amplitudes de variação de redução de custo (em termos percentuais) ficam menores. Por exemplo: o valor mínimo de redução de custo para A=0,2 e Q=05,4 é de aproximadamente 0% e o máximo é de 14%, já quando se mantem A=0,2 e altera-se Q=10,7 o mínimo é de 8% e o máximo é de 14%. No primeiro caso, a amplitude dos resultados varia em 14%, e no segundo apenas 6%.

Esse comportamento se aplica para os demais cenários e, dessa forma, é possível concluir que quanto maior for a demanda (Q), menor será o impacto da alteração dos parâmetros de localização do CD (L) e distância de caminhada (D) nos percentuais de redução de custo para as operações com PCs.

7.2.1 Demanda de 5,4 pacotes/km² (500 pacotes/dia)

Quando a demanda Q assume o menor valor selecionado para esse estudo (500 pacotes por dia, equivalente a 5,4 pacotes/km²), em cada parâmetro de simulação (A=proporção de entregas em PCs, L=localização do CD e D=distância de caminhada) que possibilita a consolidação de carga é possível observar uma tendência linear crescente de redução de custo (Figura 7-2), considerando adesão (A), localização do CD (L) e distância de caminhada (D), nessa ordem. Conforme já afirmado anteriormente, a adesão é a característica de maior influência na redução de custo, porém pode ser observado que os PC proporcionam uma maior redução percentual de custo para CD localizados mais próximos da demanda (L03) do que para CD mais afastados (L40), e da mesma forma a redução de custo é maior para operações onde os consumidores caminham mais (D1,6) quando comparadas as menores distâncias de caminhada (D0,8 e D1,2).

Entretanto, a variação na quantidade de veículos utilizada pode, pontualmente, ter um impacto significativo na redução de custo, e quanto menor for a frota resultante, mais expressivo será o impacto. Por exemplo, reduzir o número de veículos de uma operação de 4 para 3, é equivalente a uma redução de 25% do custo fixo, e em comparação a uma operação que reduz o número de veículos de 10 para 9, o custo fixo reduz apenas 10%. Da mesma forma, a quilometragem percorrida pelos veículos afeta menos o custo total, pois altera apenas a parcela de custo variável da operação.

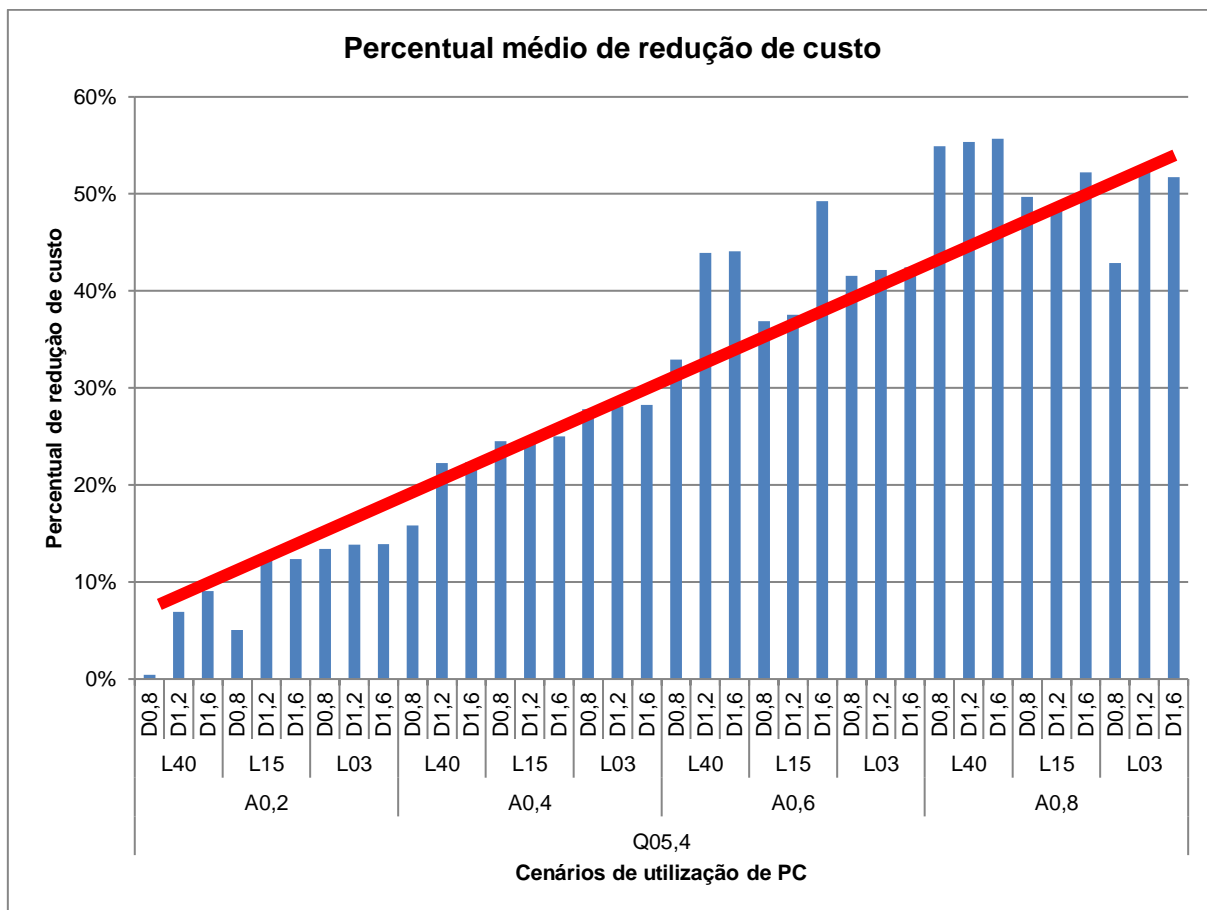


Figura 7-2: Cenários Q05,4 - Percentual de redução de custo

Conforme apresentado na Tabela 7-6, nos cenários base (Sem PCs) onde é variada apenas a distância do centro de distribuição, foram necessários 9 furgões leves para a operação com CD afastado, 8 furgões leves para a operação com CD na margem do perímetro urbano e 7 furgões leves para a operação com CD próximo à região das entregas de pacotes.

- a) Com 20% de pacotes destinados a PCs, há uma redução média de 10% dos custos. Nos cenários onde há redução de um veículo, a média de redução de custos é de 12%, já nos cenários onde a redução de custos está atrelada exclusivamente a redução de quilometragem percorrida, a redução é inferior a 3%;
- b) Com 40% de pacotes destinados a PCs, há uma redução média de 24% dos custos. Em todos os cenários houve redução de 2 veículos, com exceção do cenário "Q05,4_L40_D0,8_A0,4", onde houve redução de apenas 1 veículo por ser o cenário com menor potencial de consolidação da pacotes (maior distância do CD e menor distância de caminhada); A maior distância do CD já acarreta em veículos com menos tempo de entrega e com menor percentual de ocupação da capacidade, dificultado a redução da frota.

- c) Com 60% de pacotes destinados a PCs, há uma redução média de 41% dos custos. Houve pico de redução de custos nos cenários “Q05,4_L15_D1,6_A0,6”, “Q05,4_L40_D1,2_A0,6” e “Q05,4_L40_D1,6_A0,6”, onde foi possível reduzir 4 veículos, ou seja, um a mais em comparação com os outros cenários de 60% de adesão onde a redução foi de 3 veículos;
- d) Com 80% de adesão, há uma redução média de 51% dos custos. Houve pico na redução de custos nos cenários do tipo “Q05,4_L40_Dx,x_A0,8” onde independentemente da distância percorrida pelo consumidor até o PC foi possível reduzir 5 veículos com relação ao cenário base. Nos cenários “Q05,4_L03_D1,2_A0,8” e “Q05,4_L03_D1,6_A0,8”, a consolidação da carga permitiu substituir dois furgões leves por uma van, acarretando uma redução de custos maior se comparada com o “Q05,4_L03_D0,8_A0,8”.

Para os cenários com densidade equivalente a 5,4 pacotes/km² (500 pacotes por dia), a adesão (A) é o principal parâmetro que influencia na redução de custo, onde é possível determinar o padrão de redução de 1 veículo para cada 20% de aumento no parâmetro.

Os parâmetros de distância do CD (L) e distância de caminhada (D) representam um papel menos expressivo na redução de custo, pois apenas em situações mais isoladas a alteração desses parâmetros possibilitaram a redução de 1 veículo a mais que o padrão observado. Porém essas situações são menos frequentes nos maiores percentuais de adesão (A), onde em 7 dos 9 dos cenários com A=0,8 utilizam os mesmos 4 veículos e a alteração desses parâmetros não gera impacto maior que 6% na redução do custo (redução associada apenas a redução de quilometragem).

Tabela 7-6: Cenários Q05,4 - Redução de custo e quantidade de veículos requeridos

Densidade	Adesão	Localização CD	Deslocamento	% Redução Custo	# Veículos
Q05,4	SemPC	L40	SemPC	0%	9
Q05,4	SemPC	L15	SemPC	0%	8
Q05,4	SemPC	L03	SemPC	0%	7
Q05,4	A0,2	L40	D0,8	0%	9
Q05,4	A0,2	L40	D1,2	7%	8
Q05,4	A0,2	L40	D1,6	9%	8
Q05,4	A0,2	L15	D0,8	5%	8
Q05,4	A0,2	L15	D1,2	12%	7
Q05,4	A0,2	L15	D1,6	12%	7
Q05,4	A0,2	L03	D0,8	13%	6
Q05,4	A0,2	L03	D1,2	14%	6
Q05,4	A0,2	L03	D1,6	14%	6
Q05,4	A0,4	L40	D0,8	16%	8
Q05,4	A0,4	L40	D1,2	22%	7
Q05,4	A0,4	L40	D1,6	22%	7
Q05,4	A0,4	L15	D0,8	25%	6
Q05,4	A0,4	L15	D1,2	25%	6
Q05,4	A0,4	L15	D1,6	25%	6
Q05,4	A0,4	L03	D0,8	28%	5
Q05,4	A0,4	L03	D1,2	28%	5
Q05,4	A0,4	L03	D1,6	28%	5
Q05,4	A0,6	L40	D0,8	33%	6
Q05,4	A0,6	L40	D1,2	44%	5
Q05,4	A0,6	L40	D1,6	44%	5
Q05,4	A0,6	L15	D0,8	37%	5
Q05,4	A0,6	L15	D1,2	38%	5
Q05,4	A0,6	L15	D1,6	49%	4
Q05,4	A0,6	L03	D0,8	42%	4
Q05,4	A0,6	L03	D1,2	42%	4
Q05,4	A0,6	L03	D1,6	42%	4
Q05,4	A0,8	L40	D0,8	55%	4
Q05,4	A0,8	L40	D1,2	55%	4
Q05,4	A0,8	L40	D1,6	56%	4
Q05,4	A0,8	L15	D0,8	50%	4
Q05,4	A0,8	L15	D1,2	50%	4
Q05,4	A0,8	L15	D1,6	52%	4
Q05,4	A0,8	L03	D0,8	43%	4
Q05,4	A0,8	L03	D1,2	52%	3
Q05,4	A0,8	L03	D1,6	52%	3

7.2.2 Demanda de 10,7 pacotes/km² (1.000 pacotes/dia)

Quando a demanda é 1.000 pacotes por dia, equivalente a Q=10,7 pacotes/km², a tendência de redução está mais associada ao percentual de pacotes direcionados aos pontos de coleta (A) do que quando a demanda é de 5,4 pacotes/km

Com a densidade de demanda 10,7 pacotes/km², foi possível observar as seguintes reduções médias de custos, comparadas com a densidade de 5,4 pacotes/km²:

- a) 11% nos cenários de 20% de adesão (em média 1% maior);

- b) 27% nos cenários de 40% de adesão (em média 3% maior);
- c) 43% nos cenários de 60% de adesão (em média 2% maior);
- d) 53% nos cenários de 80% de adesão (em média 2% maior);

Ainda sobre os percentuais de adesão (A), isto é, pacotes direcionados aos PCs, foi possível observar que para cada cenário as amplitudes (mínimo e máximo) se aproximaram das médias dos valores, como é o exemplo dos cenários do tipo **Q05,4_Lxx_Dx,x_A0,6** que variam a redução de custos entre 33% e 49%, ou seja, 16 pontos percentuais de diferença entre eles e tem como média 41%, comparado com os cenários do tipo **Q10,7_Lxx_Dx,x_A0,6**, que variam a redução de custos entre 40% e 47%, ou seja, 7 pontos percentuais de diferença e tem como média 43%. Isso evidencia mais uma vez que o aumento da densidade da demanda (Q) minimiza o impacto que alteração dos parâmetros de localização do CD (L) e distância de caminhada (D) trazem nos percentuais de redução de custo para as operações com PCs.

A Tabela 7-7 mostra a média, mínimo, máximo e dispersão/amplitude dos percentuais de redução para os parâmetros de adesão (A) e densidade de demanda (Q). Neste caso, foi definido com dispersão/amplitude a diferença entre os percentuais de mínimo e máximo de cada cenário, apresentando a variação resultante dos parâmetros não mostrados (distância do CD (L) e distância de caminhada (D)).

Tabela 7-7: Média, mínimo e máximo das reduções de custo

Adesão	Densidade	Percentual de redução de custo			
		Média	Mínimo	Máximo	Amplitude/dispersão
A0,2	Q05,4	10%	0%	14%	13%
A0,2	Q10,7	11%	8%	14%	6%
A0,4	Q05,4	24%	16%	28%	12%
A0,4	Q10,7	27%	25%	31%	7%
A0,6	Q05,4	41%	33%	49%	16%
A0,6	Q10,7	43%	40%	47%	7%
A0,8	Q05,4	51%	43%	56%	13%
A0,8	Q10,7	53%	44%	58%	14%

A Figura 7-3 mostra a comparação entre os percentuais de redução (média, mínimo e máximo) para os cenários com densidade de demanda de 5,4 e 10,7 pacotes/km² e com 40% e 60% de adesão ao modelo de PCs. Podem ser observados dois comportamentos dos resultados que comprovam que o aumento da densidade (Q) promove o aumento da influência do parâmetro de adesão (A) e redução do impacto causado pelos diferentes valores assumidos pelos parâmetros de distância do CD (L) e distância de caminhada (D), na redução de custo, que são:

- a) Conforme mostra a Tabela 7-7, o valor da amplitude (dispersão) entre os percentuais de redução de custo mínimo e máximo são sempre menores para os cenários onde a demanda (Q) é de 10,7 pacotes/km², ou seja, a variação dos parâmetros de distância do CD (L) e distância de caminhada (D) causam uma variação menor da redução de custo, se comparados com os mesmos cenários da demanda de 5,4 pacotes/km².
- b) A redução da amplitude (dispersão) entre os percentuais de redução de custo mínimo e máximo para cada cenário de adesão (A) deixaram mais evidente e segmentado a uniformidade de redução de custo associada a adesão. Conforme mostra a Figura 7-3, para a demanda de 5,4 pacotes/km², a diferença percentual de redução de custo para o maior valor de A=0,4 e o menor valor de A=0,6 é de 5%, e já no caso da demanda 10,7 pacotes/km², esse valor aumenta para 9%, ou seja, a redução de custo está mais segmentada e associada ao valor da adesão (A) com o aumento da densidade da demanda.

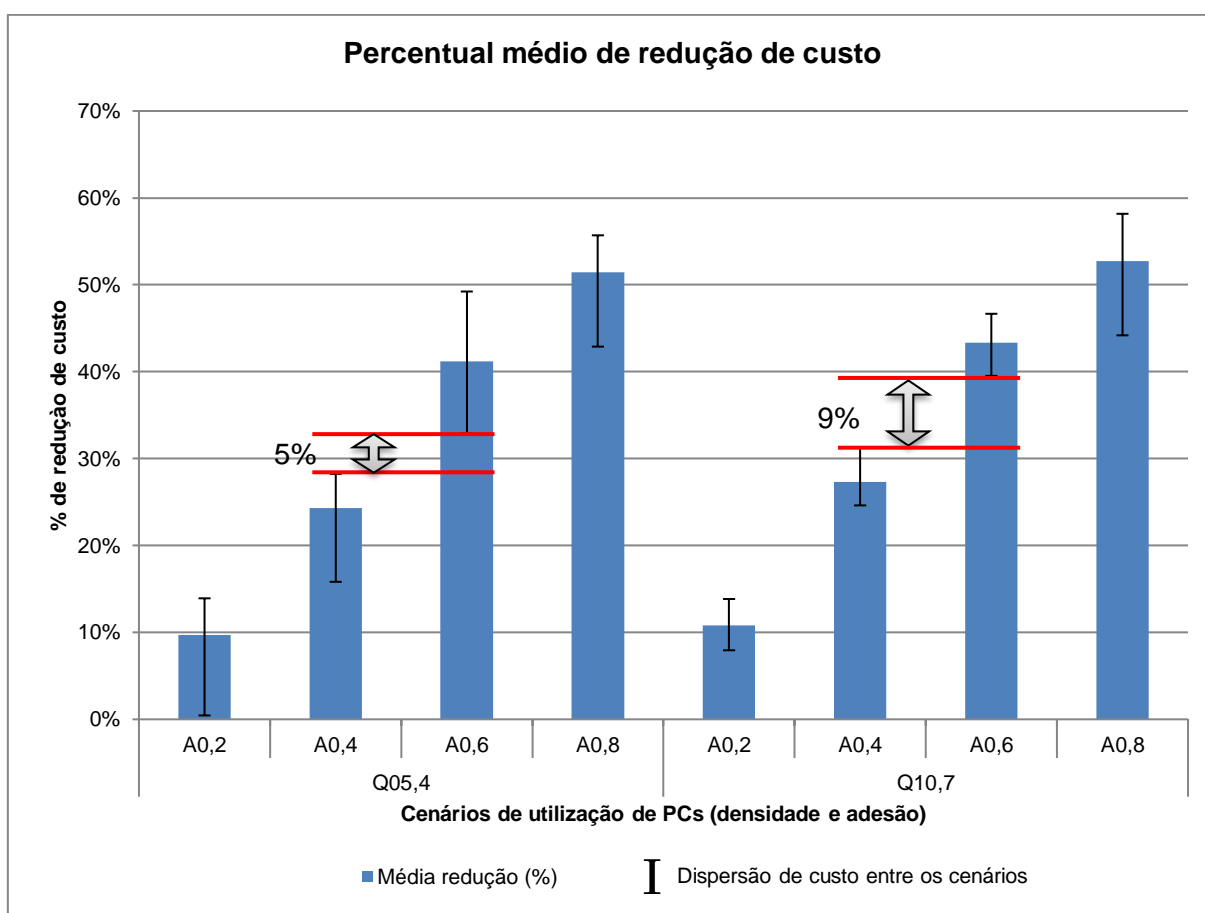


Figura 7-3: Comparação da redução de custo entre os cenários de 40% e 60% de adesão

Dessa forma, os dois comportamentos descritos acima mostram a uniformidade de redução de custo associada a adesão e baixa influência causada pela variação dos parâmetros de distância do CD e distância de caminhada. Assim, confirmando que as reduções de custo proporcionadas pela implementação de PCs têm a adesão (A) como principal parâmetro de influência e os parâmetros de distância do CD (L) e distância de caminhada (D) causam menor impacto conforme aumenta a densidade de pedidos.

7.2.3 Demandas de 21,5 pacotes/km² (2.000 pacotes/dia) e 32,2 pacotes/km² (3.000 pacotes/dia)

As demandas de $Q=21,5$ pacotes/km² (2.000 pacotes/dia) e $Q=32,2$ pacotes/km² (3.000 pacotes/dia) apresentam resultados de percentual de redução de custos semelhantes e a mesma análise pode ser aplicada para ambas as densidades de demanda.

Para a demanda de 2.000 pacotes por dia (21,5 pacotes/km²), nos cenários base (Sem PC) foram necessários 32 furgões leves para a operação com CD afastado, 27 furgões leves para a operação com CD na margem do perímetro urbano e 23 furgões leves para a operação com CD próximo à região das entregas de pacotes. Para a demanda de 32,2 pacotes/km², nos cenários base (Sem PC) foram necessários 47 furgões leves para a operação com CD afastado, 39 furgões leves para a operação com CD na margem do perímetro urbano e 33 furgões leves para a operação com CD próximo à região das entregas de pacotes. O aumento da densidade de demanda (Q) em 50% aumentou aproximadamente 45% a quantidade de veículos necessários para a operação, porém, conforme mostrado na Tabela 7-8, os percentuais de redução de custo não sofrem variações significativas para os valores de demanda ($Q_{21,5}$ e $Q_{32,2}$) para cada valor de adesão (A), distância do CD (L) e distância de caminhada (D).

Para os cenários com 2.000 e 3.000 pacotes por dia (equivalentes a 21,5 e 32,2 pacotes/km² de demanda), a média de redução de custos onde a adesão ao modelo de PC foi de 20% é de 14% (com mínimo de 12% e máximo de 16%); para adesão de 40%, a redução média de custos foi de 30% (com mínimo de 29% e máximo de 32%); quando a adesão foi de 60%, a redução média de custos foi de 44% (com mínimo de 37% e máximo de 47%); e para 80% da demanda direcionada para PC, a redução de custos foi de 54% (com mínimo de 48% e máximo de 59%), conforme Tabela 7-8. Dessa forma fica mais evidente que a adesão é o parâmetro mais relevante para a redução do custo, pois as variações das outras características mantiveram médias de reduções aproximadas.

Tabela 7-8: Comparação da redução de custo entre os cenários de Q21,5 e Q32,2 de densidade

Adesão	Localização CD	Deslocamento	Densidade	
			Q21,5	Q32,2
A0,2	L03	D0,8	13%	14%
A0,2	L03	D1,2	14%	15%
A0,2	L03	D1,6	16%	15%
A0,2	L15	D0,8	14%	13%
A0,2	L15	D1,2	14%	15%
A0,2	L15	D1,6	14%	16%
A0,2	L40	D0,8	12%	14%
A0,2	L40	D1,2	13%	15%
A0,2	L40	D1,6	15%	16%
A0,4	L03	D0,8	30%	31%
A0,4	L03	D1,2	30%	30%
A0,4	L03	D1,6	30%	29%
A0,4	L15	D0,8	29%	30%
A0,4	L15	D1,2	29%	30%
A0,4	L15	D1,6	32%	30%
A0,4	L40	D0,8	29%	31%
A0,4	L40	D1,2	31%	32%
A0,4	L40	D1,6	31%	31%
A0,6	L03	D0,8	42%	40%
A0,6	L03	D1,2	41%	37%
A0,6	L03	D1,6	41%	38%
A0,6	L15	D0,8	45%	45%
A0,6	L15	D1,2	45%	44%
A0,6	L15	D1,6	44%	44%
A0,6	L40	D0,8	46%	46%
A0,6	L40	D1,2	47%	47%
A0,6	L40	D1,6	46%	47%
A0,8	L03	D0,8	48%	50%
A0,8	L03	D1,2	49%	52%
A0,8	L03	D1,6	55%	55%
A0,8	L15	D0,8	51%	53%
A0,8	L15	D1,2	54%	54%
A0,8	L15	D1,6	54%	56%
A0,8	L40	D0,8	57%	58%
A0,8	L40	D1,2	57%	58%
A0,8	L40	D1,6	58%	59%

Nos cenários onde a adesão é de 60% (**Q21,5_Lxx_Dx,x_A0,6** e **Q32,2_Lxx_Dx,x_A0,6**) e 80% (**Q21,5_Lxx_Dx,x_A0,8** e **Q32,2_Lxx_Dx,x_A0,8**) é possível observar uma diminuição no potencial de redução de custos conforme o CD fica mais perto da demanda (Figura 7-4 e Figura 7-5), uma vez que o maior restrição deixa de ser o tempo e passa a ser a capacidade do veículo, tema que será abordado em maiores detalhes na subseção 7.3.2; em ambos os gráficos, o eixo horizontal está organizado por quantidade de entregas destinadas a PCs (A), localização do CD (L) e distância de caminhada (D). Por

este mesmo motivo é possível notar a necessidade de substituição de furgões leves por vans, que tem um custo maior em função de uma maior capacidade em volume de carga.

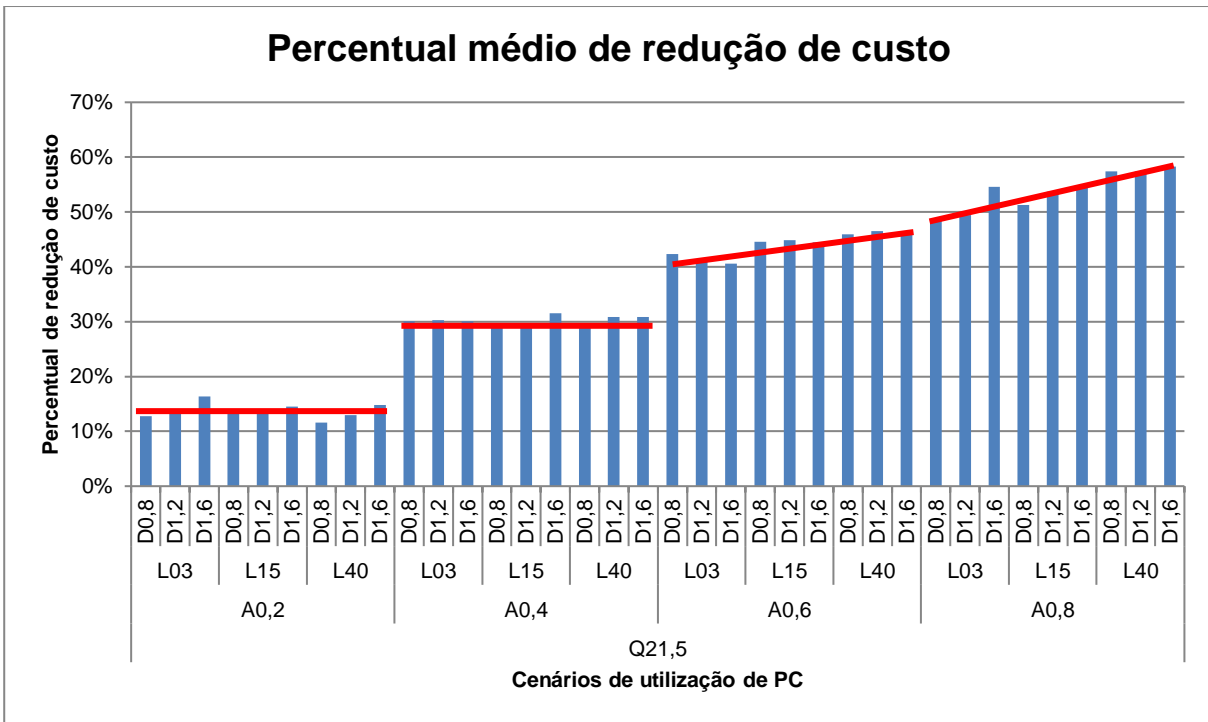


Figura 7-4: Cenários Q21,5 - Percentual de redução de custo

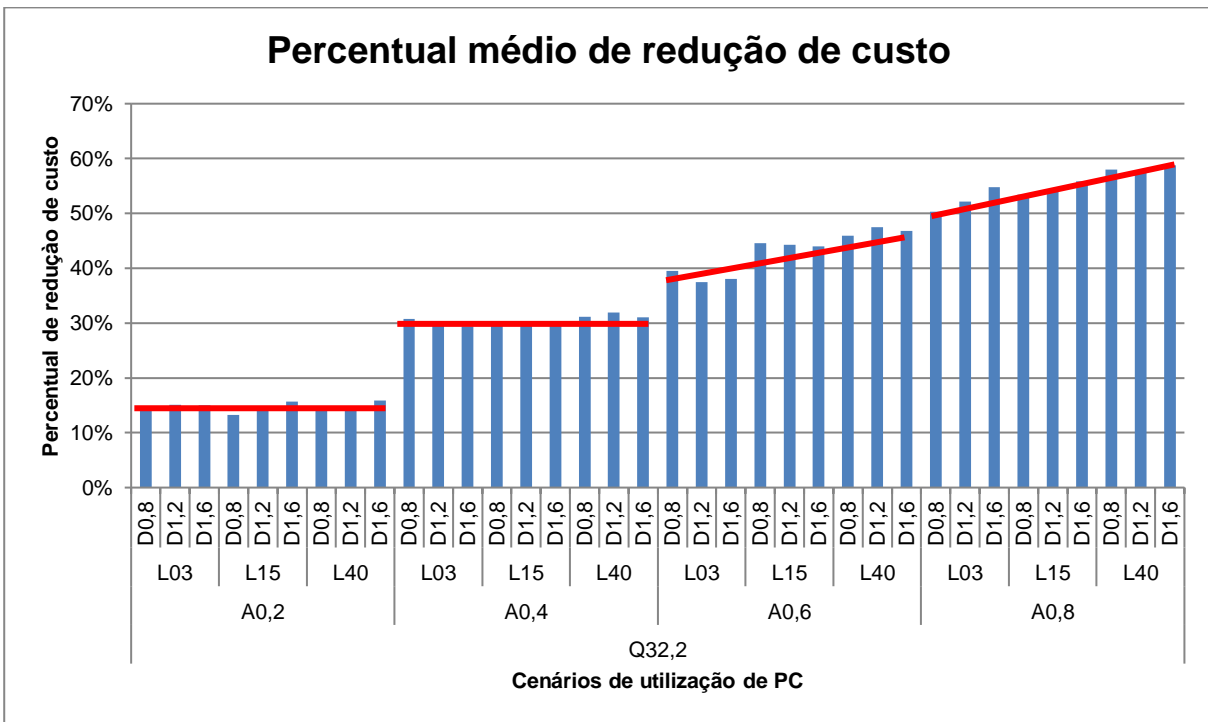


Figura 7-5: Cenários Q32,2 - Percentual de redução de custo

7.3 Desempenho operacional

Nesta seção são discutidos os resultados da comparação do desempenho operacional de uma operação de entregas no modelo tradicional com uma operação de entregas utilizando o modelo utilizando pontos de coleta.

O desempenho operacional foi medido de acordo com os seguintes indicadores, que serão detalhados em um tópico desta seção:

- A quantidade de veículos utilizados na operação e a quilometragem percorrida por cada veículo, estes indicadores independem da distância percorrida pelo usuário até o PC;
- A quantidade de pontos de coleta e o tempo de parada de cada veículo em cada entrega, que por sua vez independem da localização do centro de distribuição;
- A ocupação dos veículos, que independe tanto da distância percorrida pelo usuário até o PC quanto da localização do centro de distribuição.

7.3.1 Quilometragem (distância percorrida)

A Figura 7-6 mostra a média percentual de redução de quilômetros percorridos dos cenários com utilização de PCs quando comparados com o cenário de referência (Qxx,x_Lxx_SemPC). Vale ressaltar que os parâmetros mais relevantes para a redução da quilometragem são, respectivamente, a adesão ao modelo de pontos de coleta (A), a demanda (Q) e a distância do CD (L), de forma que a curva de redução percentual de quilometragem apresenta um comportamento uma linear crescente.

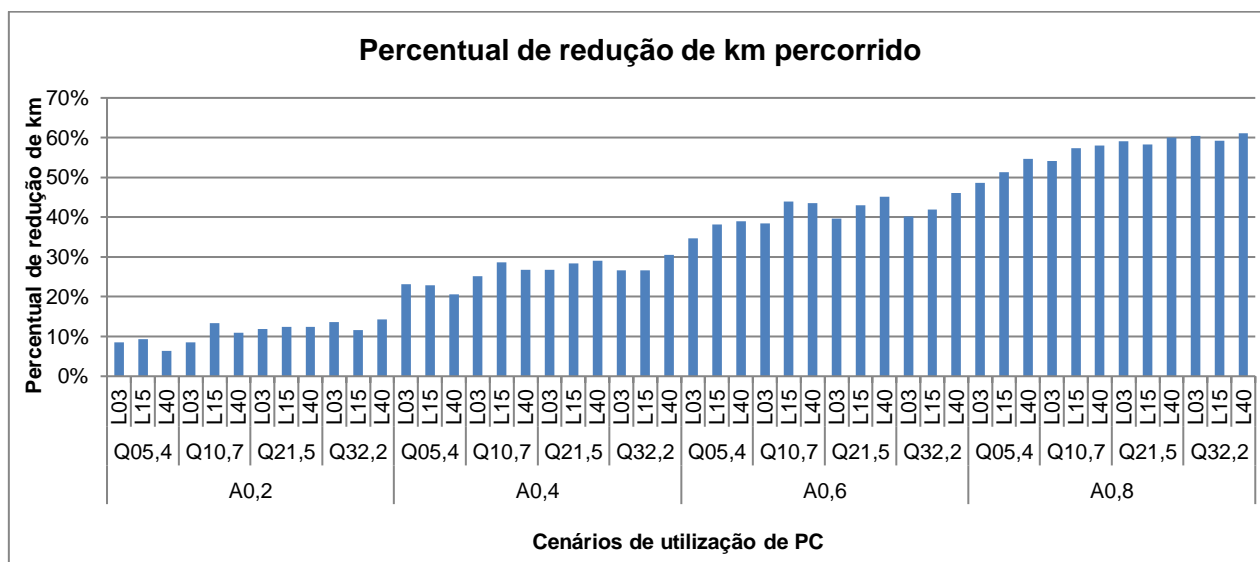


Figura 7-6: Percentual de redução de km percorrido

Assim como na redução percentual do custo, a adesão ao modelo de PCs tem o maior impacto no percentual de redução de quilometragem. É possível observar um percentual médio de redução de distância percorrida para cada percentual de adesão (A0,2, A0,4, A0,6 e A0,8), onde a média de redução na distância percorrida com adesão de 20% ao modelo de PC é de 11,1%; com adesão de 40% é de 26,3%; com adesão de 60% é de 41,1% e com adesão de 80% é de 56,8%. Porém nota-se que para cada um dos percentuais de adesão, as reduções de quilometragem associadas as densidades de demandas de 5,4 pacotes/km² são sempre inferiores a média do grupo. Esse comportamento acontece porque nesses cenários a ocorrência de PCs recebendo apenas uma entrega é mais frequente, ocasionando nenhuma consolidação de carga e conseqüentemente não impactando significativamente a quilometragem percorrida. Esse comportamento é apresentado com mais detalhes na subseção 7.3.5.

Os cenários em que 20% da demanda é consolidada em PCs (com nomenclatura Qxx,x_Lxx_Dx,x_A0,2) resultaram nos menores percentuais de redução de quilometragem, pois apesar de retirar 20% dos pontos de parada domiciliares, ocorre um acréscimo nas paradas em PCs e conseqüentemente reduzindo o potencial de redução na quilometragem. Os demais cenários de adesão (A=0,4; 0,6 e 0,8) não são impactados da mesma forma, pois o aumento da adesão continua retirando pontos de parada domiciliares, mas não a quantidade de PCs é mantida igual ao cenário com A=0,2.

Como exemplo é possível citar os cenários **Q05,4_Lxx_Dx,x_A0,2**, onde a demanda é de 500 pontos dos quais 20% devem ser consolidados em PC, de forma que 400 serão mantidos no modelo tradicional. A demanda consolidada com **Q05,4_Lxx_D1,6_A0,2** resulta em 418 paradas (400 em domicílio e 18 em PCs), o que significa que no cenário com menor número possível de PCs, as 500 paradas originais foram consolidadas em 418, uma redução de apenas 16% dos pontos de parada, o que acarreta, em média 8% de redução na distância percorrida. Comparando com o cenário **Q05,4_Lxx_D1,6_A0,4**, os mesmos 500 pontos de parada foram consolidados em 318 pontos de parada (300 em domicílio e 18 em PCs), e a média resultante da redução de quilometragem é de 22% (aproximadamente três vezes maior que o cenário com 20% de adesão).

Tabela 7-9: Variação do percentual de redução de quilometragem por deslocamento

Densidade	Adesão	Redução de quilometragem por deslocamento do consumidor (%)			Variação máxima
		D0,8	D1,2	D1,6	
Q05,4	A0,2	4,2%	9,6%	10,5%	6,4%
	A0,4	19,6%	22,8%	24,3%	4,7%
	A0,6	37,0%	38,6%	42,0%	5,0%
	A0,8	48,0%	52,3%	54,2%	6,2%
Q10,7	A0,2	8,8%	11,3%	12,6%	3,7%
	A0,4	24,7%	27,4%	28,5%	3,8%
	A0,6	39,1%	42,7%	44,2%	5,1%
	A0,8	54,1%	56,8%	58,5%	4,4%
Q21,5	A0,2	10,8%	12,4%	13,6%	2,9%
	A0,4	27,2%	28,8%	28,3%	1,7%
	A0,6	41,4%	43,4%	42,9%	2,0%
	A0,8	56,7%	59,7%	60,9%	4,2%
Q32,2	A0,2	11,7%	13,5%	14,3%	2,5%
	A0,4	28,8%	27,6%	27,3%	1,5%
	A0,6	42,6%	42,9%	42,6%	0,4%
	A0,8	59,7%	60,2%	60,9%	1,2%

Conforme apresentado na Tabela 7-9, o deslocamento percorrido pelo consumidor até o PC não tem impacto significativo na distância percorrida pelos veículos de entrega, pois apesar de representar menos paradas, os veículos ainda terão que percorrer todas as regiões da cidade para atender todos os PC. Para a densidade de demanda de 5,4 pacotes/km², dobrar a distância de deslocamento do consumidor (de 0,8km para 1,6km) foi responsável por uma variação média de 5,6% na distância percorrida. Conforme a densidade de pedidos aumenta, o impacto da distância de caminhada fica cada vez menor ao ponto que no cenário de maior densidade (Q32,2) a média de variação é de 1,4%.

Considerando que a distância de caminhada (D) não tem impacto significativo na distância percorrida, a Tabela 7-10 mostra a média da quilometragem total (km) percorrida em apenas um dia de entrega, associada a cada valor de densidade de demanda (Q), localização do CD (L) e adesão ao modelo de PC (A), e essa quilometragem é calculada através da soma das distâncias percorridas por cada veículo da frota em cada um dos cenários simulados.

Tabela 7-10: Distância (km) total percorrida em cada cenário de simulação

Densidade	Localização CD	Adesão				
		SemPC	A0,2	A0,4	A0,6	A0,8
Q05,4	L03	294	269	226	192	151
Q05,4	L15	483	438	372	298	235
Q05,4	L40	999	935	793	609	453
Q10,7	L03	472	432	354	290	216
Q10,7	L15	840	727	599	471	359
Q10,7	L40	1.800	1.604	1.318	1.017	755
Q21,5	L03	826	727	604	498	338
Q21,5	L15	1.455	1.273	1.041	830	607
Q21,5	L40	3.323	2.910	2.355	1.824	1.330
Q32,2	L03	1.113	961	816	666	440
Q32,2	L15	1.981	1.749	1.450	1.150	807
Q32,2	L40	4.767	4.087	3.313	2.572	1.851

É possível observar na Tabela 7-10 que a operação com utilização de PCs possibilitou a redução de 25 km (**Q05,4_L03_Dx,x_A0,2**) até 2.916 km (**Q32,2_L40_Dx,x_A0,8**) em apenas um dia de entrega. Calculando essa redução para um ano de operação (considerando 26 dias de entrega e 12 meses no ano), a utilização de pontos de coleta possibilita a redução de até 909 mil km/ano.

7.3.2 Quantidade de veículos

Conforme a quantidade de pedidos aumenta (Q) e maior for a distância com relação ao centro de distribuição (L), maior será a quantidade de veículos necessários para a operação, como se nota observando os cenários de referência destacados em vermelho nas Figura 7-7 e Figura 7-8, que correspondem à situação sem PCs. É possível observar, porém, que a utilização de uma operação com pontos de coleta possibilita a consolidação de carga e reduz a quantidade de veículos necessários.

As Figura 7-7 e Figura 7-8 demonstram a redução na quantidade absoluta de veículos utilizados para realizar a operação em cada demanda proposta (Q), com diferentes distâncias do centro de distribuição (L) e diferentes adesões percentuais (A) ao modelo de pontos de coleta. Existe um padrão de redução da quantidade de veículos necessários conforme a adesão aumenta em cada um dos cenários.

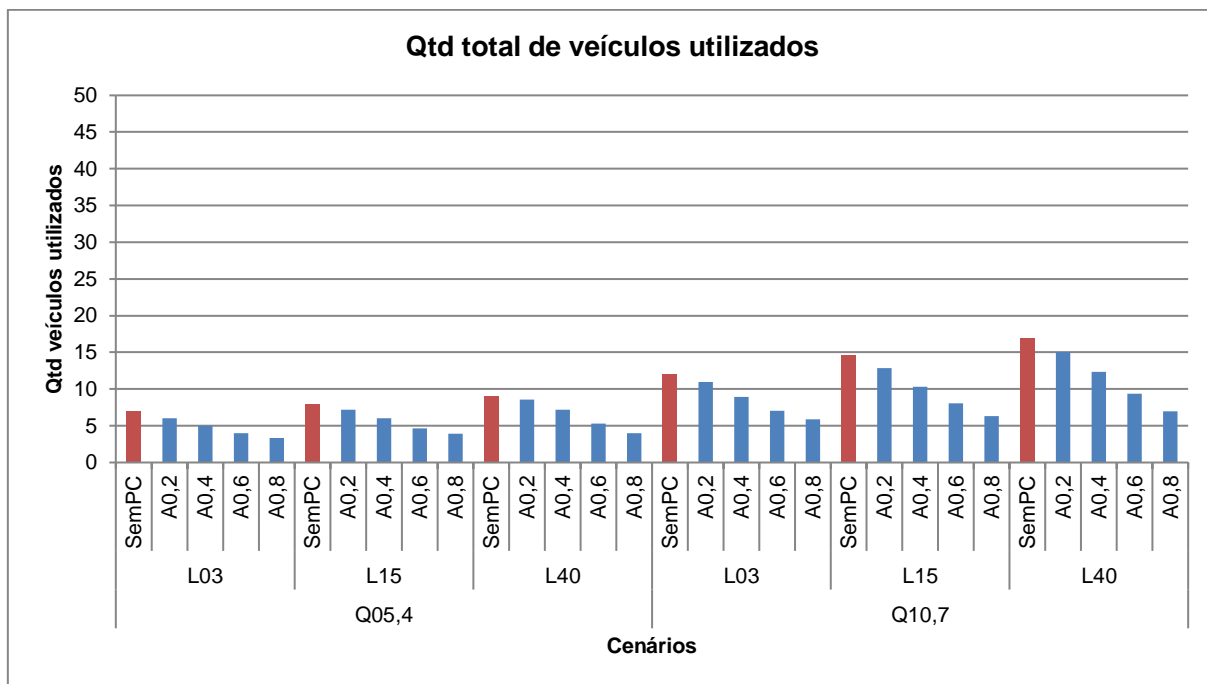


Figura 7-7: Quantidade total de veículos utilizados (Q05,4 e Q10,7)

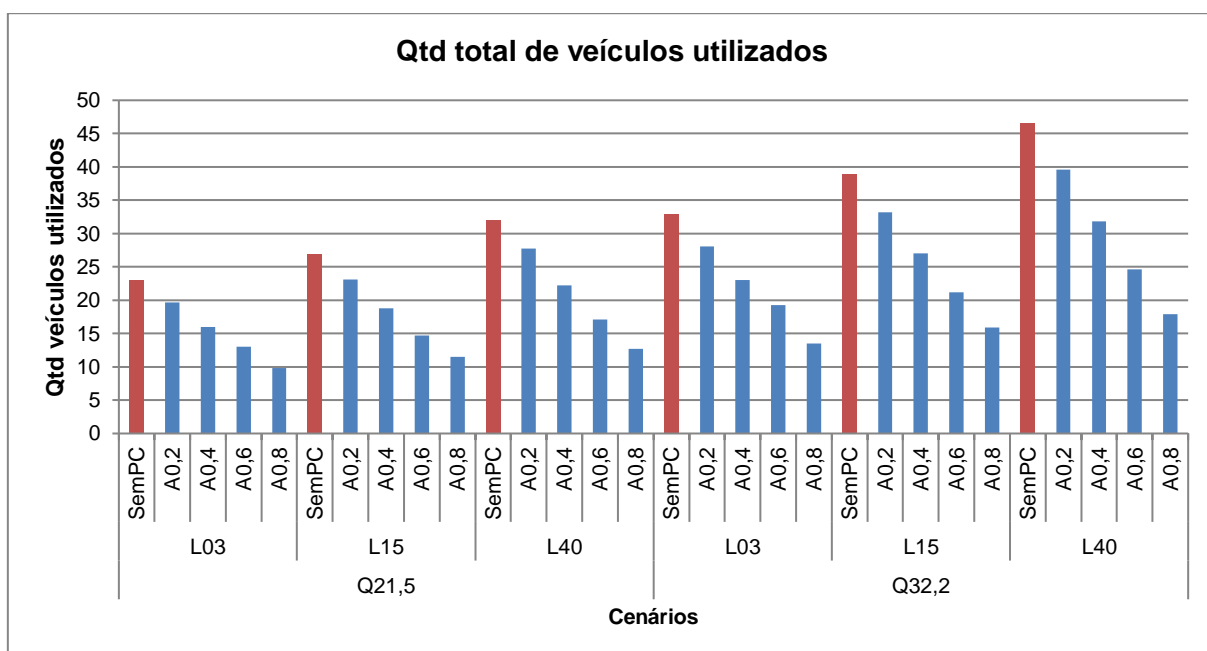


Figura 7-8: Quantidade total de veículos utilizados (Q021,5 e Q32,2)

A média de redução na quantidade de veículos utilizados conforme a adesão varia é observada na Tabela 7-11.

Tabela 7-11: Percentual médio de redução na quantidade de veículos

Adesão	% médio de redução na quantidade de veículo
A0,2	12,4%
A0,4	28,3%
A0,6	43,8%
A0,8	56,7%

Em todos os cenários onde não há utilização de pontos de coleta, o tempo disponível para entregas é o principal limitante, de forma que o perfil de veículos mais aderente a operação sempre o furgão leve, que apresenta o melhor equilíbrio entre as restrições operacionais e o custo. Nestas situações, entretanto, os veículos escolhidos não estavam totalmente ocupados com relação a sua capacidade de carga e a redução de veículos utilizados está condicionada a consolidação de entregas em uma quantidade menor de pontos de parada (adesão ao modelo de PCs).

Com a utilização de pontos de coleta é possível consolidar as entregas em um menor número de pontos, o que permite que cada veículo faça mais entregas no mesmo tempo disponível, sendo assim possível a utilização de veículos com maior capacidade de carga e. A Figura 7-9 demonstra a mudança no perfil da frota conforme a demanda (Q) e as entregas direcionadas a pontos de coleta (A) aumentam.

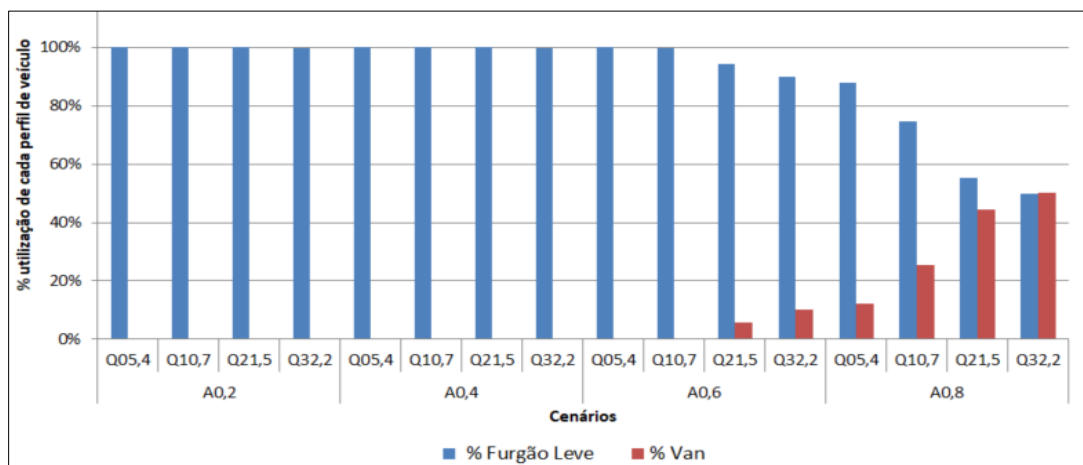


Figura 7-9: Percentual de utilização de cada perfil de veículo

Nos cenários onde a adesão ao modelo de pontos de coleta foi de 20% e de 40% (A0,2 e A0,4), não houve alteração no perfil da frota, ou seja, foram utilizados apenas furgões leves em todos os cenários. Quando a adesão ao modelo de pontos de coleta é de 60% (A0,6), a partir de uma demanda de 2.000 pacotes diários (densidade de demanda de 21,5 pacotes/km²) é possível observar que a utilização de veículos com maior perfil (van) possui o melhor custo em algumas rotas. Quando a consolidação em pontos de coleta é de

80% da demanda (A0,8), é possível observar a utilização de veículos maiores (van) em todos os cenários, sendo que na demanda de 3.000 pacotes por dia (32,2 pacotes/km²), a frota passa a ser igualmente mista entre furgões leves e vans.

Como observado nas Figura 7-7 e Figura 7-8, a localização dos centros de distribuição não tem impacto significativo no percentual de redução na quantidade de veículos com a utilização dos pontos de coleta, mantendo o mesmo percentual de redução observado na Tabela 7-11. Porém a localização do CD tem impacto no significativo na composição da frota, como demonstrado na Tabela 7-12. As vans são mais utilizadas quando a localização do CD é mais próxima da demanda, pois nos casos com maior consolidação de entregas em PCs, o tempo disponível deixar de ser a limitação mais restritiva para os furgões leves e passa a ser a capacidade de carga, tornando a utilização de veículos maiores uma melhor opção de custo. Para os CDs mais afastados, a utilização de um percentual menor de vans comprova a maior influência da limitação de tempo sobre a limitação de capacidade de carga.

Localização do CD	% Furgão Leve	% Van
L03	86,1%	13,9%
L15	92,3%	7,7%
L40	95,9%	4,1%

Tabela 7-12: Percentual de utilização de cada perfil de veículo de acordo com a localização do CD

A utilização de veículos com menor capacidade de carga (motos) não foi vantajosa em comparação a utilização de furgões leves ou vans, com exceção de um cenário (Q32,2_L40_D1,6_A0,2) dentre os 780 cenários existentes, onde houve a utilização de moto em uma das 39 rotas do cenário.

7.3.3 Ocupação dos veículos

A maior limitação para determinar a quantidade de veículos necessária para uma operação é o tempo que cada veículo opera por dia, ou seja, o tempo disponível desde que o entregador recebe o veículo já carregado no centro de distribuição até o momento em que ele o devolve vazio também no CD. O tempo total considerado neste estudo foi de 10 horas por dia para cada veículo, conforme Tabela 6-3 (que descreve os parâmetros operacionais da frota de veículos).

Dessa forma, a ocupação dos veículos resultante para o modelo de entrega sem pontos de coleta é em média de 39% da capacidade volumétrica e 21% da capacidade em peso. Essa ocupação se dá porque as rotas foram restritas pelo limite máximo de tempo de entrega, onde utilizaram em média de 9 horas e 40 minutos do tempo total disponível para realizar as entregas.

Apesar dos resultados das ocupações em peso e volume serem baixas, não é viável utilizar motos como veículo de entrega um (perfil imediatamente menor) pois a sua capacidade é muito menor do que a de um furgão leve (Tabela 6-3), por exemplo, seriam necessárias no mínimo 10 motos utilizando sua capacidade total para substituir um único furgão leve com os percentuais de ocupação médios mencionados.

Quanto mais próximo for a ocupação de carga dos veículos da sua capacidade, um número menor de veículos é necessário para entregar a mesma quantidade de pacotes num dia e mais eficiente se torna a operação. Dentre as dimensões físicas, o peso nunca foi a restrição mais limitante, de forma que o principal foco de estudo foi a relação do volume ocupado nos veículos e o tempo disponível de entrega.

Dada uma operação de entregas utilizando pontos de coleta e ainda respeitando a limitação do tempo disponível para cada veículo, observa-se que a ocupação volumétrica de carga dos veículos aumenta, como é possível observar na Figura 7-10. Com 20% dos pacotes direcionados para pontos de coleta, por exemplo, foi possível aumentar a ocupação média do volume dos veículos em 12% com relação a uma operação sem pontos de coleta. O mesmo comportamento é observado nos casos em que há 40% e 60% de adesão ao modelo de PCs, que aumentaram 23% e 37%, respectivamente.

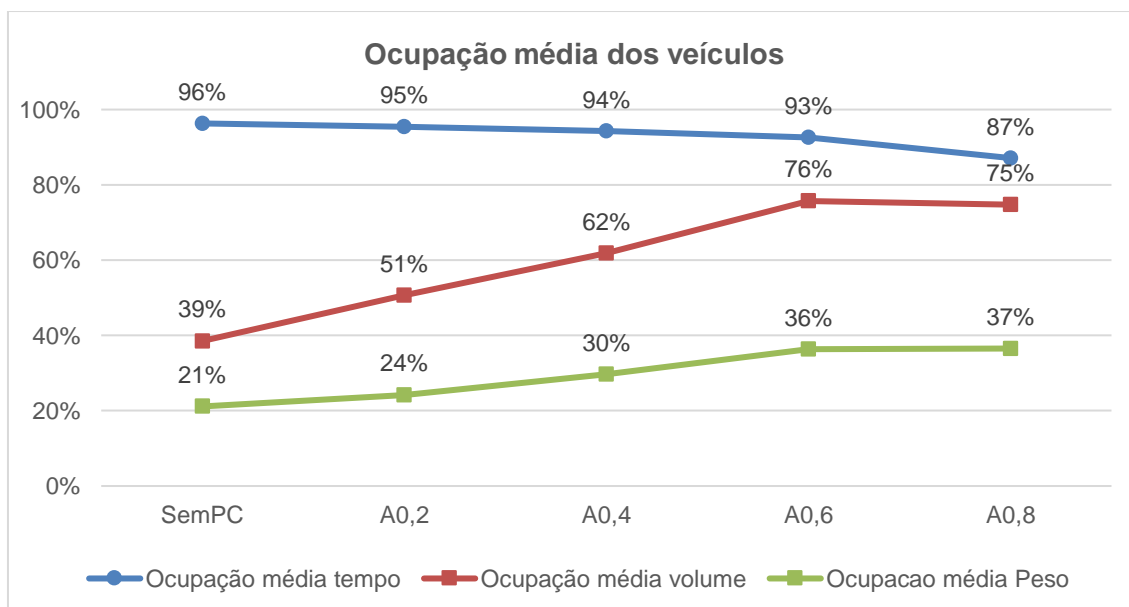


Figura 7-10: Ocupação média dos veículos

Um fato interessante acontece quando são comparados os cenários onde a adesão (A) é de 60% e 80%: observa-se que existe uma estabilização na ocupação volumétrica média dos veículos, ao passo que a ocupação média de tempo de rota de cada veículo teve uma redução mais acentuada do que nas demais adesões. Isso se deve à dois fatores:

primeiramente observa-se a mudança no perfil da frota, onde há um significativo aumento da utilização de vans que possuem maior capacidade de carga do que os veículos utilizados nos cenários com menor adesão; e também a operação atingiu seu limite de consolidação, conforme explicação abaixo.

Nos cenários do tipo Q0,54_L03_Dx,x_A0,8, para que a demanda seja atendida completamente e considerando o melhor cenário de custos, o resultado da simulação propõe a utilização de 4 furgões leves (conforme Tabela 7-13). Observa-se que a ocupação média dos veículos varia de 56% a 97% e que o tempo de rota médio dos veículos varia de 48% a 95%. Não seria possível substituir dois furgões leves por uma van, por exemplo, porque no melhor dos cenários, apesar de uma van ter capacidade de transportar o volume proposto para dois dos furgões leves, não seria possível realizar todas as entregas dentro da limitação de tempo. Desta forma, a operação mais consolidada possível ainda possui uma ociosidade residual.

Tabela 7-13: Exemplo de rota com ociosidade

Id Rota	Veículo	Tempo Total Rota (h)	Volume (m ³)	Ocupação Tempo (%)	Ocupação Volume (%)
1	Furgão leve	9:32	3,01	95%	97%
2	Furgão leve	7:06	2,43	71%	78%
3	Furgão leve	4:49	1,75	48%	56%
4	Furgão leve	5:44	2,4	57%	77%

Dado que a maior restrição neste estudo sempre foi o tempo disponível e não a ocupação do veículo, não é possível que um veículo realize mais do que uma rota por dia. Para a distribuição do comércio eletrônico em centros urbanos, ainda que a demanda seja consolidada, o número de paradas sempre será elevado e o volume descarregado em uma única parada é pequeno perante o total da operação. Seria possível que um veículo realizasse mais de uma rota por dia, por exemplo, em operações onde existe um elevado volume descarregado em uma única parada, como é o caso de um fornecedor abastecendo um grande supermercado, onde a maior restrição da operação passa a ser o volume, porém não é o caso do *e-commerce*.

A quantidade de pacotes entregues por cada veículo é descrita na Tabela 7-14. É possível observar que o crescimento percentual no número de pacotes entregues por veículo é semelhante para cada faixa de adesão em comparação ao cenário de referência, ainda que a demanda varie.

Tabela 7-14: Quantidade média de entregas por veículo

Densidade	SemPC	A0,2	A0,4	A0,6	A0,8
Q05,4	63	71	84	109	135
Q10,7	70	79	97	124	158
Q21,5	75	87	107	136	179
Q32,2	77	91	112	140	193

O aumento da ocupação é uma consequência direta do aumento da quantidade de pacotes em cada veículo. Foi possível observar que para uma operação onde 20% da demanda é direcionada para PCs houve aumento médio de 15% de pacotes em cada veículo; para 40% da demanda direcionada para PCs, foi possível aumentar em 40% a quantidade de pacotes entregues por veículo; para 60% da demanda em PCs, foi possível aumentar em 78% a quantidade de pacotes entregues por veículo; e para 80% da demanda em PCs, foi possível aumentar em 133% a quantidade de pacotes entregues por veículo.

7.3.4 Quantidade de pontos de coleta

A quantidade de pontos de coleta implementados para atender uma mesma demanda é definida em função da distância máxima percorrida pelo consumidor entre sua residência e o PC, respeitando sempre as restrições descritas na subseção 6.1.3, ou seja, ter no mínimo 5 pacotes para abertura de um ponto de coleta e respeitar a distância máxima percorrida pelo consumidor até um PC e ter uma opção de PC disponível dentro do raio de distância escolhido para no mínimo 80% da demanda.

Foi aplicado o modelo proposto na seção 5.1 onde obteve-se como resultado a quantidade de pontos de coleta necessários para cada demanda e distância percorrida conforme a Tabela 7-15.

Tabela 7-15: Quantidade de PCs por cenário

Densidade	Deslocamento			Redução na qtd de PCs	
	D0,8	D1,2	D1,6	0,8 para 1,2	1,2 para 1,6
Q05,4	54	26	15	28	11
Q10,7	61	33	17	28	16
Q21,5	65	37	20	28	17
Q32,2	63	31	20	32	11

Neste estudo foram consideradas três diferentes distâncias máximas percorridas pelo consumidor até um ponto de coleta (0,8km; 1,2km; 1,6km), de forma que é possível comparar a quantidade de pontos de coleta implementados respeitando cada uma delas.

As Figura 7-11, Figura 7-12 e Figura 7-13, demonstram as diferentes quantidades de pontos de coleta implementadas para uma demanda (Q) de 32,2 pacotes/km². Os pontos amarelos correspondem a localização dos pontos de coleta implementados, os pontos azuis

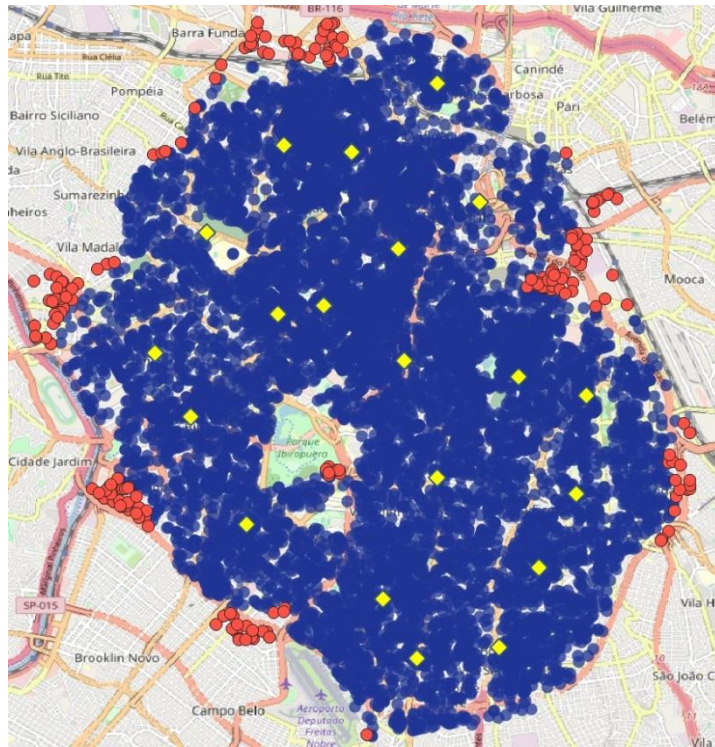


Figura 7-13: PCs e região de atendimento - Cenário D1,6

Observa-se que quando a distância máxima percorrida até o PC é de 0,8km são necessários 63 pontos de coleta, uma quantidade maior do que quando a distância máxima é de 1,2km, onde são necessários 31 pontos de coleta. Por sua vez, quando a distância máxima percorrida é de 1,6km, são necessários 20 pontos de coleta, ou seja, a quantidade de pontos de coleta diminui conforme a distância percorrida pelo consumidor aumenta.

A Tabela 7-15 ainda permite observar que aumentando em 0,4 km a distância percorrida pelo consumidor, ou seja, de 0,8 km para 1,2 km, há redução média de 29 pontos de coleta; quando a distância percorrida pelo consumidor aumenta de 1,2 km para 1,6 km, a quantidade média de pontos de coleta necessários para a operação reduz em 14.

A redução no número de PCs implica em um número menor de paradas durante um dia de entrega. Um menor número de paradas permite utilizar de forma mais eficiente a capacidade de carga e o tempo disponível de cada veículo, devido à redução equivalente ao tempo fixo de parada que será abordado de forma aprofundada na subseção 7.3.6.

7.3.5 Utilização dos pontos de coleta

Analisar a utilização dos pontos de coleta se faz importante para que seja possível avaliar a quantidade máxima de pacotes que possivelmente serão encaminhadas para um único PC e, desta forma, definir a quantidade de portas necessárias para atender a demanda em um PC automatizado, ou o espaço físico necessário em uma loja para atender a demanda em um PC não automatizados.

Tabela 7-16: Quantidade de entregas por PC

Demanda	Deslocamento	Qtd PC	Adesão	Qtd Entregas/PC		
				Média	Mínimo	Máximo
Q05,4	D0,8	54	A0,2	1,9	1	8
			A0,4	3,7	1	12
			A0,6	5,6	1	16
			A0,8	7,4	2	19
	D1,2	26	A0,2	3,8	1	12
			A0,4	7,7	1	20
			A0,6	11,5	3	27
			A0,8	15,4	6	30
	D1,6	15	A0,2	6,7	1	16
			A0,4	13,3	3	30
			A0,6	20,0	7	38
			A0,8	26,7	12	52
Q10,7	D0,8	61	A0,2	3,3	1	15
			A0,4	6,6	1	22
			A0,6	9,8	1	33
			A0,8	13,1	2	41
	D1,2	33	A0,2	6,1	1	21
			A0,4	12,1	3	29
			A0,6	18,2	6	42
			A0,8	24,2	10	51
	D1,6	17	A0,2	11,8	2	24
			A0,4	23,5	9	50
			A0,6	35,3	16	64
			A0,8	47,1	22	83
Q21,5	D0,8	65	A0,2	6,2	1	19
			A0,4	12,3	1	34
			A0,6	18,5	3	52
			A0,8	24,6	5	62
	D1,2	37	A0,2	10,8	1	32
			A0,4	21,6	3	62
			A0,6	32,4	9	88
			A0,8	43,2	11	110
	D1,6	20	A0,2	20,0	6	34
			A0,4	40,0	22	66
			A0,6	60,0	35	92
			A0,8	80,0	47	121
Q32,2	D0,8	63	A0,2	9,5	1	29
			A0,4	19,0	5	51
			A0,6	28,6	9	77
			A0,8	38,1	13	100
	D1,2	31	A0,2	19,4	5	45
			A0,4	38,7	12	80
			A0,6	58,1	25	110
			A0,8	77,4	32	143
	D1,6	20	A0,2	30,0	12	55
			A0,4	60,0	28	100
			A0,6	90,0	47	145
			A0,8	120,0	67	184

A Tabela 7-16 mostra a quantidade mínima, média e máxima de pacotes que foram endereçados para pontos de coleta em cada um dos cenários estudados, levando em consideração as diferentes demandas (Q), distâncias caminhadas pelo consumidor (D) e a porcentagem de adesão ao modelo (A).

Conforme a demanda (Q) e a distância percorrida pelo consumidor até o PC (D) aumentam, menos pontos de coleta são necessários e, conseqüentemente, maior será a quantidade de pacotes de cada ponto de coleta. Assim sendo, os cenários que promovem maior consolidação, ou seja, aqueles que possuem a distância percorrida pelo consumidor (D) equivalente a 1,6km e a adesão ao modelo de PC (A) equivalente a 80% são cenários que apresentam as maiores quantidades de pacotes em um único ponto de coleta.

Conforme a Tabela 7-16, os resultados das simulações apresentam as seguintes quantidades máximas de pacotes encaminhados para um único PC, de acordo com as respectivas demandas:

- Nos cenários **Q05,4_Lxx_D1,6_A0,8**, a quantidade máxima foi de 52 pacotes (10,4% da demanda total);
- Nos cenários **Q010,7_Lxx_D1,6_A0,8**, a quantidade máxima foi de 83 pacotes (8,3% da demanda total);
- Nos cenários **Q21,5_Lxx_D1,6_A0,8**, a quantidade máxima foi de 121 pacotes (6,1% da demanda total);
- Nos cenários **Q32,2_Lxx_D1,6_A0,8**, a quantidade máxima foi de 184 pacotes (6,1% da demanda total).

Dentre as operações existentes que já utilizam PCs para entrega de *e-commerce*, como é o exemplo dos Estado Unidos, Polônia, França e Alemanha, existe uma regra padrão sobre o tempo de coleta que disponibiliza até três dias para o consumidor ir ao PC e pegar seu pacote. Porém os números referentes a quantidade máxima de pacotes apresentados nessa análise estão considerando apenas novas entregas e desconsidera a existência de pacotes depositados nos PCs em outros dias de entrega, que ainda não foram coletados.

Duas situações ocorreram nas simulações com relação a utilização dos pontos de coleta e devem ser ressaltadas. Uma delas é a ociosidade de alguns PCs, ou seja, locais selecionados pelo modelo de localização, mas que não receberam nenhum pacote. A ocorrência de PCs sem receber pacotes acontece em 66 (9,2%) dos cenários apresentados e ocorre porque os PCs foram selecionados para atender a demanda com base em cinco

dias de entrega, mas durante a simulação houve dias de entrega nos quais algum PC não recebeu nenhum pacote.

A Tabela 7-17 mostra a quantidade de cenários associados a quantidade percentual de pontos de coleta que não receberam nenhuma entrega em relação a quantidade total de pontos de coleta selecionados. Em 90,8% dos cenários todos os pontos de coleta receberam pelo menos um pacote; já em 39 dos cenários (5,4%), até 5% dos PCs não receberam nenhum pacote, como é o exemplo de um cenário onde foram selecionados 54 pontos de coleta e apenas 52 deles receberam pacotes, de forma que 2 (ou seja, 4%) não receberam demanda.

Tabela 7-17: Quantificação de cenários com PCs sem receber entregas

Percentual de PC sem receber entregas	Qtd Cenários	Percentual dos Cenários
0%	654	90,8%
< 5%	39	5,4%
< 10%	9	1,3%
< 15%	9	1,3%
< 20%	7	1,0%
< 25%	1	0,1%
>= 25%	1	0,1%
Total	720	100,0%

A Tabela 7-18 mostra como os 66 cenários com pontos de coleta ociosos são segmentados de acordo com os parâmetros de execução respectivas demandas (Q), distância percorrida pelo consumidor até o PC (D) e adesão ao modelo (A):

Tabela 7-18: Classificação de cenários com PC sem entregas

Demanda	Deslocamento	Adesão				TOTAL
		A0,2	A0,4	A0,6	A0,8	
Q05,4	D0,8	15	10	2		27
Q05,4	D1,2	11		3		14
Q05,4	D1,6					0
Q10,7	D0,8	14	2			16
Q10,7	D1,2	1				1
Q10,7	D1,6					0
Q21,5	D0,8	8				8
Q21,5	D1,2					0
Q21,5	D1,6					0
Q32,2	D0,8					0
Q32,2	D1,2					0
Q32,2	D1,6					0
TOTAL		49	12	5	0	66

A maior incidência de cenários que possuem PC sem pacotes ocorre nos cenários de menor consolidação, ou seja, onde a demanda, a caminhada até o PC e/ou a adesão ao modelo assumem respectivamente seus menores valores propostos nesse trabalho. Nos cenários onde a demanda é de 5,4 pacotes/km² estão concentrados 62,1% dos cenários com pelo menos um PC sem pacote; nos cenários onde adesão é de 20% estão concentrados 74,2% dos cenários com pelo menos um PC sem pacote; nos cenários onde a distância percorrida é de 0,8km estão concentrados 77,3% dos cenários com pelo menos um PC sem pacote. Visto que a ocorrência de cenários com PCs sem receber nenhuma entrega é maior quando a distância de caminhada (D), pode ser concluído que a menores distâncias de caminhada (D) implicam na necessidade de um maior número de PCs para atendimento na região de entrega, e conseqüentemente, maior chance de acontecer PCs ociosos.

A outra situação importante de ser observada é quando o ponto de coleta recebe apenas um pacote, ou seja, somente ocorre a troca do endereço de domicílio pelo endereço de um ponto de coleta com um único pacote, de forma que não há efetiva redução nos números de parada e nem consolidação de pacotes no PCs. Esta situação ocorre em 119 (16,5%) dos cenários apresentados e acontece pelos motivos da situação de PCs sem nenhuma entrega.

A Tabela 7-19 apresenta a quantidade de cenários associada a quantidade percentual de pontos de coleta que receberam apenas uma entrega em relação a quantidade total de pontos de coleta que receberam entrega. Em 83,5% dos cenários os pontos de coleta receberam dois ou mais pacotes.

Tabela 7-19: Quantificação de cenários com PC recebendo apenas uma entregas

Percentual de PC com apenas uma entrega	Qtd Cenários	Percentual dos Cenários
0%	601	83,5%
<5%	55	7,6%
<10%	19	2,6%
<15%	15	2,1%
<20%	10	1,4%
<25%	4	0,6%
>=25%	16	2,2%
Total	720	100,0%

A Tabela 7-20 mostra como os 119 cenários com pontos de coleta recebendo apenas um pacote são segmentados de acordo com os parâmetros de execução respectivas demandas (Q), distância percorrida pelo consumidor até o PC (D) e adesão ao modelo (A)

Tabela 7-20: Classificação de cenários com PC recebendo apenas uma entrega

Demanda	Deslocamento	Adesão				TOTAL
		A0,2	A0,4	A0,6	A0,8	
Q05,4	D0,8	15	15	11		41
Q05,4	D1,2	14	1			15
Q05,4	D1,6	5				5
Q10,7	D0,8	15	13	3		31
Q10,7	D1,2	10				10
Q10,7	D1,6					0
Q21,5	D0,8	12	1			13
Q21,5	D1,2	1				1
Q21,5	D1,6					0
Q32,2	D0,8	3				3
Q32,2	D1,2					0
Q32,2	D1,6					0
TOTAL		75	30	14	0	119

Assim como na situação anterior, a maior incidência de cenários que possuem PC com entrega de apenas um pacote também ocorre nos cenários de menor consolidação. Nos cenários onde a demanda é de 5,4 pacotes/km² estão concentrados 51,3% dos cenários com PCs que receberam apenas uma entrega; nos cenários onde adesão é de 20% estão concentrados 63% dos cenários com PCs que receberam apenas uma entrega; nos cenários onde a distância percorrida é de 0,8km estão concentrados 73,9% dos cenários com PCs que receberam apenas uma entrega.

7.3.6 Tempo de parada

O tempo total de cada entrega é uma somatória do tempo fixo (estacionar o veículo e ser atendimento pelo receptor) e do tempo variável (identificar o pacote correto dentro do veículo e executar protocolos de entrega). Em uma operação com pontos de coleta, o tempo variável é contabilizado da mesma forma que a operação sem PCs (multiplicação do tempo variável por pacote), uma vez que o entregador ainda vai precisar identificar os pacotes corretos dentro do veículo e abastecer os pontos de coleta corretamente. Porém a utilização dos PC proporciona uma redução no tempo de parada porque possibilita um número menor de paradas, visto que a demanda está consolidada. Desta forma, a eficiência operacional com relação ao tempo de parada no modelo de entregas utilizando pontos de coleta está exclusivamente relacionada à diminuição no número de paradas, ou seja, na redução do tempo fixo.

Neste modelo, os tempos fixos foram considerados conforme a Tabela 6-3 (que descreve os parâmetros operacionais da frota de veículos). Por exemplo, cada entrega consolidada num ponto de coleta possibilita que um furgão leve deixe de gastar 04m30s em tempo fixo e utilize este mesmo tempo para realizar um número maior de entregas, ou seja,

quanto maior o número de pacotes entregues em pontos de coleta, maior a quantidade de entregas que cada veículo consegue realizar no mesmo tempo de operação (conforme Tabela 7-14 que mostra o aumento da quantidade de entregas por veículo proporcionada pela consolidação de entregas em PCs).

Vale ressaltar que a utilização de pontos de coleta substitui um número maior de paradas em residências por um número menor de paradas em PCs com demandas consolidadas. Por exemplo, numa operação com 500 pacotes a serem entregues (Q), onde 20% (A) deles serão direcionados a 61 pontos de coleta, considerando que a distância máxima percorrida pelo consumidor até um PC (D) é de 0,8km, a quantidade total de paradas que os veículos de entrega farão é de 461, ou seja, 400 paradas em domicílios mais 61 paradas em pontos de coleta, reduzindo apenas 39 paradas (7,8% do total).

Em um segundo exemplo, onde desta vez a operação possui 3.000 pacotes (Q) a serem entregues, mas mantendo a consolidação de 20% (A) desta demanda em 61 PCs com distância máxima percorrida pelo consumidor (D) de 0,8km até o ponto de coleta, a quantidade total de paradas que os veículos farão é de 2.461, ou seja, 2.400 paradas em domicílios mais 61 paradas em pontos de coleta, reduzindo desta vez 18% do número total de paradas.

Considerando os dois exemplos acima, é possível observar que a implementação da mesma quantidade de PCs tem impactos diferentes em demandas diferentes, ou seja, quanto maior for a relação entre a quantidade de pontos de coleta e o número total de paradas, menos relevante será o percentual de redução de pontos de parada e, desta forma, gera menor redução no tempo de parada (tempo fixo).

A Tabela 7-21 mostra os percentuais de redução de tempo de parada em todos os cenários deste estudo, considerando as diferentes adesões (A) ao modelo de PCs, diferentes demandas (Q) e diferentes distâncias percorridas pelo consumidor até coletar seu pacote (D).

A média de redução percentual dos tempos de parada dos cenários onde a adesão (A) é de 20% é 16,5%; para adesão de 40%, a média é de 36,5%; quando a adesão é de 60%, a média é de 56,5%; por fim, com adesão de 80% a média de redução é de 76,5%. É possível observar que as reduções de tempos de parada variam 2,9% para mais ou para menos em relação à média de todos os cenários de cada adesão. A única exceção ocorre apenas nos cenários onde a demanda é de 500 pacotes e a distância percorrida pelo consumidor até o PC é de 0,8km, onde a redução equivale a 8,7% a menos do que a média em todas as adesões e também onde se observa a maior relação entre a quantidade de pontos de coleta e o número total de paradas.

Tabela 7-21: Percentual de redução de paradas

Adesão (%)	Qtd Pacotes			Qtd pontos de parada			Percentual Redução Parada		
	Total	PCs	Entregar residencial	Distância de 0,8km de caminhada (61 PCs)	Distância de 1,2km de caminhada (32 PCs)	Distância de 1,6km de caminhada (18 PCs)	0,8km	1,2km	1,6km
20%	500	100	400	461	432	418	7,8%	13,6%	16,4%
	1.000	200	800	861	832	818	13,9%	16,8%	18,2%
	2.000	400	1.600	1.661	1.632	1.618	17,0%	18,4%	19,1%
	3.000	600	2.400	2.461	2.432	2.418	18,0%	18,9%	19,4%
40%	500	200	300	361	332	318	27,8%	33,6%	36,4%
	1.000	400	600	661	632	618	33,9%	36,8%	38,2%
	2.000	800	1.200	1.261	1.232	1.218	37,0%	38,4%	39,1%
	3.000	1.200	1.800	1.861	1.832	1.818	38,0%	38,9%	39,4%
60%	500	300	200	261	232	218	47,8%	53,6%	56,4%
	1.000	600	400	461	432	418	53,9%	56,8%	58,2%
	2.000	1.200	800	861	832	818	57,0%	58,4%	59,1%
	3.000	1.800	1.200	1.261	1.232	1.218	58,0%	58,9%	59,4%
80%	500	400	100	161	132	118	67,8%	73,6%	76,4%
	1.000	800	200	261	232	218	73,9%	76,8%	78,2%
	2.000	1.600	400	461	432	418	77,0%	78,4%	79,1%
	3.000	2.400	600	661	632	618	78,0%	78,9%	79,4%

Na Figura 7-14 são apresentadas as informações de percentual de redução no tempo de parada para cada densidade (Q), adesão (A) e distância de caminhada (D). É possível observar que conforme a demanda aumenta, os percentuais de redução de tempo fixo de parada são mais impactados pela alteração de adesão do que pela alteração da distância de caminhada do consumidor.

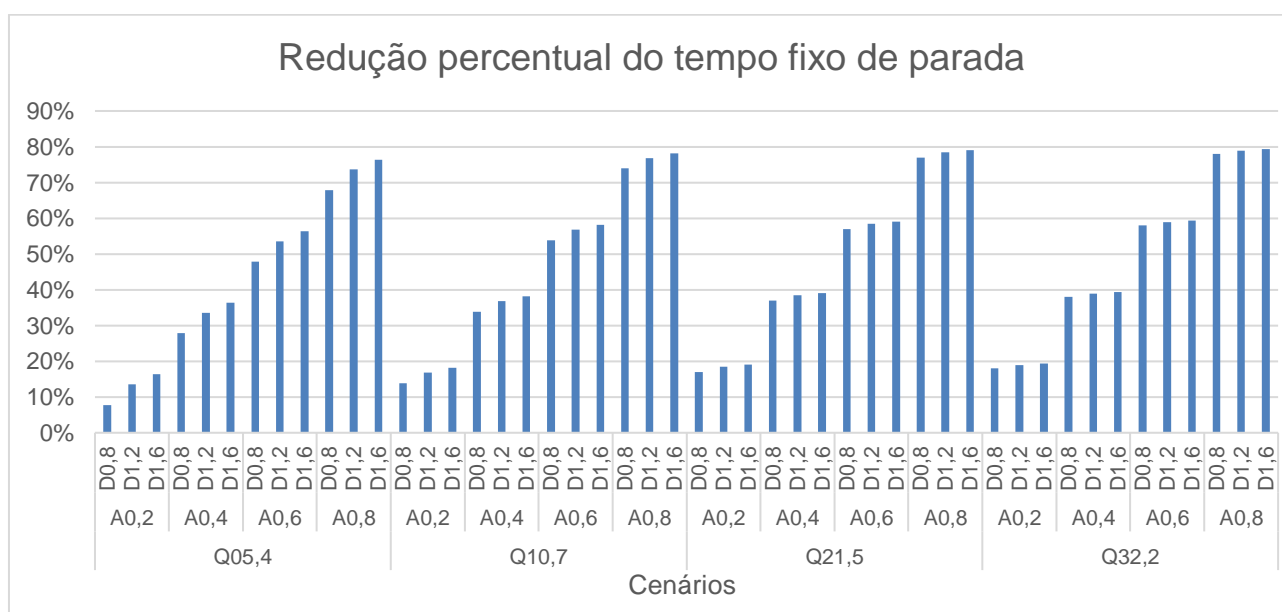


Figura 7-14: Redução percentual do tempo fixo de parada

Conforme abordado na subseção 7.3.3 (ocupação dos veículos), em uma operação sem pontos de coleta o tempo é o parâmetro mais limitante para definir a quantidade de entregas a serem realizadas por cada veículo. Uma vez que a operação com pontos de coleta é implementada e os tempos fixos são reduzidos, torna-se possível que os veículos aumentem a quantidade de entregas.

No APÊNDICE B são apresentados os resultados com relação a quantidade de paradas e a quantidade de entregas que cada veículo realiza em cada cenário. Estas informações foram utilizadas para construir a Figura 7-15, que mostra a relação entre a redução do número de paradas (tempo fixo) e o aumento da quantidade de entregas realizadas por veículo. Foi possível observar uma linha de tendência com $R^2=98,81\%$ que comprova que quanto maior for a redução do número de paradas maior será o aumento de entregas por veículo.

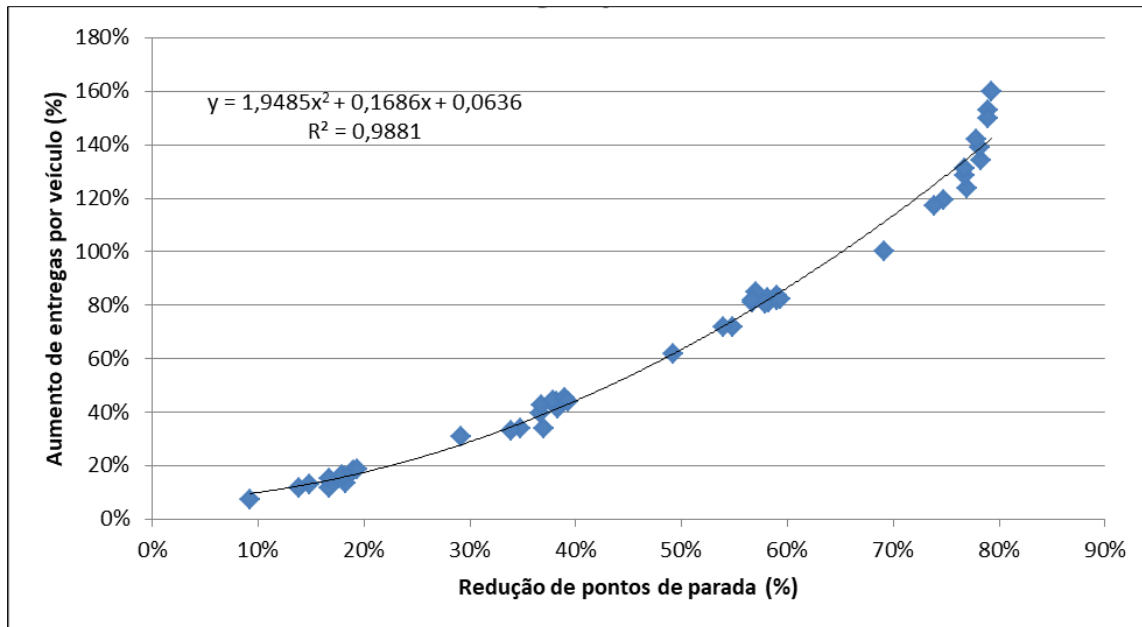


Figura 7-15: Correlação entre redução de paradas e aumento de entregas por veículo

Analisando o gráfico, nota-se que quando a redução de pontos de parada ultrapassa 70%, é possível que os veículos dobrem a quantidade de entregas realizadas por dia se comparados a uma operação sem a utilização de pontos de coleta.

7.4 Impacto para o consumidor

Além dos benefícios para o operador logístico, a implementação de uma operação de entregas utilizando pontos de coleta pode ser benéfica também para o consumidor, conforme descrito na subseção 2.4.2. Em contraponto, esta operação transfere parte da responsabilidade de coleta para o consumidor, o qual deve se deslocar até o PC para receber seu pacote ao invés de fazê-lo diretamente em seu domicílio. Neste capítulo serão apresentados os impactos absorvidos pelo consumidor ao percorrer parte da distância do *last-mile* quando é adotado o modelo de entrega utilizando pontos de coleta.

Conforme demonstra a Figura 5-1 (*framework* de simulação dos cenários), a implementação de PCs leva em consideração a variável de distância máxima percorrida pelo consumidor até um ponto de coleta (D). Desta forma, a quantidade e a localização dos PCs variam conforme as diferentes distâncias assumidas para esta variável que, neste estudo, pode assumir os valores de 0,8km, 1,2km ou de 1,6km.

Cada uma das distâncias máximas percorridas tem impactos diferentes no serviço prestado ao consumidor. Quando a distância máxima percorrida (D) for de 0,8 km, a quantidade de PCs disponibilizados é maior e o cliente caminha uma distância menor para coleta de um pacote, do que quando a distância máxima percorrida (D) for de 1,6 km, resultando em uma quantidade de PCs menor. Desta forma, quanto maior for a distância máxima percorrida, menor será o nível do serviço oferecido.

As distâncias efetivamente percorridas pelos consumidores até os pontos de coleta podem ser observadas na Figura 7-16, Figura 7-17 e Figura 7-18 que mostra a quantidade percentual de consumidores caminhando a cada intervalo de 100 metros, assim como um acumulado da distância percorrida. Cada par de gráficos é equivalente a um dos 3 possíveis valores que a variável de distância máxima percorrida pode assumir (0,8km, 1,2km e 1,6km).

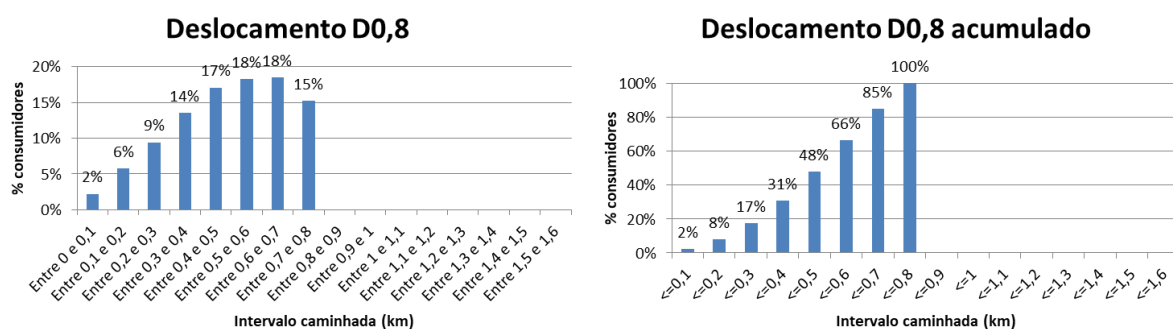


Figura 7-16: Histograma e histograma de frequência acumulada de distância de caminhada dos consumidores para distância máxima de 800metros – (D0,8)

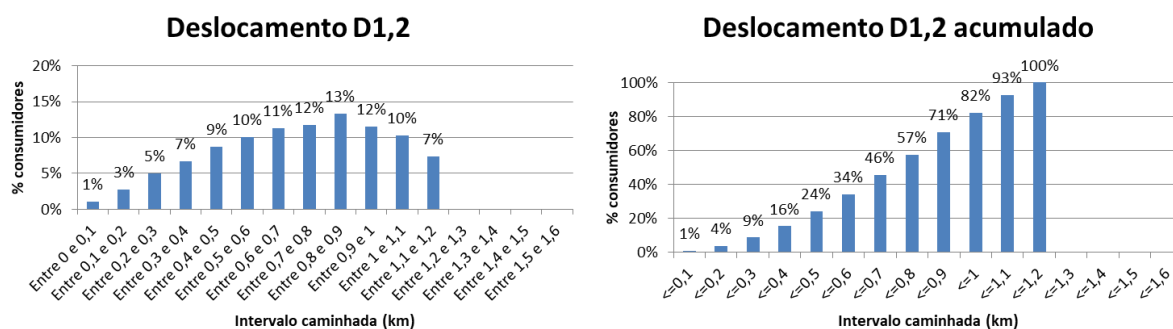


Figura 7-17: Histograma e histograma de frequência acumulada de distância de caminhada dos consumidores para distância máxima de 1.200metros – (D1,2)

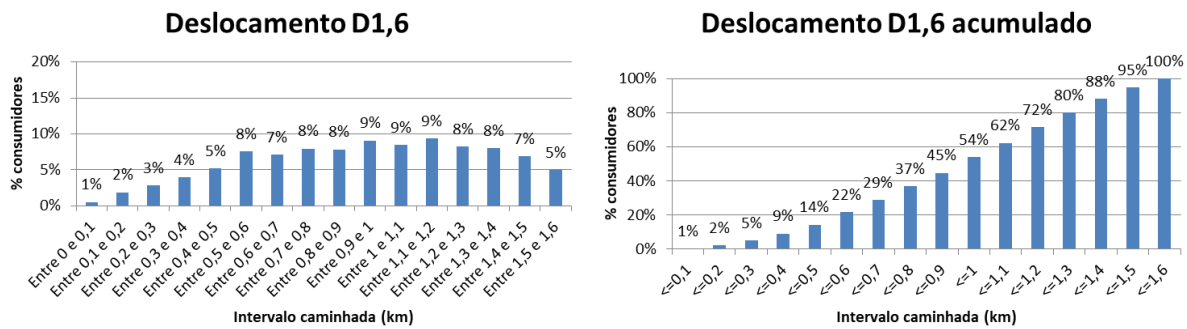


Figura 7-18: Histograma e histograma de frequência acumulada de distância de caminhada dos consumidores para distância máxima de 1.600 metros – (D1,6)

É possível observar que quando a distância máxima percorrida até um PC é definida como 0,8km, a distância média percorrida pelos consumidores em todos os cenários executados é de 0,49km, 18% dos consumidores caminharam entre 0,5km e 0,6km, assim como 18% caminharam entre 0,6km e 0,7km, sendo essas as faixas com as principais concentrações de distâncias percorridas por consumidores. Pode ser destacado também que apenas 15% dos consumidores tiveram que caminhar entre 0,7km e a distância máxima permitida.

Já quando a distância máxima percorrida até um PC é de 1,2km, a distância média percorrida pelos consumidores é de 0,71km, a faixa que compreende consumidores que caminharam entre 0,8km e 0,9km apresenta a principal concentração de distâncias percorridas, com 13% dos consumidores, e apenas 7% dos consumidores tiveram que caminhar entre 1,1km e a distância máxima permitida nos cenários.

Observa-se que 57% dos consumidores caminharam até 0,8km, que era limite máximo estabelecido anteriormente. Desta forma, o aumento da distância máxima percorrida de 0,8km para 1,2km fez com que 43% dos consumidores efetivamente andassem mais do que 0,8km.

Finalmente, quando a distância máxima percorrida até um PC é definida como 1,6km, a distância média percorrida pelos consumidores em todos os cenários executados é de 0,93km. A faixa de distância que apresenta a maior concentração de consumidores é entre 1,1km e 1,2km, onde estão concentrados 9% dos consumidores. No entanto, todas as faixas entre 0,5km e 1,5km apresentam concentrações percentuais de consumidores muito próximas a esta, variando entre 7% e 9%. Apenas 5% dos consumidores tiveram que caminhar entre 1,5km e a distância máxima permitida nos cenários.

Observa-se que 72% dos consumidores caminharam até 1,2km, que era limite máximo estabelecido anteriormente. Desta forma, o aumento da distância máxima percorrida de

1,2km para 1,6km fez com que 28% dos consumidores efetivamente andassem mais do que 1,2km.

De acordo com o resultado de distância média pelos consumidores em todos os cenários (0,8km, 1,2km e 1,6km), foi possível concluir que a distância média de caminhada do consumidor é aproximadamente 60% da distância máxima oferecida pelo operador logístico conforme a localização dos PCs.

7.5 Impacto ambiental

O impacto ambiental das entregas consolidadas em PCs pode ser medida por dois fatores principais: a redução no número de veículos utilizados, representando um potencial de redução do trânsito no habitat urbano, assim como uma redução da ocupação de vagas para estacionamento que seriam utilizadas pelos veículos de entrega, conforme tratado nas subseções 7.3.2 e 7.3.6; e a redução na quilometragem percorrida, tratado na subseção 7.3.1, possibilita redução do consumo de combustível ao qual está diretamente relacionada a emissão de gases poluentes.

Os consumos médios de combustível dos perfis de veículos utilizados neste estudo foram considerados conforme Tabela 7-22. Para furgão leve e moto, o combustível considerado é a gasolina, e para vans considera-se diesel.

Tabela 7-22: Autonomia dos veículos

	Van	Furgão leve	Moto
Autonomia (km/L)	10	10,7	35

De acordo com o relatório de emissões veiculares de 2019, feito pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2020), as emissões de poluentes por perfil de veículo utilizados neste estudo são conforme a Tabela 7-23.

Tabela 7-23: Indicadores de emissão de poluentes da CETESB

	Van	Furgão leve	Moto
Ano	2020	2020	2020
Emissão CO (g/km)	0,032	0,215	0,834
Emissão NOX (g/km)	0,221	0,013	0,033
Emissão MP (g/km)	0,0088	0,0011	0,0035

Através dos resultados da simulação foi possível obter a quantidade total de quilômetros percorridos para realização de dias de entrega em todos os cenários estudados. Utilizando-se desta informação e considerando os dados demonstrados nas Tabela 7-23, foi possível calcular uma visão geral do consumo de combustível e consequentes emissões de

poluentes ocasionadas por uma operação tradicional de entrega, sem utilização de pontos de coleta (cenários do tipo Qxx,x_Lxx_SemPC), que são demonstrados em função da demanda na Tabela 7-24.

Tabela 7-24: Consumo de combustível e emissão de poluentes para as operações sem PC

	Q05,4	Q10,7	Q21,5	Q32,2
Consumo (mil L/ano)	17,26	30,26	54,47	76,41
Emissão CO (kg/ano)	39,76	69,70	125,46	176,00
Emissão NOX (kg/ano)	2,44	4,27	7,69	10,79
Emissão MP (kg/ano)	0,20	0,36	0,64	0,90

Os cenários onde não há utilização de PCs foram utilizados como referência para calcular as reduções de consumo de combustível, uma vez que uma operação com PCs seja implementada. As reduções no consumo de combustível são demonstradas na Tabela 7-25.

Tabela 7-25: Impacto no consumo de combustível com a utilização de PC

Redução de Combustível (mil litros/ano)				
Adesão/Demanda	Q05,4	Q10,7	Q21,5	Q32,2
A0,2	1,3	3,4	6,8	10,4
A0,4	3,7	8,2	15,6	22,2
A0,6	6,6	13,0	23,8	33,6
A0,8	9,1	17,2	31,8	45,4

A redução no consumo de combustíveis fósseis está diretamente relacionada com a redução na emissão de poluentes na atmosfera. Em regiões metropolitanas, as emissões de poluentes como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOX) e material particulado (MP) estão amplamente associadas com a utilização de automóveis, ônibus, caminhões e motocicletas. Estas substâncias são classificadas como tóxicas, uma vez que quando são absorvidas pelo sistema respiratório, produzem efeitos negativos para a saúde.

Novamente utilizando-se como referência os cenários que demonstram uma operação sem a utilização de PCs (Tabela 7-24), obtém-se a diferença de emissão de poluentes em cada um dos cenários onde são utilizados pontos de coleta. A Tabela 7-26 demonstra a redução (em kg) de emissão de CO em um ano de entregas para diferentes demandas (Q) e adesões (A) ao modelo de entregas com PCs.

Tabela 7-26: Impacto na emissão de CO com a utilização de PC

Redução de CO (kg/ano)				
Adesão/Demanda	Q05,4	Q10,7	Q21,5	Q32,2
A0,2	3	8	16	23
A0,4	9	19	36	51
A0,6	15	30	57	83
A0,8	22	44	90	132

Nos cenários de maior consolidação, por exemplo os do tipo **Q32,2_Lxx_Dx,x_A0,8**, é possível obter uma redução de 132kg de CO em um ano. Isto ocorre em função da mudança no perfil de frota, já que para furgões leves a emissão de CO é de 0,215g/km, mas quando há necessidade de utilizar um veículo maior como a van a emissão passa a ser aproximadamente 7 vezes menor (0,032g/km) devido ao combustível utilizado pelas vans ser o diesel. Entretanto, por este mesmo motivo, os cenários de maior consolidação também apresentaram aumento da emissão dos demais poluentes (NOX e MP), como demonstrado nas Tabela 7-27 e Tabela 7-28. A emissão de NOX nos furgões leves é de 0,013g/km, mas nas vans a emissão passa a ser 17 vezes maior (0,221g/km). Já a emissão de MP é de 0,0011g/km em furgões leves e 8 vezes maior (0,0088g/km) em vans.

Tabela 7-27: Impacto na emissão de NOX com a utilização de PC

Redução de NOX (kg/ano)				
Adesão/Demanda	Q05,4	Q10,7	Q21,5	Q32,2
A0,2	0,2	0,5	1,0	1,4
A0,4	0,5	1,2	2,2	3,0
A0,6	0,9	1,8	1,0	-1,0
A0,8	0,0	-2,5	-13,2	-22,2

Tabela 7-28: Impacto na emissão de MP com a utilização de PC

Redução de MP (kg/ano)				
Adesão/Demanda	Q05,4	Q10,7	Q21,5	Q32,2
A0,2	0,02	0,04	0,08	0,12
A0,4	0,04	0,10	0,18	0,26
A0,6	0,08	0,15	0,19	0,18
A0,8	0,06	0,02	-0,28	-0,52

Desta forma, a implementação de pontos de coleta possibilita a redução dos impactos ambientais causados por operações de entrega de pacotes, porém dada uma demanda (Q) e respectiva adesão (A) que demonstre necessidade de alteração no perfil da frota para veículos maiores que utilizam o diesel como combustível, os impactos ambientais podem ser maiores do que numa operação de entrega a domicílio tradicional realizada por veículos de menor porte que utilizem a gasolina como combustível.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com entregas mais frequentes e menos consolidadas, as compras online geram impactos observáveis particularmente em grandes áreas urbanas densamente povoadas, influenciando no tráfego, no meio ambiente e constituindo uma das questões mais problemáticas para os varejistas em termos de custos de serviços e organização.

Já em operação em países como Estados Unidos, França, Alemanha e Polônia, o serviço de entrega utilizando pontos de coleta se confirma como uma alternativa viável ao serviço de entrega domiciliar convencional, além de poder reduzir os problemas de entrega causados pelo novo padrão de compra dos consumidores.

Esta pesquisa contribuiu para avaliar a viabilidade do uso de serviço de pontos de coleta como alternativa para entregas de *e-commerce* no perímetro urbano do centro expandido da cidade de São Paulo, investigando como os indicadores operacionais (descritos no capítulo 4) são impactados por cada condição de entrega (conforme capítulo 5) e visando comparar o desempenho operacional e os custos com a entrega tradicional a domicílio.

O problema alvo desse estudo caracteriza-se pela distribuição do *last-mile* de mercadorias de *e-commerce* em áreas urbanas, com a limitação em função das restrições de tamanho dos pacotes a serem entregues, que devem obedecer a capacidade dos pontos de coleta.

A metodologia propôs 5 etapas: definição da demanda, definição dos PCs, definição de cenários e duas etapas de simulação (entrega domiciliar e entrega parcial em PCs). Na definição da demanda foi construída uma base de pacotes com informações respectivas à geolocalização, peso, volume e valor do produto. Na etapa de definição dos PCs foi executado o modelo exato de localização de PCs utilizando os parâmetros de demanda, deslocamento máximo dos clientes e uma base de candidatos reais, com respectivas geolocalizações. A terceira etapa utilizou as informações das etapas 1 e 2 para definir os cenários de simulação, adicionando os parâmetros de frota e localização do centro de distribuição. A simulação realizada para obter os resultados da entrega em domicílio (etapa 4) resultou nos indicadores operacionais de referência e, na etapa 5, foram obtidos os resultados dos cenários de entrega utilizando pontos de coleta para serem comparados aos indicadores de referência. A comparação dos valores obtidos nas etapas 4 e 5 foram fundamentais para mensurar a eficiência das entregas utilizando PCs.

Para aplicação da metodologia no caso de São Paulo foi necessário obter os parâmetros de simulação que representassem a realidade do operador logístico no

perímetro urbano da região do centro expandido da cidade e, para isso, foram realizadas reuniões com especialistas da área, revisão da literatura a partir de pesquisa nas principais fontes científicas disponíveis, pesquisas de especificações técnicas de frota e consultas a indicadores socioeconômicos e geográficos. As combinações de todos os parâmetros operacionais resultaram em um total de 780 cenários simulados.

Uma vez aplicada a metodologia, foi possível definir em quais condições os pontos de coleta (PC) são mais eficientes que entregas em domicílio na visão econômica, incluindo os critérios mais relevantes para esse tipo de operação. Os resultados obtidos com estes dados foram de grande importância para garantir que o modelo proposto representa corretamente a operação real de um operador logístico.

Os resultados foram mensurados em relação a custos unitário, custo total e desempenho operacional, quantificando a quilometragem percorrida, a quantidade e ocupação da frota e a quantidade e ocupação dos pontos de coleta. Também foram estudados os impactos para o consumidor e a eficiência ambiental associada à solução.

O custo da operação está associado a quantidade de veículos utilizada e as distâncias percorridas por eles. A consolidação das entregas em pontos de coleta possibilita redução na quantidade de veículos (impacto mais significativo na redução do custo) e redução nas distâncias percorridas (impacto menos significativo na redução de custo).

De acordo com os resultados obtidos, foi possível verificar que a implementação do modelo de entregas utilizando pontos de coleta, em quaisquer que sejam os cenários de consolidação, apresentam redução de custo com relação ao modelo de entrega a domicílio, mas destaca-se que o parâmetro mais relevante para definir o desempenho dos PCs é o percentual de adesão de consumidores direcionados para este modelo.

No menor percentual de adesão ao modelo, quando apenas 20% da demanda foi direcionada a pontos de coleta, a redução de custo média da operação foi de 12,8%, ao passo que no maior percentual de adesão (80% da demanda), a redução média de custo da operação foi de 53,3%. Desta forma, pode-se afirmar que o modelo de entregas utilizando pontos de coleta possibilita uma redução de mais da metade dos custos de distribuição de um operador logístico.

O modelo se provou benéfico para implementar operações de entrega que possuem diferentes densidades de demanda, de forma que a variação da densidade altera o impacto que as demais características estudadas (distância do CD e distância percorrida pelo consumidor até o PC) causam na redução de custo. Quando as demandas são de 5,4 pacotes/km², os pontos de coleta reduzem mais o custo de operação de CDs que estão localizados mais próximos da demanda. Entretanto, conforme a densidade de demanda

aumenta, a redução de custo é maior para CDs afastados. As alterações de distância percorrida pelo consumidor até o PC têm pouca influência na redução de custo, pois na maioria dos casos impacta apenas a redução da quilometragem percorrida, mas não a quantidade de veículos utilizados.

A redução de distância percorrida, da quantidade e da ocupação dos veículos segue o mesmo comportamento da redução de custos, tendo maior impacto definido pela adesão e não sofrendo influências pela distância percorrida pelo consumidor até o PC. O principal veículo utilizado nas entregas é o furgão leve, porém nos cenários de maior consolidação existe a troca parcial do perfil da frota para vans. A utilização de veículos com um perfil menor (motos) não se demonstrou vantajosa.

A definição da quantidade de pontos de coleta é resultado do modelo exato, que utiliza como parâmetros apenas os pontos de entrega (área de atendimento) e a distância de caminhada, sendo que alterar a densidade de pontos (mantendo a região de entrega), a localização do CD e a adesão ao modelo de PC não impactam nesta quantidade. Como um exemplo, ainda que a demanda cresça de 500 pacotes para 3.000 pacotes na mesma área de atendimento, a quantidade de pontos de coleta não teve alterações significativas. Porém, dobrar a distância de caminhada (de 0,8 km para 1,6 km) reduz em 70% a quantidade de PCs.

Houve ociosidade dos PCs em 125 dos 720 cenários com pontos de coleta estudados, ou seja, em 17,4% dos cenários houve pontos de coleta que não receberam nenhuma entrega ou que receberam apenas uma entrega (houve a troca do endereço residencial para o endereço do PC). Este fato ocorreu com mais frequência nos cenários onde houve o menor nível de consolidação de cada parâmetro: a adesão foi baixa (20%), a densidade foi baixa (5,4 pacotes/km²) ou a distância de caminhada foi baixa (0,8 km), sendo mais evidenciada onde houve o cruzamento de duas ou mais destas condições.

A redução no número de paradas que um veículo realiza possibilita um menor tempo de parada total em um dia de entrega, o que por sua vez possibilita que cada veículo possa realizar mais entregas. Neste estudo, pode-se observar que é possível que os veículos dobrem a quantidade de entregas realizadas por dia se a redução de pontos de parada ultrapassa 70% em comparação ao modelo de entrega tradicional.

A operação de entrega utilizando pontos de coleta traz comodidade para consumidores que não têm possibilidade de receber um pacote diretamente em sua residência, seja pela ausência de um recebedor ou por motivos de segurança, e também é uma opção atrativa para aqueles que optam por ações ambientalmente mais sustentáveis. Em contrapartida, a implementação de tal operação transfere ao consumidor a

responsabilidade de percorrer a *last-mile* até um ponto de coleta onde se encontra sua encomenda, o que pode ser incômodo para pessoas com mobilidade reduzida ou que possuem um estilo de vida com menor volume de atividades fora de casa, este último representando um grupo que aumentou significativamente durante a pandemia do COVID-19.

Apesar das distâncias máximas adotadas até um ponto de coleta (0,8km, 1,2km e 1,6km), observou-se que os consumidores caminharam em média aproximadamente 60% desta distância (0,49km, 0,71km e 0,93km, respectivamente), de forma que em todos os cenários os consumidores caminharam em média menos de 1km. Assumindo que a velocidade média de caminhada para um adulto é de 6km/h, o impacto médio para o consumidor retirar uma entrega em um ponto de coleta é de 20 minutos, considerando o deslocamento até o PC e o retorno ao domicílio, que podem ser percorridos no horário que for mais conveniente.

A implementação de uma operação utilizando PC pode causar um impacto ambiental positivo na redução do consumo de até 45,4 mil litros de combustíveis fósseis, assim como a redução de até 132 kg de CO (monóxido de carbono) no período de um ano. Em contrapartida, o estudo demonstrou que em alguns casos em que foi necessária a alteração no perfil de frota para utilizar veículos maiores, que utilizam diesel ao invés de gasolina e, dessa forma, houve aumento de até 22,2 kg de NOX (óxidos de nitrogênio) e até 0,52 kg de MP (micropartículas) no mesmo período.

Conforme visto nos resultados, os PCs representam uma alternativa promissora para reduzir os custos da operação de entrega à domicílio de *e-commerce*, assim como possibilitam a redução dos impactos negativos que o transporte urbano de mercadorias causa nos centros urbanos de grandes cidades. Uma implementação bem-sucedida de pontos de coleta depende de fatores de densidade de demanda, localização do centro de distribuição, características da frota e demais fatores estudados neste trabalho. Para além destes, entretanto, há também fatores importantes de mercado como a adoção do método de entregas por grandes lojas do *e-commerce*, que precisam oferecer esta opção para seus consumidores e incentivar a utilização dos PCs para torná-la mais atraente do que o método de entrega a domicílio, uma vez que ficou comprovada a relação da adesão dos clientes ao sucesso da solução; e a disposição dos lojistas em abrigarem os pontos de coleta, sendo eles no modelo assistido ou automatizado.

Este estudo teve como principal metodologia a simulação de cenários, de forma que os dados utilizados têm papel crucial nos resultados obtidos. Este trabalho teve como foco os dados da região metropolitana de São Paulo, e as conclusões obtidas através destes

resultados podem ser aplicadas em outras regiões urbanas, se os parâmetros forem equivalentes. Contudo, é recomendado para trabalhos futuros a aplicação da metodologia descrita com valores diferentes para os parâmetros utilizados, com a finalidade de estudar a viabilidade da implementação de uma operação de entrega com pontos de coleta em outras regiões.

Há ainda fatores relevantes na implementação de operações de entrega do *e-commerce* que dependem de estudos futuros específicos quando adaptadas ao modelo de entrega utilizando pontos de coleta e que não fizeram parte do escopo deste trabalho: devoluções de compra e a logística reversa implementada através de PCs; custo de instalação de pontos de coleta, incluindo peculiaridades de segurança associadas a cada localização onde foram instalados PCs automatizados; e limites de entrega em pontos de coleta, considerando a restrição de capacidade de cada local.

9. REFERÊNCIAS

ALLEN, Julian; THORNE, G.; BROWNE, Michael. Good practice guide on urban freight transport. **Bestufs administration centre**, [S. l.], 2007.

ALVES, Roberta. Modelagem e simulação baseada em agentes aplicada ao transporte urbano de cargas co comércio eletrônico- B2C. [S. l.], 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11154020>. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11154020>.

ALVES, Roberta; LIMA, Renato; OLIVEIRA, Leise Kelli. O ENFOQUE AMBIENTAL DO CITY LOGISTICS: UMA REVISÃO DE LITERATURA. 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - PLURIS, [S. l.], n. 2016, 2016.

BRAEKERS, Kris; RAMAEKERS, Katrien; VAN NIEUWENHUYSE, Inneke. **The vehicle routing problem: State of the art classification and review** *Computers and Industrial Engineering*, 2016. DOI: 10.1016/j.cie.2015.12.007.

CÁRDENAS, Iván; BECKERS, Joris; VANELSLANDER, Thierry. E-commerce last-mile in Belgium: Developing an external cost delivery index. **Research in Transportation Business and Management**, [S. l.], 2017. DOI: 10.1016/j.rtbm.2017.07.006.

CETESB. **Relatórios de Emissões Veiculares no Estado São Paulo**. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2022/03/Relatorio-Emissoes-Veiculares-2020.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2021.

CHOPRA, Sunil. The Evolution of Omni-Channel Retailing and its Impact on Supply Chains. *In: TRANSPORTATION RESEARCH PROCEDIA 2018, Anais [...]*. [s.l: s.n.] p. 4–13. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.09.002.

CLARKE, G.; WRIGHT, J. W. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. **Operations Research**, [S. l.], v. 12, n. 4, 1964. DOI: 10.1287/opre.12.4.568.

CRAINIC, T. G.; RICCIARDI, N.; STORCHI, G. Models for evaluating and planning city logistic transportation systems. **Transportation Science**, [S. l.], v. 43, n. 4, 2009.

CUNHA, Claudio Barbieri Da. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. **TRANSPORTES**, [S. l.], v. 8, n. 2, 2000. DOI: 10.14295/transportes.v8i2.188.

DA SILVA, Jardel Vilarino Santos; DE MAGALHÃES, David José Ahouagi Vaz; MEDRADO, Luciano. Demand analysis for pick-up sites as an alternative solution for home delivery in the Brazilian context. *In*: TRANSPORTATION RESEARCH PROCEDIA 2019, **Anais** [...]. : Elsevier B.V., 2019. p. 462–470. DOI: 10.1016/j.trpro.2019.06.048.

DEUTSCH, Yael; GOLANY, Boaz. A parcel locker network as a solution to the logistics last mile problem. **International Journal of Production Research**, [S. l.], v. 56, n. 1–2, p. 251–261, 2018. DOI: 10.1080/00207543.2017.1395490.

EBIT | NIELSEN. Webshoppers - 38a edição. <https://www.ebit.com.br/webshoppers>, [S. l.], p. 38, 2018. Disponível em: www.ebit.com.br.

EBIT | NIELSEN. Webshoppers - 43a edição. <https://www.ebit.com.br/webshoppers>, [S. l.], n. <https://www.ebit.com.br/webshoppers>, p. 1–40, 2021. Disponível em: <https://www.ebit.com.br/webshoppers>.

ECOMMERCEBRASIL. Frete ainda é o maior responsável pelos custos logísticos no e-commerce brasileiro. **<https://www.ecommercebrasil.com.br/noticias/frete-ainda-e-o-maior-responsavel-pelos-custos-logisticos-no-e-commerce-brasileiro/>**, [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.ecommercebrasil.com.br/noticias/frete-ainda-e-o-maior-responsavel-pelos-custos-logisticos-no-e-commerce-brasileiro/>.

EDWARDS, Julia; MCKINNON, Alan; CHERRETT, Tom; MCLEOD, Fraser; SONG, Liying. Carbon dioxide benefits of using collection-delivery points for failed home deliveries in the United Kingdom. **Transportation Research Record**, [S. l.], n. 2191, p. 136–143, 2010. DOI: 10.3141/2191-17.

FLORIO, Alexandre M.; FEILLET, Dominique; HARTL, Richard F. The delivery problem: optimizing hit rates in e-commerce deliveries. **Transportation Research Part B: Methodological**, [S. l.], 2018. DOI: 10.1016/j.trb.2018.09.011.

GATTA, Valerio; MARCUCCI, Edoardo; NIGRO, Marialisa; PATELLA, Sergio Maria; SERAFINI, Simone. Public transport-based crowdshipping for sustainable city logistics: Assessing economic and environmental impacts. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], 2018. DOI: 10.3390/su11010145.

GOLDEN, BRUCE; ASSAD, ARJANG; LEVY, LARRY; GHEYSEN, FILIP. THE FLEET SIZE AND MIX VEHICLE ROUTING PROBLEM. **Journal of the Operational Research Society**, [S. l.], v. 50, n. 7, p. 721–732, 1984. DOI: 10.1057/palgrave.jors.2600763.

IBGE. **Censo Brasileiro de 2010 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. [s.l: s.n.].

IWAN, Stanisław; KIJEWSKA, Kinga; LEMKE, Justyna. Analysis of Parcel Lockers' Efficiency as the Last Mile Delivery Solution - The Results of the Research in Poland. **Transportation Research Procedia**, [S. l.], v. 12, n. June 2015, p. 644–655, 2016. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.02.018.

JIMENEZ, Dulce.; VALDES, Sade.; SALINAS, Mariana. Popularity Comparison between E-Commerce and Traditional Retail Business. **International Journal of Technology for Business**, [S. l.], v. 1, n. 1, 2019.

KLEIJNEN, Jack P. C. Verification and validation of simulation models. **European Journal of Operational Research**, [S. l.], 1995. DOI: 10.1016/0377-2217(94)00016-6.

LACHAPELLE, Ugo; BURKE, Matthew; BROTHERTON, Aiden; LEUNG, Abraham. Parcel locker systems in a car dominant city: Location, characterisation and potential impacts on city planning and consumer travel access. **Journal of Transport Geography**, [S. l.], 2018. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.06.022.

LEMKE, Justyna; IWAN, Stanisław; KORCZAK, Jerzy. Usability of the Parcel Lockers from the Customer Perspective - The Research in Polish Cities. **Transportation Research Procedia**, [S. l.], v. 16, n. March, p. 272–287, 2016. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.11.027.

LENSTRA, J. K.; KAN, A. H. G. Rinnoo. Complexity of vehicle routing and scheduling problems. **Networks**, [S. l.], 1981. DOI: 10.1002/net.3230110211.

LINDNER, Matt. **E-commerce is expected to grow to 17% of US retail sales**

by 2022. 2017. Disponível em: <https://www.digitalcommerce360.com/2017/08/09/e-commerce-grow-17-us-retail-sales-2022/>. Acesso em: 5 maio. 2019.

MORGANTI, Eleonora; DABLANC, Laetitia; FORTIN, François. Final deliveries for online shopping: The deployment of pickup point networks in urban and suburban areas. **Research in Transportation Business and Management**, [S. l.], v. 11, n. February 2012, p. 23–31, 2014. DOI: 10.1016/j.rtbm.2014.03.002.

MORGANTI, Eleonora; SEIDEL, Saskia; BLANQUART, Corinne; DABLANC, Laetitia; LENZ, Barbara. The Impact of E-commerce on Final Deliveries: Alternative Parcel Delivery Services in France and Germany. **Transportation Research Procedia**, [S. l.], v. 4, n. 0, p. 178–190, 2014. DOI: 10.1016/j.trpro.2014.11.014.

MOROZ, Miroslaw; POLKOWSKI, Zdzislaw. The Last Mile Issue and Urban Logistics: Choosing Parcel Machines in the Context of the Ecological Attitudes of the Y Generation Consumers Purchasing Online. **Transportation Research Procedia**, [S. l.], v. 16, n. March, p. 378–393, 2016. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.11.036. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352146516306500>.

OLIVEIRA, Leise Kelli De; MORGANTI, Eleonora; DABLANC, Laetitia; OLIVEIRA, Renata Lúcia Magalhães De. Analysis of the potential demand of automated delivery stations for e-commerce deliveries in Belo Horizonte, Brazil. **Research in Transportation Economics**, [S. l.], 2017. DOI: 10.1016/j.retrec.2017.09.003.

QUAK, Hans; BALM, Susanne; POSTHUMUS, Bineke; BRUENING, Matthias. Innovative solutions for city logistics: demonstration and viability results. **European Transport Conference 2012**, [S. l.], 2012. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004.

RUSSO, Francesco; COMI, Antonio. City Characteristics and Urban Goods Movements: A Way to Environmental Transportation System in a Sustainable City. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [S. l.], v. 39, p. 61–73, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.03.091.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. **Journal of Simulation**, [S. l.], 2013. DOI: 10.1057/jos.2012.20.

SCHLESINGER, S. Terminology for model credibility. **Simulation**, [S. l.], 1979. DOI: 10.1177/003754977903200304.

SCHÖDER, Dustin; DING, Feng; CAMPOS, Juliana Kucht. The Impact of E-Commerce Development on Urban Logistics Sustainability. **Open Journal of Social Sciences**, [S. l.], v. 04, n. 03, p. 1–6, 2016. DOI: 10.4236/jss.2016.43001.

TANIGUCHI, Eiichi; THOMPSON, Russell; YAMADA, Tadashi; VAN DUIN, Ron. **City Logistics: Network Modelling and Intelligent Transport Systems**. [s.l.]: Pergamon, 2001.

TOREGAS, Constantine; SWAIN, Ralph; REVELLE, Charles; BERGMAN, Lawrence. The Location of Emergency Service Facilities. **Operations Research**, [S. l.], v. 19, n. 6, 1971. DOI: 10.1287/opre.19.6.1363.

UCHOA, Eduardo; PECIN, Diego; PESSOA, Artur; POGGI, Marcus; VIDAL, Thibaut; SUBRAMANIAN, Anand. New benchmark instances for the Capacitated Vehicle Routing Problem. **European Journal of Operational Research**, [S. l.], 2017. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.08.012.

URBAN FREIGHT LAB. Evaluation of Sound Transit Train Stations and Transit Oriented Development Areas for COMMON CARRIER LOCKER SYSTEMS: Phase 1 Research Project. **University of Washington - Supply Chain Transportation and Logistics Center**, [S. l.], 2018.

VAKULENKO, Yulia; HELLSTRÖM, Daniel; HJORT, Klas. What's in the parcel locker? Exploring customer value in e-commerce last mile delivery. **Journal of Business Research**, [S. l.], v. 88, p. 421–427, 2018. DOI: 10.1016/j.jbusres.2017.11.033.

VAKULENKO, Yulia; SHAMS, Poja; HELLSTRÖM, Daniel; HJORT, Klas. Service innovation in e-commerce last mile delivery: Mapping the e-customer journey. **Journal of Business Research**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.01.016.

WELTEVREDEN, Jesse W. J. B2c e-commerce logistics: The rise of collection-and-delivery points in the Netherlands. **International Journal of Retail and Distribution Management**, [S. l.], 2008. DOI: 10.1108/09590550810883487.

APÊNDICE A

Resultado da validação do sistema de roteirização SPOT.R, em comparação com as instâncias de Uchoa e avaliando a diferença entre a distância total percorrida, quantidade de veículos utilizados e custo total.

Instância	Distância			Qtd Veículos			Custo		
	SPOT.R	Uchoa	Dif (%)	SPOT.R	Uchoa	Dif (n)	SPOT.R	Uchoa	Dif (%)
A-n32-k5	832	784	6%	5	5	0	1.249	1.227	1,8%
A-n33-k5	686	661	4%	5	5	0	1.183	1.171	1,0%
A-n33-k6	798	742	8%	6	6	0	1.408	1.383	1,8%
A-n34-k5	801	778	3%	5	5	0	1.234	1.224	0,8%
A-n36-k5	844	799	6%	5	5	0	1.254	1.234	1,6%
A-n37-k5	733	669	10%	5	5	0	1.204	1.175	2,5%
A-n37-k6	973	949	3%	6	6	0	1.487	1.476	0,7%
A-n38-k5	751	730	3%	5	5	0	1.212	1.202	0,8%
A-n39-k5	838	822	2%	5	5	0	1.251	1.244	0,6%
A-n39-k6	851	831	2%	6	6	0	1.432	1.423	0,6%
A-n44-k6	966	937	3%	6	6	0	1.483	1.470	0,9%
A-n45-k6	1.000	944	6%	7	6	1	1.674	1.474	13,6%
A-n45-k7	1.183	1.146	3%	7	7	0	1.756	1.739	1,0%
A-n46-k7	929	914	2%	7	7	0	1.642	1.635	0,4%
A-n48-k7	1.130	1.073	5%	7	7	0	1.732	1.706	1,5%
A-n53-k7	1.047	1.010	4%	7	7	0	1.695	1.678	1,0%
A-n54-k7	1.210	1.167	4%	7	7	0	1.768	1.749	1,1%
A-n55-k9	1.111	1.073	3%	9	9	0	2.073	2.056	0,8%
A-n60-k9	1.374	1.354	1%	9	9	0	2.191	2.182	0,4%
A-n61-k9	1.059	1.034	2%	10	9	1	2.224	2.038	9,1%
A-n62-k8	1.341	1.288	4%	8	8	0	2.002	1.978	1,2%
A-n63-k10	1.380	1.314	5%	10	10	0	2.369	2.339	1,3%
A-n63-k9	1.665	1.616	3%	9	9	0	2.322	2.300	1,0%
A-n64-k9	1.508	1.401	8%	9	9	0	2.252	2.204	2,2%
A-n65-k9	1.217	1.174	4%	9	9	0	2.121	2.101	0,9%
A-n69-k9	1.199	1.159	3%	9	9	0	2.113	2.095	0,9%
A-n80-k10	1.869	1.763	6%	10	10	0	2.589	2.541	1,9%
B-n31-k5	680	672	1%	5	5	0	1.180	1.176	0,3%
B-n34-k5	794	788	1%	5	5	0	1.231	1.229	0,2%
B-n35-k5	985	955	3%	5	5	0	1.317	1.304	1,0%
B-n38-k6	829	805	3%	6	6	0	1.422	1.411	0,8%
B-n39-k5	589	549	7%	5	5	0	1.139	1.121	1,6%
B-n41-k6	849	829	2%	6	6	0	1.431	1.422	0,6%
B-n43-k6	776	742	5%	6	6	0	1.398	1.383	1,1%
B-n44-k7	941	909	4%	7	7	0	1.647	1.633	0,9%
B-n45-k5	768	751	2%	6	5	1	1.394	1.212	15,0%
B-n45-k6	726	678	7%	7	6	1	1.550	1.354	14,5%

B-n50-k7	751	741	1%	7	7	0	1.562	1.557	0,3%
B-n50-k8	1.347	1.312	3%	8	8	0	2.004	1.989	0,8%
B-n51-k7	1.026	1.032	-1%	8	7	1	1.860	1.688	10,2%
B-n52-k7	765	747	2%	7	7	0	1.568	1.560	0,5%
B-n56-k7	729	707	3%	7	7	0	1.552	1.542	0,6%
B-n57-k7	1.157	1.153	0%	8	7	1	1.919	1.742	10,1%
B-n57-k9	1.635	1.598	2%	9	9	0	2.309	2.292	0,7%
B-n63-k10	1.611	1.496	8%	10	10	0	2.473	2.421	2,1%
B-n64-k9	932	861	8%	10	9	1	2.167	1.961	10,6%
B-n66-k9	1.364	1.316	4%	10	9	1	2.362	2.165	9,1%
B-n67-k10	1.102	1.032	7%	10	10	0	2.244	2.212	1,4%
B-n68-k9	1.321	1.272	4%	9	9	0	2.167	2.146	1,0%
B-n78-k10	1.273	1.221	4%	10	10	0	2.321	2.297	1,0%
CMT1	540	525	3%	5	5	0	1.117	1.110	0,6%
CMT10	1.399	1.396	0%	17	18	-1	3.601	3.774	-4,6%
CMT11	1.128	1.042	8%	7	7	0	1.731	1.692	2,3%
CMT12	848	820	3%	10	10	0	2.129	2.117	0,6%
CMT13	1.164	1.541	-24%	7	11	-4	1.747	2.616	-33,2%
CMT14	848	866	-2%	10	11	-1	2.129	2.313	-7,9%
CMT2	884	835	6%	11	10	1	2.321	2.124	9,3%
CMT3	909	826	10%	8	8	0	1.807	1.770	2,1%
CMT4	1.118	1.028	9%	12	12	0	2.600	2.560	1,6%
CMT5	1.423	1.291	10%	17	17	0	3.612	3.553	1,7%
CMT6	551	555	-1%	5	6	-1	1.122	1.299	-13,6%
CMT7	878	910	-3%	11	11	0	2.318	2.332	-0,6%
CMT8	883	866	2%	8	9	-1	1.796	1.963	-8,5%
CMT9	1.116	1.163	-4%	12	14	-2	2.600	2.970	-12,5%
F-n45-k4	752	724	4%	4	4	0	1.038	1.025	1,2%
F-n72-k4	269	237	13%	4	4	0	820	806	1,8%
Golden_1	5.728	5.623	2%	9	9	0	4.151	4.104	1,1%
Golden_13	960	857	12%	27	26	1	5.151	4.930	4,5%
Golden_17	773	708	9%	22	22	0	4.193	4.164	0,7%
Golden_5	6.585	6.461	2%	5	5	0	3.837	3.781	1,5%
Golden_6	9.451	8.413	12%	7	7	0	5.477	5.009	9,3%
Golden_9	636	580	10%	14	14	0	2.733	2.708	0,9%
M-n101-k10	848	820	3%	10	10	0	2.129	2.117	0,6%
M-n121-k7	1.134	1.034	10%	7	7	0	1.734	1.689	2,7%
M-n151-k12	1.127	1.015	11%	12	12	0	2.605	2.554	2,0%
M-n200-k16	1.416	1.274	11%	17	16	1	3.609	3.370	7,1%
M-n200-k17	1.404	1.275	10%	17	17	0	3.603	3.545	1,6%
P-n101-k4	753	681	11%	4	4	0	1.038	1.006	3,2%
P-n16-k8	470	450	4%	8	8	0	1.610	1.601	0,6%
P-n19-k2	223	212	5%	2	2	0	450	445	1,1%
P-n20-k2	234	216	9%	2	2	0	455	447	1,9%
P-n21-k2	229	211	9%	2	2	0	453	445	1,9%
P-n22-k2	233	216	8%	2	2	0	454	447	1,7%

P-n22-k8	607	603	1%	9	8	1	1.846	1.670	10,6%
P-n23-k8	534	529	1%	8	8	0	1.639	1.636	0,1%
P-n40-k5	482	458	5%	5	5	0	1.091	1.080	1,0%
P-n45-k5	560	510	10%	5	5	0	1.126	1.103	2,0%
P-n50-k10	738	696	6%	11	10	1	2.255	2.061	9,4%
P-n50-k7	588	554	6%	7	7	0	1.488	1.473	1,0%
P-n50-k8	651	631	3%	9	8	1	1.866	1.682	10,9%
P-n51-k10	764	741	3%	11	10	1	2.267	2.081	8,9%
P-n55-k10	712	694	3%	10	10	0	2.068	2.060	0,4%
P-n55-k15	964	989	-3%	16	15	1	3.230	3.067	5,3%
P-n55-k7	598	568	5%	7	7	0	1.493	1.479	0,9%
P-n60-k10	777	744	4%	10	10	0	2.098	2.083	0,7%
P-n60-k15	1.023	968	6%	16	15	1	3.257	3.057	6,5%
P-n65-k10	819	792	3%	10	10	0	2.117	2.104	0,6%
P-n70-k10	883	827	7%	11	10	1	2.320	2.120	9,4%
P-n76-k4	652	593	10%	4	4	0	993	966	2,7%
P-n76-k5	689	627	10%	6	5	1	1.359	1.156	17,5%
X-n101-k25	29.136	27.591	6%	28	26	2	18.005	16.960	6,2%
X-n106-k14	27.026	26.362	3%	14	14	0	14.609	14.310	2,1%
X-n110-k13	15.817	14.971	6%	13	13	0	9.390	9.009	4,2%
X-n115-k10	13.371	12.747	5%	10	10	0	7.765	7.484	3,8%
X-n120-k6	13.943	13.332	5%	6	6	0	7.323	7.048	3,9%
X-n125-k30	57.912	55.539	4%	31	30	1	31.479	30.236	4,1%
X-n129-k18	30.691	28.940	6%	18	18	0	16.957	16.169	4,9%
X-n134-k13	11.819	10.916	8%	14	13	1	7.766	7.184	8,1%
X-n139-k10	14.474	13.590	7%	10	10	0	8.261	7.863	5,1%
X-n143-k7	17.475	15.700	11%	7	7	0	9.087	8.289	9,6%
X-n148-k46	46.170	43.448	6%	48	47	1	29.166	27.767	5,0%
X-n153-k22	22.529	21.220	6%	24	23	1	14.333	13.569	5,6%
X-n157-k13	17.735	16.876	5%	13	13	0	10.253	9.866	3,9%
X-n162-k11	15.353	14.138	9%	11	11	0	8.831	8.285	6,6%
X-n167-k10	22.165	20.557	8%	10	10	0	11.722	10.999	6,6%
X-n172-k51	48.650	45.607	7%	56	53	3	31.681	29.787	6,4%
X-n176-k26	52.025	47.812	9%	29	26	3	28.480	26.060	9,3%
X-n181-k23	27.035	25.569	6%	23	23	0	16.186	15.526	4,3%
X-n186-k15	25.828	24.145	7%	15	15	0	14.245	13.487	5,6%
X-n190-k8	18.471	16.980	9%	8	8	0	9.710	9.039	7,4%
X-n195-k51	46.804	44.225	6%	55	53	2	30.675	29.165	5,2%
X-n200-k36	62.036	58.578	6%	37	36	1	34.383	32.653	5,3%
X-n204-k19	21.347	19.565	9%	19	19	0	12.927	12.125	6,6%
X-n209-k16	32.643	30.656	6%	16	16	0	17.486	16.592	5,4%
X-n214-k11	12.104	10.856	11%	12	11	1	7.544	6.808	10,8%
X-n219-k73	119.116	117.595	1%	73	73	0	66.362	65.677	1,0%
X-n223-k34	43.662	40.437	8%	36	34	2	25.941	24.140	7,5%
X-n228-k23	28.542	25.742	11%	24	23	1	17.039	15.604	9,2%
X-n233-k16	21.234	19.230	10%	17	17	0	12.527	11.625	7,8%

X-n237-k14	29.359	27.042	9%	14	14	0	15.659	14.616	7,1%
X-n242-k48	88.090	82.751	6%	49	48	1	48.205	45.628	5,6%
X-n247-k50	40.646	37.274	9%	55	51	4	27.904	25.688	8,6%
X-n251-k28	41.625	38.684	8%	28	28	0	23.625	22.302	5,9%
X-n256-k16	20.917	18.839	11%	17	16	1	12.384	11.274	9,8%
X-n261-k13	29.159	26.558	10%	13	13	0	15.394	14.223	8,2%
X-n266-k58	80.010	75.478	6%	61	58	3	46.667	44.103	5,8%
X-n270-k35	37.332	35.291	6%	37	36	1	23.267	22.173	4,9%
X-n275-k28	22.972	21.245	8%	28	28	0	15.231	14.454	5,4%
X-n280-k17	36.747	33.503	10%	18	17	1	19.682	18.048	9,1%
X-n284-k15	22.425	20.226	11%	15	15	0	12.713	11.724	8,4%
X-n289-k60	102.309	95.151	8%	65	61	4	57.400	53.480	7,3%
X-n294-k50	50.735	47.161	8%	53	51	2	32.094	30.137	6,5%
X-n298-k31	37.127	34.231	8%	32	31	1	22.300	20.822	7,1%

APÊNDICE B

Cenário	Custo Total (R\$)	Custo por entrega (R\$)	Distância Percorrida (km)	Tempo médio de Rota/Veículo (h)	Percentual ocupação tempo disponível	Percentual ocupação capacidade volume	Qtd média paradas por rota	Qtd média entregas por rota	Van	Furgão Leve	Emissão CO (g)	Emissão Nox (g)	Emissão MP (g)	Consumo Combustível (L)	Qtd PC	Distância média de caminhada consumidor (km)
Q05,4_L40_SemPC	1.808,00	3,62	998,98	9:44	97,5%	23,2%	55,6	55,6	0	9	215,0	13,2	1,1	93,4	0	0,00
Q05,4_L40_D0,8_A0,2	1.799,87	3,60	980,91	9:14	92,4%	34,4%	50,4	55,6	0	9	211,2	12,9	1,1	91,7	54	0,52
Q05,4_L40_D0,8_A0,4	1.521,81	3,04	832,60	9:07	91,2%	40,9%	46,8	66,1	0	7,6	179,2	11,0	0,9	77,8	54	0,52
Q05,4_L40_D0,8_A0,6	1.212,78	2,43	682,53	9:14	92,5%	51,6%	42,3	83,3	0	6	146,9	9,0	0,8	63,8	54	0,52
Q05,4_L40_D0,8_A0,8	815,39	1,63	470,30	9:38	96,4%	77,3%	38,5	125,0	0	4	101,2	6,2	0,5	44,0	54	0,52
Q05,4_L40_D1,2_A0,2	1.682,70	3,37	921,78	9:22	93,7%	36,9%	50,9	59,7	0	8,4	198,4	12,2	1,0	86,1	26	0,77
Q05,4_L40_D1,2_A0,4	1.405,04	2,81	774,36	9:13	92,2%	44,2%	46,6	71,4	0	7	166,7	10,2	0,9	72,4	26	0,78
Q05,4_L40_D1,2_A0,6	1.013,78	2,03	575,73	9:43	97,2%	61,9%	45,2	100,0	0	5	123,9	7,6	0,6	53,8	26	0,78
Q05,4_L40_D1,2_A0,8	807,00	1,61	451,64	8:48	88,0%	77,3%	31,5	125,0	0	4	97,2	6,0	0,5	42,2	26	0,78
Q05,4_L40_D1,6_A0,2	1.644,11	3,29	903,12	9:23	93,9%	37,8%	50,7	61,1	0	8,2	194,4	11,9	1,0	84,4	15	1,04
Q05,4_L40_D1,6_A0,4	1.403,91	2,81	771,84	9:05	90,9%	44,2%	45,0	71,4	0	7	166,1	10,2	0,8	72,1	15	1,07
Q05,4_L40_D1,6_A0,6	1.010,61	2,02	568,69	9:27	94,6%	61,9%	43,0	100,0	0	5	122,4	7,5	0,6	53,1	15	1,05
Q05,4_L40_D1,6_A0,8	800,98	1,60	438,26	8:22	83,8%	77,3%	28,8	125,0	0	4	94,3	5,8	0,5	41,0	15	1,05
Q05,4_L15_SemPC	1.615,61	3,23	482,86	9:17	92,9%	38,7%	62,5	62,5	0	8	103,9	6,4	0,5	45,1	0	0,00
Q05,4_L15_D0,8_A0,2	1.534,25	3,07	457,43	9:08	91,4%	40,9%	60,0	66,1	0	7,6	98,5	6,0	0,5	42,8	54	0,52
Q05,4_L15_D0,8_A0,4	1.219,61	2,44	379,72	9:26	94,5%	51,6%	59,0	83,3	0	6	81,7	5,0	0,4	35,5	54	0,52
Q05,4_L15_D0,8_A0,6	1.019,96	2,04	324,46	9:07	91,3%	61,9%	50,8	100,0	0	5	69,8	4,3	0,4	30,3	54	0,52
Q05,4_L15_D0,8_A0,8	812,40	1,62	251,64	8:19	83,3%	77,3%	38,5	125,0	0	4	54,2	3,3	0,3	23,5	54	0,52
Q05,4_L15_D1,2_A0,2	1.416,20	2,83	428,14	9:18	93,1%	44,2%	60,9	71,4	0	7	92,2	5,7	0,5	40,0	26	0,78
Q05,4_L15_D1,2_A0,4	1.217,06	2,43	374,04	9:01	90,3%	51,6%	54,3	83,3	0	6	80,5	4,9	0,4	35,0	26	0,78
Q05,4_L15_D1,2_A0,6	1.009,44	2,02	301,08	8:23	83,9%	61,9%	45,2	100,0	0	5	64,8	4,0	0,3	28,1	26	0,78
Q05,4_L15_D1,2_A0,8	833,38	1,67	235,03	7:47	77,9%	67,9%	31,5	125,0	0,6	3,4	44,0	10,5	0,5	22,2	26	0,78
Q05,4_L15_D1,6_A0,2	1.415,90	2,83	427,49	9:11	91,9%	44,2%	59,3	71,4	0	7	92,0	5,6	0,5	40,0	15	1,07
Q05,4_L15_D1,6_A0,4	1.211,90	2,42	362,58	8:46	87,7%	51,6%	52,5	83,3	0	6	78,0	4,8	0,4	33,9	15	1,06
Q05,4_L15_D1,6_A0,6	820,20	1,64	268,99	9:44	97,5%	77,3%	53,8	125,0	0	4	57,9	3,5	0,3	25,1	15	1,06

Cenário	Custo Total (R\$)	Custo por entrega (R\$)	Distância Percorrida (km)	Tempo médio de Rota/Veículo (h)	Percentual ocupação tempo disponível	Percentual ocupação capacidade volume	Qtd média paradas por rota	Qtd média entregas por rota	Van	Furgão Leve	Emissão CO (g)	Emissão Nox (g)	Emissão MP (g)	Consumo Combustível (L)	Qtd PC	Distância média de caminhada consumidor (km)
Q05,4_L15_D1,6_A0,8	772,17	1,54	218,86	7:36	76,1%	77,6%	30,7	133,3	0,2	3,6	44,7	5,6	0,3	20,5	15	1,05
Q05,4_L03_SemPC	1.355,92	2,71	294,20	8:49	88,2%	44,2%	71,4	71,4	0	7	63,3	3,9	0,3	27,5	0	0,00
Q05,4_L03_D0,8_A0,2	1.173,93	2,35	278,19	9:33	95,5%	51,6%	75,7	83,3	0	6	59,9	3,7	0,3	26,0	54	0,51
Q05,4_L03_D0,8_A0,4	978,72	1,96	232,83	9:22	93,7%	61,9%	70,8	100,0	0	5	50,1	3,1	0,3	21,8	54	0,52
Q05,4_L03_D0,8_A0,6	792,48	1,58	207,37	9:27	94,6%	77,3%	63,5	125,0	0	4	44,6	2,7	0,2	19,4	54	0,52
Q05,4_L03_D0,8_A0,8	774,38	1,55	167,15	6:55	69,2%	77,3%	38,5	125,0	0	4	36,0	2,2	0,2	15,6	54	0,52
Q05,4_L03_D1,2_A0,2	1.168,18	2,34	265,43	9:03	90,6%	51,6%	71,0	83,3	0	6	57,1	3,5	0,3	24,8	26	0,80
Q05,4_L03_D1,2_A0,4	975,33	1,95	225,30	8:51	88,5%	61,9%	65,2	100,0	0	5	48,5	3,0	0,2	21,1	26	0,78
Q05,4_L03_D1,2_A0,6	783,96	1,57	188,44	8:36	86,1%	77,3%	56,5	125,0	0	4	40,6	2,5	0,2	17,6	26	0,78
Q05,4_L03_D1,2_A0,8	646,39	1,29	144,21	8:43	87,2%	73,7%	42,0	166,7	1,2	1,8	20,4	13,9	0,6	13,9	26	0,78
Q05,4_L03_D1,6_A0,2	1.167,11	2,33	263,03	8:53	88,9%	51,6%	69,2	83,3	0	6	56,6	3,5	0,3	24,6	15	1,04
Q05,4_L03_D1,6_A0,4	972,96	1,95	220,03	8:36	86,1%	61,9%	63,0	100,0	0	5	47,4	2,9	0,2	20,6	15	1,05
Q05,4_L03_D1,6_A0,6	780,40	1,56	180,54	8:16	82,8%	77,3%	53,8	125,0	0	4	38,9	2,4	0,2	16,9	15	1,05
Q05,4_L03_D1,6_A0,8	654,88	1,31	141,59	8:27	84,6%	69,0%	38,3	166,7	1,4	1,6	18,3	15,6	0,7	13,7	15	1,05
Q10,7_L40_SemPC	3.376,20	3,38	1.800,49	9:40	96,8%	24,5%	58,8	58,8	0	17	387,6	23,8	2,0	168,3	0	0,00
Q10,7_L40_D0,8_A0,2	2.991,89	2,99	1.617,30	9:46	97,8%	41,2%	57,4	66,7	0	15	348,1	21,3	1,8	151,1	61	0,52
Q10,7_L40_D0,8_A0,4	2.544,95	2,54	1.362,04	9:23	93,9%	48,4%	51,7	78,2	0	12,8	293,2	18,0	1,5	127,3	61	0,52
Q10,7_L40_D0,8_A0,6	1.994,57	1,99	1.078,15	9:17	92,8%	61,9%	46,1	100,0	0	10	232,1	14,2	1,2	100,8	61	0,52
Q10,7_L40_D0,8_A0,8	1.412,16	1,41	768,99	9:14	92,5%	86,4%	37,3	142,9	0,2	6,8	161,5	14,7	1,0	72,0	61	0,52
Q10,7_L40_D1,2_A0,2	2.983,05	2,98	1.597,67	9:33	95,6%	41,2%	55,5	66,7	0	15	343,9	21,1	1,8	149,3	33	0,84
Q10,7_L40_D1,2_A0,4	2.430,49	2,43	1.308,94	9:29	95,0%	50,8%	51,9	82,0	0	12,2	281,8	17,3	1,4	122,3	33	0,85
Q10,7_L40_D1,2_A0,6	1.804,01	1,80	990,11	9:41	97,0%	68,7%	48,1	111,1	0	9	213,1	13,1	1,1	92,5	33	0,85
Q10,7_L40_D1,2_A0,8	1.423,40	1,42	751,45	8:51	88,5%	82,1%	33,3	142,9	0,6	6,4	150,0	23,3	1,3	70,6	33	0,84
Q10,7_L40_D1,6_A0,2	2.983,20	2,98	1.597,99	9:28	94,8%	41,2%	54,5	66,7	0	15	344,0	21,1	1,8	149,3	17	1,05
Q10,7_L40_D1,6_A0,4	2.389,03	2,39	1.283,89	9:27	94,5%	51,6%	51,4	83,3	0	12	276,4	16,9	1,4	120,0	17	1,03
Q10,7_L40_D1,6_A0,6	1.800,54	1,80	982,41	9:30	95,1%	68,7%	46,3	111,1	0	9	211,5	13,0	1,1	91,8	17	1,03
Q10,7_L40_D1,6_A0,8	1.430,01	1,43	745,14	8:39	86,6%	80,5%	31,0	142,9	0,8	6,2	144,8	27,5	1,5	70,2	17	1,03

Cenário	Custo Total (R\$)	Custo por entrega (R\$)	Distância Percorrida (km)	Tempo médio de Rota/Veículo (h)	Percentual ocupação tempo disponível	Percentual ocupação capacidade volume	Qtd média paradas por rota	Qtd média entregas por rota	Van	Furgão Leve	Emissão CO (g)	Emissão Nox (g)	Emissão MP (g)	Consumo Combustível (L)	Qtd PC	Distância média de caminhada consumidor (km)
Q10,7_L15_SemPC	2.930,12	2,93	840,41	9:36	96,1%	42,4%	68,6	68,6	0	14,6	180,9	11,1	0,9	78,5	0	0,00
Q10,7_L15_D0,8_A0,2	2.603,61	2,60	736,32	9:27	94,6%	47,6%	66,2	76,9	0	13	158,5	9,7	0,8	68,8	61	0,52
Q10,7_L15_D0,8_A0,4	2.201,92	2,20	620,51	9:08	91,3%	56,2%	60,1	90,9	0	11	133,6	8,2	0,7	58,0	61	0,52
Q10,7_L15_D0,8_A0,6	1.651,66	1,65	485,29	9:21	93,6%	75,6%	56,3	122,2	0	8,2	104,5	6,4	0,5	45,4	61	0,52
Q10,7_L15_D0,8_A0,8	1.417,73	1,42	389,23	8:00	80,2%	84,5%	37,3	142,9	0,4	6,6	79,8	9,7	0,6	36,5	61	0,52
Q10,7_L15_D1,2_A0,2	2.602,91	2,60	734,76	9:17	92,9%	47,6%	64,1	76,9	0	13	158,2	9,7	0,8	68,7	33	0,83
Q10,7_L15_D1,2_A0,4	2.011,89	2,01	586,64	9:36	96,1%	61,9%	63,3	100,0	0	10	126,3	7,7	0,6	54,8	33	0,84
Q10,7_L15_D1,2_A0,6	1.609,87	1,61	470,12	9:12	92,0%	77,3%	54,1	125,0	0	8	101,2	6,2	0,5	43,9	33	0,84
Q10,7_L15_D1,2_A0,8	1.274,42	1,27	353,47	8:53	88,9%	84,0%	38,8	166,7	1,4	4,6	61,0	21,7	1,0	33,6	33	0,84
Q10,7_L15_D1,6_A0,2	2.522,40	2,52	711,22	9:22	93,8%	49,2%	64,9	79,5	0	12,6	153,1	9,4	0,8	66,5	17	1,03
Q10,7_L15_D1,6_A0,4	2.013,18	2,01	589,52	9:30	95,1%	61,9%	61,7	100,0	0	10	126,9	7,8	0,6	55,1	17	1,04
Q10,7_L15_D1,6_A0,6	1.604,61	1,60	458,42	8:56	89,3%	77,3%	52,1	125,0	0	8	98,7	6,0	0,5	42,8	17	1,04
Q10,7_L15_D1,6_A0,8	1.303,61	1,30	333,80	8:41	86,9%	75,2%	36,2	166,7	2,2	3,8	49,5	29,7	1,3	32,0	17	1,03
Q10,7_L03_SemPC	2.310,10	2,31	472,48	9:38	96,3%	43,1%	83,3	83,3	0	12	101,7	6,2	0,5	44,2	0	0,00
Q10,7_L03_D0,8_A0,2	2.126,54	2,13	453,01	9:27	94,6%	56,2%	78,3	90,9	0	11	97,5	6,0	0,5	42,3	61	0,52
Q10,7_L03_D0,8_A0,4	1.735,46	1,74	360,77	9:14	92,4%	68,7%	73,4	111,1	0	9	77,7	4,8	0,4	33,7	61	0,52
Q10,7_L03_D0,8_A0,6	1.396,90	1,40	307,59	8:59	90,0%	86,2%	64,2	139,3	0	7,2	66,2	4,1	0,3	28,7	61	0,52
Q10,7_L03_D0,8_A0,8	1.238,03	1,24	229,07	7:56	79,3%	79,9%	43,5	166,7	1,8	4,2	36,9	17,1	0,8	21,9	61	0,52
Q10,7_L03_D1,2_A0,2	2.113,46	2,11	423,94	9:05	91,0%	56,2%	75,7	90,9	0	11	91,3	5,6	0,5	39,6	33	0,85
Q10,7_L03_D1,2_A0,4	1.733,30	1,73	355,98	8:58	89,7%	68,7%	70,3	111,1	0	9	76,6	4,7	0,4	33,3	33	0,84
Q10,7_L03_D1,2_A0,6	1.353,25	1,35	288,27	8:46	87,8%	88,4%	61,9	142,9	0	7	62,1	3,8	0,3	26,9	33	0,85
Q10,7_L03_D1,2_A0,8	1.289,31	1,29	215,83	7:48	78,1%	65,2%	38,8	166,7	3	3	26,7	25,2	1,1	20,9	33	0,84
Q10,7_L03_D1,6_A0,2	2.076,53	2,08	419,55	9:08	91,4%	57,4%	75,8	92,7	0	10,8	90,3	5,5	0,5	39,2	17	1,03
Q10,7_L03_D1,6_A0,4	1.693,18	1,69	344,50	8:58	89,8%	70,5%	70,3	113,9	0	8,8	74,2	4,5	0,4	32,2	17	1,03
Q10,7_L03_D1,6_A0,6	1.357,14	1,36	275,61	8:32	85,4%	86,3%	59,6	142,9	0,2	6,8	57,9	5,2	0,4	25,8	17	1,04
Q10,7_L03_D1,6_A0,8	1.223,74	1,22	204,43	8:10	81,7%	65,4%	39,1	180,0	3,2	2,4	22,1	27,5	1,1	19,9	17	1,03
Q21,5_L40_SemPC	6.325,59	3,16	3.323,35	9:49	98,3%	32,4%	62,5	62,5	0	32	715,4	43,9	3,7	310,6	0	0,00

Cenário	Custo Total (R\$)	Custo por entrega (R\$)	Distância Percorrida (km)	Tempo médio de Rota/Veículo (h)	Percentual ocupação tempo disponível	Percentual ocupação capacidade volume	Qtd média paradas por rota	Qtd média entregas por rota	Van	Furgão Leve	Emissão CO (g)	Emissão Nox (g)	Emissão MP (g)	Consumo Combustível (L)	Qtd PC	Distância média de caminhada consumidor (km)
Q21,5_L40_D0,8_A0,2	5.590,94	2,80	2.965,41	9:45	97,5%	43,9%	59,1	70,9	0	28,2	638,3	39,1	3,3	277,1	65	0,55
Q21,5_L40_D0,8_A0,4	4.486,51	2,24	2.389,48	9:45	97,5%	54,8%	56,0	88,5	0	22,6	514,4	31,5	2,6	223,3	65	0,54
Q21,5_L40_D0,8_A0,6	3.422,82	1,71	1.837,01	9:41	96,9%	72,0%	50,3	116,3	0	17,2	395,4	24,2	2,0	171,7	65	0,54
Q21,5_L40_D0,8_A0,8	2.694,32	1,35	1.372,55	9:11	91,9%	81,9%	35,8	153,9	2,4	10,6	249,0	70,7	3,5	129,9	65	0,54
Q21,5_L40_D1,2_A0,2	5.508,06	2,75	2.915,39	9:44	97,4%	44,5%	58,9	72,0	0	27,8	627,6	38,5	3,2	272,5	37	0,87
Q21,5_L40_D1,2_A0,4	4.372,42	2,19	2.337,20	9:49	98,2%	56,2%	56,2	90,9	0	22	503,1	30,8	2,6	218,4	37	0,86
Q21,5_L40_D1,2_A0,6	3.381,98	1,69	1.813,34	9:36	96,1%	72,8%	49,2	117,7	0	17	390,3	23,9	2,0	169,5	37	0,87
Q21,5_L40_D1,2_A0,8	2.693,45	1,35	1.331,85	9:05	91,0%	76,2%	34,2	156,4	3,4	9,4	221,8	91,1	4,2	126,8	37	0,87
Q21,5_L40_D1,6_A0,2	5.387,41	2,69	2.848,55	9:47	97,9%	45,5%	59,6	73,5	0	27,2	613,2	37,6	3,1	266,2	20	1,17
Q21,5_L40_D1,6_A0,4	4.373,52	2,19	2.339,64	9:46	97,7%	56,2%	55,5	90,9	0	22	503,6	30,9	2,6	218,7	20	1,16
Q21,5_L40_D1,6_A0,6	3.413,82	1,71	1.820,26	9:36	96,1%	70,2%	48,2	117,7	0,6	16,4	380,0	37,4	2,5	170,5	20	1,17
Q21,5_L40_D1,6_A0,8	2.640,78	1,32	1.285,23	9:10	91,7%	71,7%	33,9	161,5	4	8,4	200,6	103,0	4,6	122,8	20	1,17
Q21,5_L15_SemPC	5.374,10	2,69	1.455,06	9:48	98,0%	38,4%	74,1	74,1	0	27	313,2	19,2	1,6	136,0	0	0,00
Q21,5_L15_D0,8_A0,2	4.627,36	2,31	1.271,63	9:49	98,3%	53,3%	71,8	86,2	0	23,2	273,7	16,8	1,4	118,8	65	0,53
Q21,5_L15_D0,8_A0,4	3.793,64	1,90	1.050,30	9:39	96,6%	65,1%	66,6	105,3	0	19	226,1	13,9	1,2	98,2	65	0,55
Q21,5_L15_D0,8_A0,6	2.976,81	1,49	845,25	9:31	95,2%	82,8%	58,5	135,2	0,2	14,6	179,9	13,5	1,0	79,1	65	0,54
Q21,5_L15_D0,8_A0,8	2.617,53	1,31	647,86	8:49	88,3%	73,3%	38,8	166,7	4,8	7,2	92,2	62,1	2,7	62,2	65	0,54
Q21,5_L15_D1,2_A0,2	4.626,32	2,31	1.269,33	9:44	97,3%	53,3%	70,6	86,2	0	23,2	273,2	16,8	1,4	118,6	37	0,87
Q21,5_L15_D1,2_A0,4	3.792,38	1,90	1.047,48	9:33	95,5%	65,1%	65,1	105,3	0	19	225,5	13,8	1,2	97,9	37	0,87
Q21,5_L15_D1,2_A0,6	2.962,54	1,48	813,59	9:15	92,6%	82,5%	56,6	135,2	0,2	14,6	173,1	13,0	1,0	76,1	37	0,87
Q21,5_L15_D1,2_A0,8	2.488,60	1,24	594,43	8:47	88,0%	74,0%	38,4	175,8	4,8	6,6	82,0	59,8	2,6	57,2	37	0,87
Q21,5_L15_D1,6_A0,2	4.595,07	2,30	1.277,56	9:46	97,8%	53,8%	70,4	87,0	0	23	275,0	16,9	1,4	119,4	20	1,16
Q21,5_L15_D1,6_A0,4	3.677,23	1,84	1.024,66	9:42	97,1%	67,3%	66,4	108,8	0	18,4	220,6	13,5	1,1	95,8	20	1,17
Q21,5_L15_D1,6_A0,6	2.983,01	1,49	830,73	9:28	94,8%	78,8%	56,2	137,1	1,2	13,4	166,6	24,9	1,4	78,1	20	1,17
Q21,5_L15_D1,6_A0,8	2.449,97	1,22	579,40	9:00	90,1%	68,9%	38,2	181,8	5,6	5,4	70,5	69,0	2,9	56,1	20	1,17
Q21,5_L03_SemPC	4.391,83	2,20	825,92	9:40	96,8%	53,8%	87,0	87,0	0	23	177,8	10,9	0,9	77,2	0	0,00
Q21,5_L03_D0,8_A0,2	3.833,28	1,92	749,95	9:39	96,6%	61,9%	83,3	100,0	0	20	161,4	9,9	0,8	70,1	65	0,54

Cenário	Custo Total (R\$)	Custo por entrega (R\$)	Distância Percorrida (km)	Tempo médio de Rota/Veículo (h)	Percentual ocupação tempo disponível	Percentual ocupação capacidade volume	Qtd média paradas por rota	Qtd média entregas por rota	Van	Furgão Leve	Emissão CO (g)	Emissão Nox (g)	Emissão MP (g)	Consumo Combustível (L)	Qtd PC	Distância média de caminhada consumidor (km)
Q21,5_L03_D0,8_A0,4	3.072,80	1,54	613,69	9:39	96,6%	77,3%	79,1	125,0	0	16	132,1	8,1	0,7	57,4	65	0,54
Q21,5_L03_D0,8_A0,6	2.532,55	1,27	514,37	9:12	92,1%	92,0%	66,5	153,9	0,6	12,4	106,4	11,7	0,7	48,2	65	0,54
Q21,5_L03_D0,8_A0,8	2.268,57	1,13	363,05	8:35	85,9%	70,9%	44,8	192,7	6	4,4	39,7	48,3	2,0	35,3	65	0,54
Q21,5_L03_D1,2_A0,2	3.786,95	1,89	724,69	9:34	95,7%	62,5%	82,7	101,1	0	19,8	156,0	9,6	0,8	67,7	37	0,87
Q21,5_L03_D1,2_A0,4	3.060,74	1,53	586,89	9:24	94,2%	77,3%	77,3	125,0	0	16	126,3	7,7	0,6	54,8	37	0,87
Q21,5_L03_D1,2_A0,6	2.578,95	1,29	489,43	9:05	90,9%	85,6%	64,4	153,9	1,8	11,2	93,0	20,4	1,1	46,2	37	0,87
Q21,5_L03_D1,2_A0,8	2.222,63	1,11	330,81	8:35	85,9%	65,4%	43,7	200,0	6,8	3,2	30,0	51,0	2,1	32,4	37	0,87
Q21,5_L03_D1,6_A0,2	3.673,71	1,84	706,10	9:44	97,4%	64,5%	84,4	104,2	0	19,2	152,0	9,3	0,8	66,0	20	1,17
Q21,5_L03_D1,6_A0,4	3.072,00	1,54	611,91	9:27	94,6%	77,3%	76,3	125,0	0	16	131,7	8,1	0,7	57,2	20	1,17
Q21,5_L03_D1,6_A0,6	2.607,79	1,30	489,58	9:03	90,6%	80,5%	63,1	153,9	2,4	10,6	88,8	25,3	1,2	46,3	20	1,17
Q21,5_L03_D1,6_A0,8	1.994,70	1,00	319,10	9:04	90,8%	72,0%	46,7	222,2	5,8	3,2	30,9	46,9	1,9	31,2	20	1,17
Q32,2_L40_SemPC	9.179,13	3,06	4.767,40	9:51	98,6%	33,3%	64,4	64,4	0	46,6	1.026,2	62,9	5,2	445,6	0	0,00
Q32,2_L40_D0,8_A0,2	7.894,85	2,63	4.127,23	9:50	98,3%	46,4%	61,6	75,0	0	40	888,4	54,5	4,5	385,7	63	0,53
Q32,2_L40_D0,8_A0,4	6.322,75	2,11	3.317,04	9:48	98,1%	58,0%	58,2	93,8	0	32	714,0	43,8	3,6	310,0	63	0,54
Q32,2_L40_D0,8_A0,6	4.962,61	1,65	2.599,89	9:34	95,7%	73,2%	50,5	120,0	0,4	24,6	552,1	42,9	3,2	243,3	63	0,53
Q32,2_L40_D0,8_A0,8	3.851,01	1,28	1.880,51	9:20	93,4%	78,2%	36,4	164,9	5,4	12,8	302,8	140,3	6,3	179,4	63	0,53
Q32,2_L40_D1,2_A0,2	7.817,04	2,61	4.088,49	9:49	98,3%	46,9%	61,4	75,8	0	39,6	880,1	54,0	4,5	382,1	31	0,82
Q32,2_L40_D1,2_A0,4	6.247,13	2,08	3.283,16	9:49	98,2%	58,7%	58,0	95,0	0	31,6	706,7	43,3	3,6	306,8	31	0,82
Q32,2_L40_D1,2_A0,6	4.820,34	1,61	2.552,19	9:44	97,3%	75,4%	50,9	124,0	0,4	23,8	541,6	42,4	3,1	238,8	31	0,82
Q32,2_L40_D1,2_A0,8	3.866,19	1,29	1.854,65	9:19	93,3%	72,3%	35,1	166,9	6,6	11,4	274,4	165,8	7,3	177,8	31	0,82
Q32,2_L40_D1,6_A0,2	7.721,30	2,57	4.044,30	9:51	98,5%	47,7%	61,7	76,5	0	39	883,2	53,8	4,5	376,6	20	1,14
Q32,2_L40_D1,6_A0,4	6.332,46	2,11	3.338,62	9:45	97,6%	58,0%	56,9	93,8	0	32	718,7	44,1	3,7	312,0	20	1,14
Q32,2_L40_D1,6_A0,6	4.885,99	1,63	2.563,83	9:31	95,3%	74,4%	49,6	122,0	0,4	24,2	544,3	42,4	3,1	239,9	20	1,14
Q32,2_L40_D1,6_A0,8	3.780,20	1,26	1.818,59	9:21	93,6%	71,0%	35,3	170,6	6,4	11,2	270,1	161,4	7,1	174,3	20	1,14
Q32,2_L15_SemPC	7.708,12	2,57	1.980,68	9:48	98,0%	32,1%	76,9	76,9	0	39	426,4	26,1	2,2	185,1	0	0,00
Q32,2_L15_D0,8_A0,2	6.684,82	2,23	1.804,17	9:52	98,8%	55,2%	73,3	89,3	0	33,6	388,4	23,8	2,0	168,6	63	0,54
Q32,2_L15_D0,8_A0,4	5.406,91	1,80	1.450,27	9:42	97,2%	68,2%	68,5	110,3	0	27,2	312,2	19,1	1,6	135,5	63	0,53

Cenário	Custo Total (R\$)	Custo por entrega (R\$)	Distância Percorrida (km)	Tempo médio de Rota/Veículo (h)	Percentual ocupação tempo disponível	Percentual ocupação capacidade volume	Qtd média paradas por rota	Qtd média entregas por rota	Van	Furgão Leve	Emissão CO (g)	Emissão Nox (g)	Emissão MP (g)	Consumo Combustível (L)	Qtd PC	Distância média de caminhada consumidor (km)
Q32,2_L15_D0,8_A0,6	4.273,15	1,42	1.133,90	9:29	94,9%	83,8%	59,6	141,6	1,2	20	232,5	28,1	1,7	106,4	63	0,53
Q32,2_L15_D0,8_A0,8	3.591,01	1,20	826,78	8:56	89,4%	74,7%	40,5	183,1	7,4	9	109,7	88,2	3,8	79,7	63	0,53
Q32,2_L15_D1,2_A0,2	6.588,65	2,20	1.745,82	9:48	98,0%	55,9%	73,2	90,4	0	33,2	375,8	23,0	1,9	163,2	31	0,82
Q32,2_L15_D1,2_A0,4	5.370,90	1,79	1.447,94	9:41	96,9%	68,7%	67,8	111,1	0	27	311,7	19,1	1,6	135,3	31	0,81
Q32,2_L15_D1,2_A0,6	4.295,37	1,43	1.162,19	9:29	94,8%	82,5%	58,1	141,6	1,4	19,8	235,9	31,5	1,9	109,1	31	0,82
Q32,2_L15_D1,2_A0,8	3.540,32	1,18	806,07	8:58	89,7%	71,5%	39,5	187,8	8	8	99,5	94,4	4,0	78,0	31	0,82
Q32,2_L15_D1,6_A0,2	6.497,23	2,17	1.698,04	9:48	98,0%	56,6%	73,8	91,5	0	32,8	365,5	22,4	1,9	158,7	20	1,14
Q32,2_L15_D1,6_A0,4	5.382,44	1,79	1.452,42	9:41	97,0%	68,2%	67,4	111,1	0,2	26,8	310,7	21,4	1,7	135,8	20	1,14
Q32,2_L15_D1,6_A0,6	4.320,01	1,44	1.153,55	9:27	94,7%	79,9%	57,6	141,6	2	19,2	228,4	37,8	2,1	108,5	20	1,14
Q32,2_L15_D1,6_A0,8	3.401,94	1,13	788,12	9:19	93,3%	72,3%	40,8	197,5	8,2	7	91,7	98,6	4,1	76,4	20	1,14
Q32,2_L03_SemPC	6.269,12	2,09	1.113,44	9:49	98,3%	56,2%	90,9	90,9	0	33	239,7	14,7	1,2	104,1	0	0,00
Q32,2_L03_D0,8_A0,2	5.364,90	1,79	968,49	9:47	97,9%	65,8%	87,4	106,4	0	28,2	208,5	12,8	1,1	90,5	63	0,53
Q32,2_L03_D0,8_A0,4	4.338,83	1,45	785,81	9:38	96,5%	81,4%	81,7	131,6	0	22,8	169,2	10,4	0,9	73,4	63	0,53
Q32,2_L03_D0,8_A0,6	3.792,63	1,26	671,46	9:02	90,3%	86,3%	65,8	156,3	2,8	16,4	126,5	29,2	1,5	63,4	63	0,53
Q32,2_L03_D0,8_A0,8	3.112,80	1,04	442,36	8:41	87,0%	71,7%	46,7	211,4	9	5,2	43,8	64,0	2,6	43,2	63	0,53
Q32,2_L03_D1,2_A0,2	5.322,44	1,77	951,82	9:43	97,2%	66,3%	86,8	107,1	0	28	204,9	12,6	1,0	89,0	31	0,82
Q32,2_L03_D1,2_A0,4	4.405,07	1,47	833,98	9:37	96,2%	80,2%	79,6	130,4	0,2	22,8	178,2	12,5	1,0	78,0	31	0,81
Q32,2_L03_D1,2_A0,6	3.922,59	1,31	655,85	8:48	88,1%	79,4%	62,8	153,2	4,2	15,4	115,4	37,9	1,8	62,2	31	0,82
Q32,2_L03_D1,2_A0,8	3.000,88	1,00	441,07	9:07	91,2%	70,0%	47,2	224,2	9,6	3,8	36,7	71,8	2,9	43,3	31	0,82
Q32,2_L03_D1,6_A0,2	5.327,77	1,78	963,67	9:43	97,3%	66,3%	86,4	107,1	0	28	207,4	12,7	1,1	90,1	20	1,14
Q32,2_L03_D1,6_A0,4	4.428,12	1,48	828,88	9:28	94,8%	80,0%	78,5	129,3	0	23,2	178,4	10,9	0,9	77,5	20	1,14
Q32,2_L03_D1,6_A0,6	3.882,31	1,29	670,32	9:08	91,4%	74,4%	64,2	157,9	5,4	13,6	109,6	48,2	2,2	63,9	20	1,14
Q32,2_L03_D1,6_A0,8	2.837,47	0,95	437,89	9:14	92,3%	75,7%	48,5	234,6	8,4	4,4	41,5	65,6	2,7	42,8	20	1,14