

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA INDUSTRIAL

MICHELLA AGUIAR COELHO

PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADA À CASOS REAIS DE
DESIGNAÇÃO DE ENTREGADORES EM UMA EMPRESA DE *FOOD*
DELIVERY

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2021

MICHELLA AGUIAR COELHO

**PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADA À CASOS REAIS
DE DESIGNAÇÃO DE ENTREGADORES EM UMA EMPRESA
DE *FOOD DELIVERY***

*Mathematical Programming Applied to Assignment of Couriers in Real
Cases of a Food Delivery Company*

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre(a) em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Leandro Magatão

CURITIBA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es).

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



MICHELLA AGUIAR COELHO

PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA APLICADA À CASOS REAIS DE DESIGNAÇÃO DE ENTREGADORES EM UMA EMPRESA DE FOOD DELIVERY

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Ciências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia De Automação E Sistemas.

Data de aprovação: 26 de Outubro de 2021

Prof Leandro Magatao, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Luiz Carlos De Abreu Rodrigues, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof William Hitoshi Tsunoda Meira, Doutorado - Boticario

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 26/10/2021.

Dedico este trabalho à Deus, minha família e a
meu orientador.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por cada dia vivido e pela oportunidade de sempre estar buscando mais conhecimento.

Agradeço à minha família, meus pais, meu marido, que sempre me motivaram a continuar na caminhada do conhecimento.

De forma especial, gostaria de agradecer ao meu orientador, Leandro Magatão, que em todos os momentos de insegurança e incerteza me incentivou a continuar sempre fazendo o meu melhor. Sempre disponibilizando seu tempo e conhecimentos para que pudéssemos evoluir na caminhada.

Certamente não teria chegado até aqui sem o incentivo e apoio de vocês. Muito obrigada!

A persistência é o caminho do êxito
(Charles Chaplin).

RESUMO

COELHO, Michella Aguiar. **Programação Matemática Aplicada à Casos Reais de Designação de Entregadores em uma Empresa de *Food Delivery***. 2021. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

Com a pandemia da COVID-19, os aplicativos que fornecem serviço de entrega de comida e produtos passaram a ser uma atividade essencial para a sociedade. Um dos desafios das empresas detentoras dessas plataformas, por meio das quais o cliente realiza pedidos de refeição e produtos, é a exigência de serviços de entrega *on-line* que precisam ser eficientes e escaláveis. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para o problema de designação de entregadores para os pedidos realizados por plataformas de *Food Delivery online*, o qual pode ser categorizado como um problema de *Order Assignment* (Atribuição de Pedidos ou Designação de Pedidos). Na literatura pesquisada, o contexto em análise também é referenciado segundo a denominação *Food Delivery Problem*. A metodologia de solução proposta engloba uma aplicação que processa os dados obtidos de casos reais para que, na sequência, um modelo matemático implementado em Programação Linear Inteira Mista (PLIM) possa designar para cada pedido o melhor entregador (em relação a critérios de tempo e distância), levando-se em consideração o grupo de pedidos e entregadores que precisavam ser combinados para aquele instante de tempo. O modelo proposto neste trabalho resolve os casos nos quais o número de entregadores disponíveis é maior que o número de pedidos a serem alocados, condição que representa a maioria dos cenários vivenciados pela empresa que forneceu os dados dos casos reais. Também são resolvidos de modo parcial os casos em que o número de pedidos é superior ao número de entregadores em um dado instante de tempo. Os resultados obtidos pelo modelo matemático proposto são comparados com os casos reais e sugerem, em média, um tempo de entrega inferior ao tempo efetivamente gasto (*e.g.*, 30% a 50%), função de uma alocação mais adequada dos entregadores. Também foram realizados testes de escalabilidade para o modelo matemático proposto, os quais mostraram o aumento do tempo de execução do modelo conforme foram variados o número de pedidos e entregadores. Embasando-se nos resultados dos casos estudados e na validação de especialista do sistema, conclui-se que a metodologia proposta poderia ser aplicada para cenários reais *on-line* e levantou-se novas possibilidades para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Entrega de Alimentos (*Food Delivery*). Entrega de Última Milha (*Last-Mile*). Designação de Pedidos. Programação Linear Inteira Mista (PLIM).

ABSTRACT

COELHO, Michella Aguiar. *Mathematical Programming Applied to Assignment of Couriers in Real Cases of a Food Delivery Company*. 2021. 90 p. Dissertation (Master's Degree in Electrical and Computer Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

With the COVID-19 pandemic, applications that provide food and product delivery services have become an essential activity for society. One of the challenges for companies that own these platforms, through which the customer orders meals and products, is the demand for online delivery services that have to be efficient and scalable. The objective of this dissertation is to develop a methodology for the problem of deliverymen assignment for orders made through online Food Delivery platforms, which can be categorized as an Order Assignment Problem. In the searched literature, the context under analysis is also referred as Food Delivery Problem. The proposed solution methodology encompasses an application that processes data obtained from real cases. In the sequence, a mathematical model implemented in Mixed Integer Linear Programming (MILP) can designate the best deliveryman for each order (in relation to time and distance criteria), taking into account the group of orders and deliveries that needed to be combined for that instant of time. The proposed model solves the cases in which the number of available couriers is equal or greater than the number of orders to be allocated, a condition that represents the majority of scenarios experienced by the company that provided the data for real cases. The model is also able to partially solve cases with the number of orders greater than the number of deliverymen. The results obtained by the proposed mathematical model are compared with real cases and suggest, on average, a lower delivery time (e.g., 30% to 50%) than the time actually spent, as a function of a more efficient allocation of the deliverymen. Scalability tests were also performed for the proposed mathematical model, which showed an increase in the model execution time as the number of orders and deliverymen increase. Based on the obtained results and on the system specialist validation, it has been concluded that the proposed methodology could be applied to real online scenarios and new possibilities for future related studies have been raised.

Keywords: Food Delivery Problem. Last-Mile Delivery. Order Assignment. Mixed Integer Linear Programming (MILP).

LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1 – Cálculo da idade do pedido.	57
Algoritmo 2 – Cálculo da distância entre o ponto de coleta e o ponto de entrega	57
Algoritmo 3 – Cálculo do tempo entre o ponto de coleta e entrega para cada meio de transporte	58
Algoritmo 4 – Cálculo do tempo para o entregador se deslocar ao ponto de coleta baseado no meio de transporte que o mesmo está utilizando.	58
Algoritmo 5 – Cálculo do tempo de espera que o entregador terá que aguardar para o pedido ficar pronto.	58

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – As funções associadas com as plataformas de Entrega de Comida, do inglês <i>Food Delivery</i> (FD) <i>online</i> . Setas indicam troca de informação ou logística; linhas indicam rotas necessárias; linhas pontilhadas indicam rotas opcionais.	16
Figura 2 – Representação esquemática do transporte de última milha.	24
Figura 3 – Ciclo de vida de um pedido no contexto de <i>Food Delivery</i>	41
Figura 4 – Representação da linha do tempo de um pedido no problema de <i>Order Assignment</i>	48
Figura 5 – Representação do cenário $NEL \geq NP$	49
Figura 6 – Representação do cenário $NEL < NP$	49
Figura 7 – Diagrama da metodologia aplicada.	51
Figura 8 – Diagrama de Entidade Relacionamento da Aplicação de Processamento de Dados	55
Figura 9 – Modelo de dados utilizado para análise de resultados.	65
Figura 10 – Disposição geográfica dos consumidores (pontos em vermelho com legenda iniciada pela letra ‘C’ junto ao número do pedido de referência), entregadores escolhidos pelo modelo para realizar as entregas (pontos em verde com legenda iniciada pela letra ‘MC’ junto ao número do pedido de referência) e estabelecimento responsável pelo pedido (pontos em roxo com legenda iniciada pela letra ‘E’ junto ao número do pedido de referência).	70
Figura 11 – Disposição geográfica dos consumidores (pontos em vermelho com legenda iniciada pela letra ‘C’ junto ao número do pedido de referência), entregadores escolhidos no caso real para realizar as entregas (pontos em azul com legenda iniciada pela letra ‘C’ junto ao número do pedido de referência) e estabelecimento responsável pelo pedido (pontos em roxo com legenda iniciada pela letra ‘E’ junto ao número do pedido de referência).	71
Quadro 1 – Artigos classificados no grupo alta compatibilidade.	27
Quadro 2 – Classificação do problema segundo os autores de cada artigo.	28
Quadro 3 – Abordagem de resolução apresentada.	39
Quadro 4 – Descrição de cada campo do modelo de dados <i>ModelResult</i>	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices e conjuntos utilizados para elaboração do modelo matemático.	59
Tabela 2 – Parâmetros utilizados para elaboração do modelo matemático.	60
Tabela 3 – Variáveis adotadas para elaboração do modelo matemático.	60
Tabela 4 – Casos a serem analisados neste trabalho.	63
Tabela 5 – Classificação das cidades de onde foram retirados os casos para análise. . .	64
Tabela 6 – Resultado das médias de tempo e distância realizadas pelo modelo analogamente ao realizado pela Empresa X.	67
Tabela 7 – Tempo de execução computacional da abordagem e pedidos alocados para cada caso resolvido.	68
Tabela 8 – Comparação do desempenho para número de entregadores e pedidos crescendo de forma igualitária.	75
Tabela 9 – Comparação do desempenho para número de entregadores progressivo e número de pedidos fixo.	76
Tabela 10 – Comparação do desempenho para número de entregadores progressivo e número de pedidos fixo.	76
Tabela 11 – Resultados para o caso 1.	85
Tabela 12 – Resultados para o caso 2.	85
Tabela 13 – Resultados para o caso 3.	85
Tabela 14 – Resultados para o caso 4.	85
Tabela 15 – Resultados para o caso 5.	86
Tabela 16 – Resultados para o caso 6.	86
Tabela 17 – Resultados para o caso 7 (continua).	87
Tabela 18 – Resultados para o caso 7 (continuação)	88
Tabela 19 – Resultados para o caso 8.	88
Tabela 20 – Resultados para o caso 9.	88
Tabela 21 – Resultados para o caso 10.	89
Tabela 22 – Resultados para o caso 11.	89
Tabela 23 – Resultados para o caso 12.	89
Tabela 24 – Resultados para o caso 13.	89
Tabela 25 – Resultados para o caso 14.	90
Tabela 26 – Resultados para o caso 15.	90

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

SIGLAS

<i>NEL</i>	Número de Entregadores Livres
<i>NP</i>	Número de Pedidos
APD	Aplicação de Processamento de Dados
API	Interface de Programação de Aplicações, do inglês <i>Application Programming Interface</i>
B2B	Negócio realizado de Empresa para Empresa, do inglês <i>Business to Business</i>
B2C	Negócio realizado de Empresa para Cliente, do inglês <i>Business to Customer</i>
C2C	Negócio realizado de Cliente para Cliente, do inglês <i>Customer to Customer</i>
dPDP	Problema Dinâmico de Coleta e Entrega, do inglês <i>Dynamic Pickup And Delivery Problem</i>
dVRP	Problema Dinâmico de Roteamento de Veículos, do inglês <i>Dynamic Vehicle Routing Problem</i>
FD	Entrega de Comida, do inglês <i>Food Delivery</i>
FDA	Aplicativos de Entrega de Comida, do inglês <i>Food Delivery Applications</i>
MDRP	Problema de Roteamento de Entrega de Refeições, do inglês <i>Meal Delivery Routing Problem</i>
O2O	<i>On-line</i> para o <i>Off-line</i> , do inglês <i>On-line to Off-line</i>
OA	Designação de Pedido, do inglês <i>Order Assignment</i>
OARP	Problema de Designação de Pedido e Roteamento, do inglês <i>Order Assignment and Routing Problem</i>
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
RMDP	Problema de Entrega de Refeição de Restaurante, do inglês <i>Restaurant Meal Delivery Problem</i>
RP	Problema de Roteamento, do inglês <i>Routing Problem</i>
VFCDP	Problema de Entrega de Praça de Alimentação Virtual, do inglês <i>Virtual Food Court Delivery Problem</i>
VRP	Problema de Roteamento de Veículos, do inglês <i>Vehicle Routing Problem</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA ESTUDADO	15
1.2	OBJETIVOS	17
1.3	JUSTIFICATIVA E LIMITAÇÕES	18
1.4	ESTRUTURAÇÃO	19
2	REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	AMBIENTAÇÃO DO PROBLEMA E DEFINIÇÃO DE CONCEITOS RELEVANTES SEGUNDO A LITERATURA	20
2.1.1	Ambientação do Problema de <i>Food Delivery</i>	20
2.1.2	Uma Visão Geral Sobre o Problema de Entrega de Última Milha	23
2.1.3	Uma Visão Geral Sobre o Problema de Entrega de Refeições (<i>Food Delivery Problem</i>)	25
2.2	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	26
2.2.1	Classificação do problema segundo cada referência	26
2.3	ELUCIDAÇÃO DAS CLASSES DE PROBLEMAS APRESENTADAS NA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	27
2.3.1	<i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP)	28
2.3.2	<i>Dynamic Vehicle Routing Problem</i> (Problema Dinâmico de Roteamento de Veículos, do inglês <i>Dynamic Vehicle Routing Problem</i> (dVRP))	30
2.3.3	<i>Order Assignment and Routing Problem</i> (Problema de Designação de Pedido e Roteamento, do inglês <i>Order Assignment and Routing Problem</i> (OARP))	30
2.3.4	<i>Virtual Food Court Delivery Problem</i> (Problema de Entrega de Praça de Alimentação Virtual, do inglês <i>Virtual Food Court Delivery Problem</i> (VFCDP))	31
2.3.5	<i>Dynamic Pickup and Delivery Problem</i> (Problema Dinâmico de Coleta e Entrega, do inglês <i>Dynamic Pickup And Delivery Problem</i> (dPDP))	31
2.3.6	<i>Meal Delivery Routing Problem</i> (Problema de Roteamento de Entrega de Refeições, do inglês <i>Meal Delivery Routing Problem</i> (MDRP))	32
2.3.7	<i>Restaurant Meal Delivery Problem</i> (Problema de Entrega de Refeição de Restaurante, do inglês <i>Restaurant Meal Delivery Problem</i> (RMDP))	33
2.4	METODOLOGIAS DE RESOLUÇÃO APRESENTADAS NA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	33
3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	40
3.1	O CONTEXTO DO PROBLEMA DE <i>ORDER ASSIGNMENT</i>	40
3.1.1	Atores do Problema de <i>Order Assignment</i>	41
3.1.1.1	O papel do consumidor	42
3.1.1.2	O papel do entregador	42
3.1.1.3	O papel do estabelecimento	42
3.1.1.4	O papel da plataforma	42
3.2	O PROBLEMA DE <i>ORDER ASSIGNMENT</i>	43
3.2.1	Informações do entregador	43
3.2.1.1	A disponibilidade do entregador	43
3.2.1.2	A localização do entregador	44
3.2.1.3	Meio de Transporte do Entregador	44

3.2.2	Informações do pedido	44
3.2.2.1	Instante em que o pedido entra na plataforma	45
3.2.2.2	Instante em que o entregador aceita o pedido	45
3.2.2.3	Instante em que o entregador coleta o pedido	45
3.2.2.4	Instante em que o entregador chega ao ponto de entrega	45
3.2.2.5	Instante em que o entregador entrega o pedido ao consumidor	45
3.2.2.6	O estado do pedido	46
3.2.3	Informações do estabelecimento	46
3.2.3.1	Localização do estabelecimento	46
3.2.3.2	Tempo de preparo	46
3.2.3.3	Tipo do estabelecimento	47
3.2.4	Informações do consumidor	47
3.3	LINHA DO TEMPO PARA O PROBLEMA DE <i>ORDER ASSIGNMENT</i>	47
3.4	CENÁRIOS DO PROBLEMA DE <i>ORDER ASSIGNMENT</i>	48
4	METODOLOGIA APLICADA	51
4.1	DADOS RECEBIDOS	52
4.1.1	Dados Coletados no Domínio do Entregador	52
4.1.2	Dados Coletados no Domínio do Pedido, Estabelecimento e Consumidor	53
4.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS COLETADOS	53
4.2.1	Mapeamento das informações	53
4.2.1.1	Sobre a identificação dos pedidos e dos entregadores	54
4.2.1.2	Sobre os pedidos	54
4.2.1.3	Sobre a relação pedido-entregador	54
4.2.2	Processamento das informações	55
4.2.3	Cálculo de Distância e Tempo Entre Coordenadas Geográficas	56
4.2.3.1	Geração do arquivo A3	57
4.2.3.2	Geração do arquivo A4	58
4.3	MODELAGEM MATEMÁTICA	59
4.3.1	Função Objetivo	61
4.3.2	Restrições do modelo	62
4.4	CASOS A RESOLVER	63
4.5	GERAÇÃO DE RESULTADOS PARA ANÁLISE	64
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1	RESULTADOS DOS CASOS	66
5.1.1	Discussão Caso 1	67
5.1.2	Discussão Caso 2	69
5.1.3	Discussão Caso 7	72
5.1.4	Discussão Geral	73
5.2	DESEMPENHO COMPUTACIONAL E ESCALABILIDADE DO MODELO	74
5.2.1	Escalabilidade do Modelo para Progressão Igualitária do Número de Pedidos e Entregadores	75
5.2.2	Escalabilidade do Modelo para Progressão do Número de Entregadores com Número Fixo de Pedidos	75
5.2.3	Escalabilidade do Modelo para Progressão do Número de Pedidos com Número Fixo de Entregadores	76
5.2.4	Discussão Sobre Desempenho e Escalabilidade	76

6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	78
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
6.2	TRABALHOS FUTUROS	80
	REFERÊNCIAS	82
	APÊNDICE A – RESULTADOS DETALHADOS PARA OS CASOS	
	AVALIADOS	85

1 INTRODUÇÃO

Com a pandemia da COVID-19 os aplicativos de entrega de refeições e produtos passaram a ser atividades essenciais para a sociedade. Este trabalho aborda uma das partes envolvidas no ciclo de vida de um pedido realizado neste tipo de aplicativo, que é a escolha do entregador para realizar um pedido específico, o problema de *Order Assignment*. O problema é contextualizado na seção 1.1, assim como são expostos os objetivos e justificativa desta pesquisa nas seções 1.2 e 1.3. Por fim, é apresentada a estrutura para o presente trabalho na seção 1.4.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA ESTUDADO

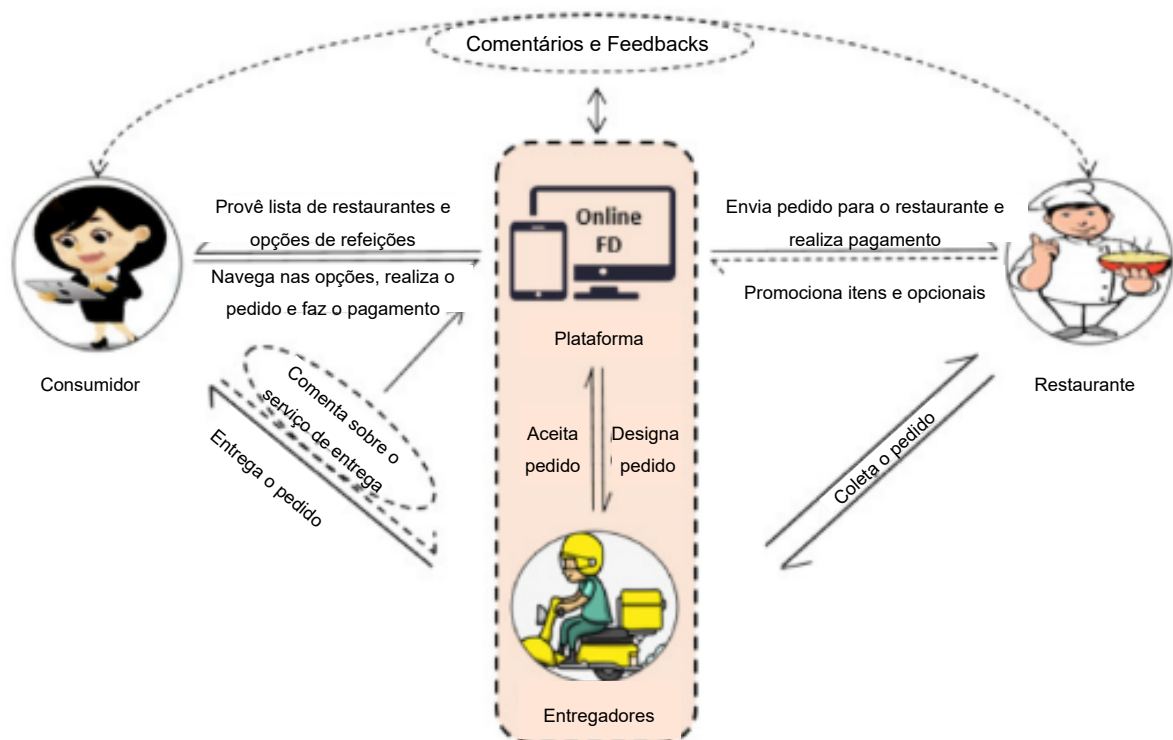
O mercado de *e-commerce* experimentou um forte crescimento na última década, à medida que os clientes se movimentaram para o mercado *online*. Essa mudança na forma como os consumidores compram foi impulsionada por uma ampla diversidade de fatores, alguns sendo dependentes do mercado ou do país, outros ocorrendo como resultado de mudanças em todo o mundo. Essas mudanças incluem: um aumento na receita individual, especialmente nas nações em desenvolvimento; maior tempo de trabalho e deslocamento; aumento da penetração da *internet* banda larga e maior segurança dos métodos de pagamentos *online*; um relaxamento das barreiras comerciais; um aumento no número de varejistas que vendem *online*; e um maior conhecimento do comércio *online* por parte dos clientes (LI *et al.*, 2020).

Segundo Li *et al.* (2020), o rápido crescimento do comércio eletrônico gerou muitas novas formas de negócios, como Negócio realizado de Empresa para Empresa, do inglês *Business to Business* (B2B), Negócio realizado de Cliente para Cliente, do inglês *Customer to Customer* (C2C), Negócio realizado de Empresa para Cliente, do inglês *Business to Customer* (B2C) e *On-line* para o *Off-line*, do inglês *On-line to Off-line* (O2O). No O2O os consumidores fazem pedidos de bens ou serviços *online* e recebem os bens ou serviços de forma *off-line*.

Os serviços O2O surgiram em diferentes áreas, incluindo a compra de diversas categorias de produtos e serviços, como alimentos, quartos de hotel, imóveis ou aluguel de carros. O FD *online* (*Food Delivery online*) refere-se ao processo pelo qual os alimentos encomendados *online* são preparados e entregues ao consumidor. O desenvolvimento do FD *online* foi sustentado pelo desenvolvimento de plataformas de FD *online* integradas, como *Uber Eats*, *Deliveroo*, *Swiggy* e *Meituan*. As plataformas de FD *online* têm uma variedade de funções, incluindo fornecer aos con-

sumidores uma ampla variedade de opções de alimentos, a recepção de pedidos e a retransmissão desses pedidos para o produtor de alimentos, o monitoramento do pagamento, a organização da entrega dos alimentos e a provisão de facilidades de rastreamento, conforme ilustrado na Figura 1. Os Aplicativos de Entrega de Comida, do inglês *Food Delivery Applications* (FDA), funcionam dentro do contexto mais amplo do FD *online*, pois permitem o pedido de alimentos por meio de aplicativos móveis (LI *et al.*, 2020).

Figura 1 – As funções associadas com as plataformas de FD *online*. Setas indicam troca de informação ou logística; linhas indicam rotas necessárias; linhas pontilhadas indicam rotas opcionais.



Fonte: (LI *et al.*, 2020)

Este trabalho aborda a função de designação do pedido para o entregador, *Order Assignment*. Segundo Reyes *et al.* (2018) a entrega de refeições é indiscutivelmente o maior desafio na logística de última milha (do inglês *last-mile delivery*): espera-se que um pedido seja entregue dentro de um hora (muito menos, se possível) e dentro de minutos da refeição ter ficado pronta.

Basicamente, o cenário do problema de Designação de Pedido, do inglês *Order Assignment* (OA) é buscar designar o melhor entregador para transportar um determinado pedido, levando em consideração os desafios envolvidos no contexto, em especial: o pedido deverá chegar o mais rápido possível nas mãos do consumidor após coletado pelo entregador.

O problema de *Order Assignment* é também referenciado na literatura como *Food Delivery Problem*, como pode ser encontrado em Cosmi *et al.* (2019) e Li *et al.* (2020), por exemplo. Optou-se por referenciá-lo como problema de OA por considerar que esta nomenclatura representa de forma mais clara a parte do processo será referida e abordada ao longo deste trabalho. Na (seção 1.2) a seguir, são apresentados os objetivos deste trabalho dentro do problema de *Order Assignment*.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação encontra-se em otimizar a escolha do entregador para realizar a entrega de um determinado pedido de refeição ou produto a um cliente final, o qual realizou o pedido por meio de uma plataforma *online* de entrega de refeições e produtos.

Essa designação é realizada considerando-se um conjunto de entregadores possíveis para um determinado conjunto de pedidos que necessitam ser entregues em um curto espaço de tempo para o cliente, cenário que é caracterizado como um contexto de *last-mile delivery*. Casos reais cedidos por uma empresa detentora de uma plataforma de FD (*Food Delivery*) *online*, denominada Empresa X, são resolvidos dentro do contexto de *Order Assignment* através da combinação entre o processamento de dados e um modelo matemático em Programação Linear Inteira Mista.

De modo simplificado, o sucesso para esse objetivo é alcançado quando a metodologia proposta obtiver um tempo menor na realização das entregas recebidas pela plataforma de FD *online*, o que significa que o pedido tende a chegar mais rápido nas mãos do cliente final, aumentando a satisfação referente ao serviço prestado.

Para alcançar o objetivo geral mencionado, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Descrever o problema de forma completa segundo a realidade e os dados do contexto da Empresa X;
- Implementar uma aplicação para processamento e classificação dos dados obtidos da Empresa X, de forma que os mesmos possam ser utilizados como entrada para modelo matemático de otimização;
- Implementar um modelo matemático em Programação Linear Inteira Mista para designação de quais entregadores devem realizar cada um dos pedidos no contexto de *last-mile*

delivery;

- Analisar e discutir os resultados da metodologia de solução proposta, constituída pela aplicação de processamento de dados e o modelo matemático, em comparação com casos reais.
- Realizar análise de escalabilidade da abordagem de solução proposta.

1.3 JUSTIFICATIVA E LIMITAÇÕES

Segundo Pal *et al.* (2021) *apud* Singh (2020), a COVID-19 emergiu como uma grave pandemia global que resultou na aplicação de medidas restritivas por parte dos governos em todo o mundo para conter a propagação do vírus causador (Sars-CoV-2). As restrições afetaram todas as formas de negócios, incluindo a indústria de restaurantes. Houve proibições estritas a respeito de realizar refeições em restaurantes, o que impactou gravemente o negócio. Na Índia, por exemplo, de acordo com um relatório recente da Associação Nacional dos Restaurantes da Índia, as vendas caíram de 30% a 35%, pois as pessoas passaram a evitar lugares fechados onde há aglomeração. Uma opção através da qual a indústria de restaurantes pode manter seu funcionamento durante a pandemia foi a utilização de plataformas O2O para pedir e entregar refeições.

As plataformas de FD *online* entraram em evidência durante a pandemia tornando-se uma forma de manter as pessoas em distanciamento social, pois permitiram que as pessoas recebessem refeições e também itens de mercado sem sair de casa. Além de serem importantes para manter os restaurantes vendendo, e as pessoas em distanciamento social, também foram importantes para que pessoas em dificuldade financeira pudessem obter alguma renda por meio da realização de entregas, assim como manter o rendimento dos entregadores que já atuavam como terceiros nas plataformas de entrega de comida (PAL *et al.*, 2021).

Otimizar o tempo de entrega de um determinado pedido significa permitir que a plataforma consiga receber e executar mais pedidos, ou seja, atender a mais clientes, assim como permitir que o próprio entregador realize mais entregas. A observação de como o problema de *Order Assignment* é resolvido na empresa em análise evidencia a existência de um critério de designação baseado em regra *ad hoc* e, portanto, com grande potencial de ser aprimorado. Desta forma, justifica-se a importância da resolução otimizada do problema estudado neste trabalho, principalmente no cenário de pandemia global, mas também num contexto de tendência crescente

do uso das referidas plataformas O2O.

Ressalta-se, contudo, que o trabalho proposto mostrou-se inédito para a empresa de *Food Delivery* colaboradora e, ao longo do desenvolvimento, observou-se que a plataforma não estava preparada para a coleta e fornecimento de todos os dados detalhados necessários à plena realização das análises e comparações. Adicionalmente, alguns dos dados coletados dependiam de entradas manuais dos entregadores e, portanto, ficam sujeitos a naturais imprecisões e ausências de fornecimento. Deste modo, a comparação dos resultados propostos em relação aos reais possui limitações de escopo.

1.4 ESTRUTURAÇÃO

Este trabalho é composto por seis capítulos, sendo que o Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre o problema abordado. O Capítulo 3 traz a descrição do problema, embasada em um caso real. No Capítulo 4, apresenta-se a metodologia para resolução dos casos reais mapeados. O Capítulo 5 traz os resultados e a discussão a respeito dos mesmos. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais e discussões de futuros desenvolvimentos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta inicialmente (seção 2.1) alguns conceitos de importância para o contexto estudado. Na sequência é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o problema enfrentado pelos serviços de entrega de refeições, de forma a pontuar a classificação feita pelos autores de estudos semelhantes, os quais são resultado de uma busca sistemática sobre os assuntos nos contextos de: *Meal Delivery* e *Routing Problem* (seção 2.2). Também são brevemente discutidas as classes de problemas que envolvem o contexto de análise, conforme seção 2.3. Menciona-se, ainda, as principais metodologias usadas para a resolução dos problemas observados no contexto, conforme detalhado na seção 2.4.

2.1 AMBIENTAÇÃO DO PROBLEMA E DEFINIÇÃO DE CONCEITOS RELEVANTES SEGUNDO A LITERATURA

2.1.1 Ambientação do Problema de *Food Delivery*

Segundo Lau e Yat (2019) *apud* Moriarty (2016), o surgimento dos serviços *online* de entrega de refeições pode ser atribuído à natureza dos consumidores urbanos. Esses consumidores usam os serviços de entrega de refeições por vários motivos, mas o motivo mais comum parece ser a necessidade de realizar refeições rápidas e convenientes durante ou após um dia agitado de trabalho. Os vários serviços de entrega de comida que estão prontamente disponíveis afastam o incômodo dos consumidores de pensar e planejar refeições. Os serviços de entrega de refeições mudaram tanto o comportamento do consumidor, especialmente dos consumidores urbanos, que o uso dos serviços de FD *online* se tornou normal e rotineiro. Mais e mais pessoas estão se voltando para a entrega de comida nos últimos anos por causa do ritmo de vida atual, bem como pela oportunidade de descobrir mais restaurantes que esse serviço oferece. Para muitos cidadãos ocupados, os serviços de FD *online* são uma opção conveniente durante um dia agitado de trabalho na cidade. Muitos preferem esta opção de entrega de alimentos, pois isso lhes permite ter alimentos em seus escritórios ou casas, enquanto têm liberdade para continuar a trabalhar. Pode-se verificar que os serviços de FD proporcionam comodidade e economia de tempo para os clientes, pois eles podem comprar alimentos e refeições sem sair de casa ou do escritório.

Plataformas de pedidos de comida sob demanda, nas quais os clientes pedem seu prato

favorito dentre uma variedade de restaurantes, estão crescendo em rápido ritmo e com elas o volume de entrega de refeições mundialmente, aumentando o potencial para novas economias de escopo, escala e densidade. Com o objetivo de capitalizar esta oportunidade de mercado, empresas emergentes do ramo estão investindo pesadamente na implantação de redes de entrega de refeições que prometem aos restaurantes e lanchonetes um processo de entrega confiável, rápido e econômico (REYES *et al.*, 2018).

Segundo Ulmer *et al.* (2021) *apud* Macmillan (2016), empresas como *GrubHub*, *OrderUp!* e *UberEats* oferecem aos clientes a oportunidade de realizar um pedido através de aplicativo *mobile* ou *websites*, nos quais o cliente tem acesso ao menu de dezenas de estabelecimentos. Esse modelo de serviço é conhecido como O2O. Esse pedido é tipicamente prometido de ser entregue entre 30 a 40 minutos após ser fechado por uma taxa de entrega entre \$ 4,00 a \$ 7,00.

Embora, no curto prazo, a transição dos serviços de entrega, que antes era realizado pelo restaurante (que para muitos restaurantes significava não trabalhar com *delivery*), para redes integradas de entrega de refeições que podem se concentrar na confiabilidade e velocidade, a sustentabilidade a longo prazo dessas redes depende de transformar o potencial de eficiência em lucro real. Para este fim, tecnologias de otimização adequadas devem ser desenvolvidas para resolver problemas cada vez maiores no universo da coleta e entrega dinâmica, em tempo quase real, e serem capazes de prover decisões de alta qualidade capazes de controlar custos enquanto satisfazem padrões de serviço muito elevados (REYES *et al.*, 2018).

Ao invés de serviços de entrega operados por restaurante que falham em escalar e atender as elevadas expectativas do cliente quanto ao tempo de entrega, custo e disponibilidade, os serviços de entrega de refeições estão configurados para alcançar níveis de eficiência mais elevados. Tais plataformas visam não apenas oferecer um serviço de superior qualidade a menor custo, mas também fornecem mais opções ao cliente final (YILDIZ; SAVELBERGH, 2019).

Segundo Liu (2019) *apud* Stanley (2016), uma pesquisa do instituto Morgan Stanley Research estima que o total do mercado Norte Americano de entrega de refeições pode chegar a 210 bilhões de dólares no longo prazo, sendo que em 2016 esse valor era de 11 bilhões de dólares. O modelo de serviço O2O, que conecta restaurantes e clientes através de informações e otimizações logísticas, provê valor para ambos os lados do mercado. Ajuda restaurantes locais a alcançarem mais clientes até mesmo quando esses não possuem uma boa localização. Quando a atividade de alimentação acontece fora dos locais onde a comida é preparada, os

restaurantes podem focar mais no que deveria ser sua especialidade como, por exemplo, preparar refeições saudáveis e saborosas, ao invés de serem sobrecarregados por operações auxiliares, como *marketing* e manutenção de uma ampla área de jantar. Do outro lado do mercado, o serviço de *delivery* permite que os clientes possam aproveitar de uma enorme variedade de refeições de suas próprias casas, do trabalho ou de qualquer outro lugar (LIU, 2019).

Para terem sucesso em seu negócio, os serviços de entrega de refeições devem satisfazer alguns *stakeholders* que são chave para a cadeia. Clientes querem um serviço confiável e rápido. Restaurantes parceiros querem que seu produto seja servido fresco para satisfazer ao cliente e assim crescer a base de clientes. Finalmente, os entregadores querem entregar pedidos suficientes para alcançar um faturamento desejado (ULMER *et al.*, 2021).

Ao invés de possuir uma frota de veículos e contratar motoristas para realizarem as entregas, os serviços de entrega de refeições trabalham com o modelo onde os entregadores são autônomos e se disponibilizam a realizar entregas. Os entregadores podem controlar sua disponibilidade (*status online* ou *offline*) e também receber informações a respeito dos pedidos para ele designados através de um aplicativo *mobile*. Essa frota de entregadores flutuante traz novos desafios operacionais. Entregadores não são obrigados a aceitar todos os pedidos de entrega a eles oferecidos e não fornecem uma previsibilidade de quando irão ficar disponíveis para a plataforma específica. Portanto, as empresas deste mercado têm ainda o desafio de fornecer os incentivos corretos de forma a motivar o aumento do número de entregadores *online*, conforme sua necessidade.

Segundo Reyes *et. al.* (2018) *apud* Reuters (2016), em uma tentativa de alcançar a capacidade de resposta desejada sem os custos associados de uma frota permanente suficientemente grande de veículos (e motoristas em tempo integral), fornecedores do serviço de entrega de refeições adotaram o modelo de negócios de “mercado digital”, no qual os entregadores são autônomos e o aumento de entregadores disponíveis realizando entregas é gerenciado indiretamente por meio de incentivos econômicos. Este tipo de ação se faz oportuna, por exemplo, quando há um número de pedidos relativamente grande em relação ao número de entregadores disponíveis.

Antes de entregar um pedido, o entregador deve pegá-lo com o devido estabelecimento. Contudo, o tempo de preparo para a refeição de cada estabelecimento é variável. Enquanto o serviço de *delivery* de refeições conhece, de modo aproximado, a distribuição temporal para os deslocamentos, o estabelecimento tende a não saber com precisão quando o pedido ficará pronto. Desta forma, o entregador deve esperar o pedido ficar pronto quando chega ao restaurante.

Idealmente, entregadores deveriam chegar ao estabelecimento quando o pedido está pronto e, imediatamente após a coleta do pedido, se dirigirem ao cliente. Porém na prática, o número de elementos randômicos do problema fazem deste plano um desafio (ULMER *et al.*, 2021).

O desenvolvimento do mercado de entrega *online* também enfrenta muitos problemas. Há uma necessidade crítica de melhorar o nível de serviço (em relação a prazos de entrega) com menor custo de entrega (LU *et al.*, 2017).

Como consequência de todas as particularidades o estudo do roteamento de entrega de refeição não é apenas necessário por atender uma demanda urgente do mercado, mas também por possuir valor acadêmico, por ter as características críticas dos desafios emergentes do roteamento dinâmico, agendamento e entregas de última milha (YILDIZ; SAVELSBERGH, 2019).

Segundo Reyes *et al.* (2018), a implantação e operação bem-sucedidas dos serviços de entrega de refeições é difícil não só devido à escala desses sistemas, mas também pelo dinamismo e urgência em que são recebidos os pedidos. A entrega de refeições é um desafio na logística de última milha: espera-se normalmente que um pedido típico seja entregue dentro de uma hora (muito menos, se possível), e dentro de minutos após a comida ficar pronta, reduzindo assim oportunidades de estabilização do contexto analisado e impondo a necessidade de, em linhas gerais, mais veículos operando simultaneamente e executando rotas mais curtas. Além disso, os serviços de entrega de refeições devem ser capazes de responder a abruptas oscilações na demanda, tanto nas dimensões espaciais quanto temporais.

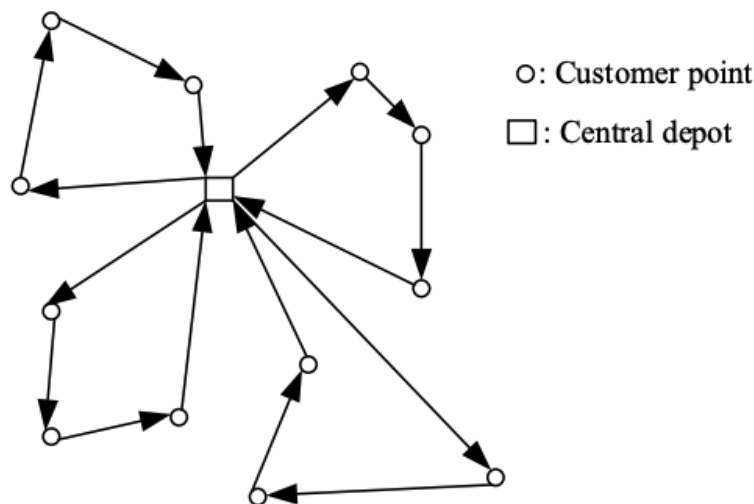
2.1.2 Uma Visão Geral Sobre o Problema de Entrega de Última Milha

A entrega na última milha (*last-mile delivery*) é a última parte do processo de distribuição, quando um entregador realiza a entrega de um pacote de um depósito ou centro de logística para a casa do cliente ou para uma instalação de autoatendimento para que o cliente realize a coleta. Uma definição mais ampla é fornecida por Boysen *et al.* (2021): os autores definem a entrega na última milha como “todas as atividades logísticas relacionadas à entrega de remessas para clientes particulares em áreas urbanas”. A entrega na última milha envolve as atividades relacionadas à distribuição de pacotes para clientes em áreas urbanas. De acordo com a definição mais ampla de Boysen e colaboradores, tanto o transporte quanto o gerenciamento do depósito são partes da entrega de última milha. Em geral, as operações de última milha partem de um centro de distribuição localizado na periferia da cidade, de fácil acesso por caminhões e grande o suficiente para armazenar os produtos antes da entrega aos clientes.

Segundo Savelsbergh e Woensel (2016), o objetivo do *last-mile delivery* é minimizar o número de fretes necessários para entregar determinada demanda. Dependendo do problema específico, o objetivo pode sofrer variações: minimizar o custo das entregas, maximizar a qualidade do serviço (de acordo com alguns índices chave de desempenho) ou minimizar os impactos negativos do trânsito e poluição são outros objetivos comuns. A atenção à logística da cidade está em constante crescimento devido às diversas tendências que estão afetando nossa sociedade moderna. Savelsbergh e Woensel (2016) descrevem cinco tendências globais que impulsionam as mudanças atuais na logística da cidade: *crescimento populacional e urbanização, crescimento do comércio eletrônico, o imediatismo, economia compartilhada e mudanças climáticas e sustentabilidade*.

Geralmente no problema de última milha existe um depósito que prepara pacotes que são distribuídos ao redor do depósito em uma área fixa. Uma frota de veículos visitam os clientes e voltam para o depósito após todos os pacotes serem entregues (CHU *et al.*, 2021), como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Representação esquemática do transporte de última milha.



Fonte: (CHU *et al.*, 2021)

Boysen *et al.* (2021) salienta que é possível descrever e otimizar todo o processo de entrega de última milha tendo por base a análise das três etapas principais envolvidas: armazenamento, transporte e entrega. Deste modo, estudos que visem aprimorar cada uma destas etapas são de relevância ao contexto de estudo. Salienta-se, ainda, a analogia das etapas do referido problema com as questões de entrega final de refeições e pedidos aos clientes que realizam pedidos via FDA.

De fato, o termo *last-mile delivery* vem sendo associado aos problemas técnicos emergentes no contexto do problema de *Food Delivery*, que será explanado em mais detalhes na subseção 2.1.3.

2.1.3 Uma Visão Geral Sobre o Problema de Entrega de Refeições (*Food Delivery Problem*)

Em geral, com a definição de entrega de refeições (FD) é possível referir-se a diferentes operações logísticas que vão desde a entrega de compras de mercado à entrega de refeições. O problema de entrega de refeições é um problema dinâmico e estocástico em que a grande maioria dos pedidos são feitos no mesmo dia da entrega solicitada. A principal diferença entre a entrega de refeições e a entrega de mesmo dia é que os dois problemas estão relacionados à presença de janelas de tempo. Na entrega de refeições, geralmente os clientes podem escolher o horário para receber os alimentos ou aceitar a política “o mais rápido possível”. Em ambos os casos, há janelas de tempo para entregas viáveis, uma vez que as refeições prontas devem chegar aos clientes o mais rápido possível para preservar seu frescor. Portanto, embora seja possível agrupar vários pedidos, não é permitido esperar muito tempo para agrupar um grande número de refeições em uma mesma viagem, mesmo que coletados em um mesmo restaurante (BOYSEN *et al.*, 2021).

Existem três principais personagens (atores) operando na indústria de FD: restaurantes, consumidores e entregadores. Normalmente, na era do *e-commerce*, referir-se ao setor de entrega de alimentos significa referir-se a empresas que prestam o serviço de entrega em parceria com vários restaurantes independentes, por ex. *GrubHub*, *DoorDash* e *UberEats* nos Estados Unidos ou *Deliveroo*, *JustEat* e *Foodora* na Europa. Porém, também é possível considerar uma vertente mais simples do problema onde há um restaurante que possui sua própria frota de entregadores. Mais além, o mais simples dos casos considera o cenário onde há apenas um restaurante e um entregador (AGNETIS *et al.*, 2021). De acordo com o número de restaurantes e entregadores é possível classificar o problema considerado. Portanto, existem quatro cenários diferentes:

- (i) Restaurante único e entregador único.
- (ii) Múltiplos entregadores e restaurante único.
- (iii) Múltiplos restaurantes e entregador único.
- (iv) E, por fim, múltiplos entregadores e múltiplos restaurantes.

O problema estudado neste trabalho refere-se ao quarto cenário apresentado, onde há a

existência de múltiplos entregadores e múltiplos restaurantes.

As empresas que operam neste setor geralmente estão interessadas em otimizar algumas métricas de desempenho, o tempo *Ready-To-Door*, que é a diferença entre o horário de entrega e o horário em que a refeição fica pronta no restaurante, o tempo *Click-To-Door*, que é a diferença entre o horário em que o pedido é entregue e o instante em que é solicitado (AGNETIS *et al.*, 2021).

A seção 2.2 traz uma revisão sistemática que tem por base os conceitos detalhados na breve ambientação ao problema aqui apresentada nesta seção 2.1.

2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

O objetivo desta seção é apresentar como os problemas similares ao estudado neste trabalho vem sendo classificados segundo a literatura. Para isso, foi realizada uma pesquisa sistemática no portal *Scopus.com* utilizando-se os termos “*food delivery*”, “*meal delivery*” e “*routing*”. A busca foi realizada por título, resumo e palavra-chave seguindo a seguinte expressão: TITLE-ABS-KEY ((“*food delivery*” OR “*meal delivery*”) AND “*routing*”).

O resultado da busca foram 51 trabalhos do tipo artigo de periódico ou artigo de conferência. Dos 35, obteve-se acesso a 28 artigos. Dez (10) foram excluídos por título incompatível, restando assim 18 artigos que foram novamente classificados em três grupos “baixa compatibilidade”, “média compatibilidade” e “alta compatibilidade”, segundo a compatibilidade do contexto do artigo com o problema estudado neste trabalho. Desta forma, dos 18 artigos restantes, 11 foram classificados como “alta compatibilidade”, que são as referências exploradas nesta seção. Tais artigos estão listados segundo o Quadro 1.

2.2.1 Classificação do problema segundo cada referência

Como pode-se observar no Quadro 2, nove dos onze artigos trabalham considerando o problema da roteirização de veículos (Problema de Roteamento de Veículos, do inglês *Vehicle Routing Problem* (VRP)). Cosmi *et al.* (2019) consideram somente a dimensão do problema que termina na escolha do entregador, sem se aprofundar na roteirização que será executada pelo entregador, considerando o problema tratado como um problema de *scheduling*. Liu *et al.* (2020) classifica o problema como pertencente a classe da Entrega de Última Milha.

Oito artigos são trabalhados pelos autores como vertentes do dVRP (*dynamic VRP*).

Quadro 1 – Artigos classificados no grupo alta compatibilidade.

Título	Referência	Periódico ou Conferência
<i>Order Assignment and Routing for Online Food Delivery : Two Meta-Heuristic Methods</i>	Lu <i>et al.</i> (2017)	Anais da <i>International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics & Swarm Intelligence</i>
<i>An optimization-driven dynamic vehicle routing algorithm for on-demand meal delivery using drones</i>	Liu (2019)	<i>Computers and Operations Research</i>
<i>Provably High-Quality Solutions for the Meal Delivery Routing Problem</i>	Yildiz e Savelsbergh (2019)	<i>Transportation Science</i>
<i>Dynamic courier routing for a food delivery service</i>	Steever <i>et al.</i> (2019)	<i>Computers and Operations Research</i>
<i>Single courier single restaurant meal delivery</i>	Cosmi <i>et al.</i> (2019)	<i>Operations Research Letters</i>
<i>The Meal Delivery Routing Problem</i>	Reyes <i>et al.</i> (2018)	<i>Optimization Online</i>
<i>The Restaurant Meal Delivery Problem: Dynamic Pick-Up and Delivery with Deadlines and Random Ready Times</i>	Ulmer <i>et al.</i> (2021)	<i>Transportation Science</i>
<i>On-time last-mile delivery: Order assignment with travel-time predictors</i>	Liu <i>et al.</i> (2020)	<i>Management Science</i>
<i>A logistic optimization for the vehicle routing problem through a case study in the food industry</i>	Akpinar (2021)	<i>LogForum</i>
<i>A capacitated multi pickup online food delivery problem with time windows: a branch-and-cut algorithm</i>	Kohar e Jakhar (2021)	<i>Annals of Operations Research</i>
<i>A hybrid differential evolution algorithm for the online meal delivery problem</i>	Chen <i>et al.</i> (2020)	<i>2020 IEEE Congress on Evolutionary Computation</i>

Fonte: Autoria própria.

Dentre os quais, dois trabalham considerando o problema estudado como MDRP (*Meal Delivery Routing Problem*) e um terceiro artigo se aprofunda na vertente chamada RMDP (*Restaurant Meal Delivery Problem*), que é voltada para pedidos de restaurantes. Lu *et al.* (2017) não deixa explícito estar na vertente dinâmica do VRP, porém supõe-se tratar de um dVRP pela dinamicidade da chegada dos pedidos ao serviço de *delivery*.

Tendo em vista as considerações mencionadas *a priori* nesta seção, a seção 2.3 a seguir apresenta a definição dos problemas utilizados pelos autores para classificação de seus respectivos contextos de trabalho.

2.3 ELUCIDAÇÃO DAS CLASSES DE PROBLEMAS APRESENTADAS NA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

As subseções adicionadas à presente seção têm o objetivo de trazer um descritivo sobre as técnicas de contexto de trabalho elucidadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação do problema segundo os autores de cada artigo.

Título	Referência	Contexto do Trabalho
<i>Order Assignment and Routing for Online Food Delivery : Two Meta-Heuristic Methods</i>	Lu <i>et al.</i> (2017)	OA e Problema de Roteamento, do inglês <i>Routing Problem</i> (RP), uma vertente do VRP
<i>An optimization-driven dynamic vehicle routing algorithm for on-demand meal delivery using drones</i>	Liu (2019)	<i>Dynamic, infinite-horizon VRP with arbitrary pickup and delivery locations and en-route vehicle diversion</i> , uma vertente do dVRP
<i>Provably High-Quality Solutions for the Meal Delivery Routing Problem</i>	Yildiz e Savelsbergh (2019)	MDRP, uma vertente do dVRP
<i>Dynamic courier routing for a food delivery service</i>	Steever <i>et al.</i> (2019)	<i>Virtual Food Court Delivery Problem</i> uma vertente do DVRP.
<i>Single courier single restaurant meal delivery</i>	Cosmi <i>et al.</i> (2019)	<i>Scheduling Problem</i> . Problema padrão da entrega de comida, que termina no momento da escolha do entregador, ou seja, não inclui roteirização.
<i>The Meal Delivery Routing Problem</i>	Reyes <i>et al.</i> (2018)	<i>Meal Delivery Routing Problem</i> (MDRP), uma vertente do dVRP.
<i>The Restaurant Meal Delivery Problem: Dynamic Pick-Up and Delivery with Deadlines and Random Ready Times</i>	Ulmer <i>et al.</i> (2021)	<i>Restaurant Meal Delivery Problem</i> (RMDP), uma vertente do DVRP.
<i>On-time last-mile delivery: Order assignment with travel-time predictors</i>	Liu <i>et al.</i> (2020)	<i>Last-mile delivery problem</i> .
<i>A logistic optimization for the vehicle routing problem through a case study in the food industry</i>	Akpinar (2021)	<i>Food delivery problem - vehicle routing problem with time windows</i> .
<i>A capacitated multi pickup online food delivery problem with time windows: a branch-and-cut algorithm</i>	Kohar e Jakhar (2021)	<i>Multi Pickup and Delivery Problems with Time Windows</i>
<i>A hybrid differential evolution algorithm for the online meal delivery problem</i>	Chen <i>et al.</i> (2020)	<i>Pickup and Delivery Problem and order dispatching problem</i> .

Fonte: Autoria própria.

2.3.1 Vehicle Routing Problem (VRP)

Uma das classes de problema de otimização mais estudados da literatura de Pesquisa Operacional é denominada Problema de Roteamento de Veículos, do inglês *Vehicle Routing Problem* (VRP). Essa formulação foi inicialmente proposta por Dantzig e Ramser (1959) como uma generalização do Problema do Caixeiro Viajante.

Segundo Pillac *et al.* (2013) o VRP pode ser genericamente definido por um grafo $G = \{V, E, C\}$, onde $V = \{v_0, \dots, v_n\}$ é o conjunto de vértices; $E = \{v_i, v_j \mid \{v_i, v_j\} \in V^2, i \neq j\}$ é o conjunto de arcos; e $C = (c_{ij})_{(v_i, v_j) \in E}$ é a matriz de custo definida através de E , que representa distância, tempo de viagem, ou custo de viagem. Tradicionalmente o vértice v_0 é chamado de depósito, enquanto os vértices restantes em V representam os clientes que precisam ser atendidos.

O VRP consiste em encontrar um conjunto de rotas para K veículos idênticos baseados

no depósito, de forma que cada um dos vértices seja visitado exatamente uma vez, minimizando o custo geral de roteamento. Além dessa formulação clássica, inúmeras variantes foram estudadas. Entre as mais comuns estão o VRP Capacitado, onde cada cliente tem uma demanda por um bem e os veículos têm capacidade finita; o VRP com janelas de tempo (*time-windows*), onde cada cliente deve ser visitado em um determinado período de tempo; o VRP com Coleta e Entrega, onde a mercadoria deve ser retirada e entregue em quantidades específicas nos vértices; e o VRP de Frota Heterogênea, no qual os veículos possuem diferentes capacidades.

Segundo Psaraftis *et al.* (2015) e Abdirad *et al.* (2021), um VRP pode ser estático ou dinâmico, e, em relação aos parâmetros disponibilizados, estes podem ser determinísticos ou estocásticos. Todas as quatro combinações existem: Estático e Determinístico; Estático e Estocástico; Dinâmico e Determinístico; Dinâmico e Estocástico.

- Nos *problemas estáticos e determinísticos* todas as entradas são conhecidas de antemão antes de as rotas serem definidas (PILLAC *et al.*, 2012);
- *Problemas estáticos e estocásticos* são caracterizados por entradas parcialmente conhecidas como variáveis aleatórias, cujas realizações só são reveladas durante a execução das rotas. Além disso, presume-se que as rotas são projetadas *a priori* e apenas pequenas alterações são permitidas depois (PILLAC *et al.*, 2013);
- Segundo Pillac *et al.* (2013) e Bernardo e Pannek (2018), em *problemas dinâmicos e determinísticos* parte ou toda a entrada é desconhecida e revelada dinamicamente durante o projeto ou execução das rotas. Para esses problemas, as rotas dos veículos são redefinidas de forma contínua, exigindo suporte tecnológico para comunicação em tempo real entre os veículos e o tomador de decisão (por exemplo, telefones celulares e sistemas de posicionamento global).
- *Problemas dinâmicos e estocásticos* têm parte ou toda a sua entrada desconhecida e revelada dinamicamente durante a execução das rotas, mas em contraste com a última categoria, o conhecimento estocástico explorável está disponível na informação revelada dinamicamente. Como antes, as rotas dos veículos podem ser redefinidas de forma contínua com a ajuda de suporte tecnológico.

Segundo Flatberg *et al.* (2007), existem três classes principais de modelos para VRP. A primeira classe trata do planejamento de rota sob incerteza. A abordagem genérica é gerar

uma solução que tenha o menor custo esperado. A segunda abordagem envolve tomar decisões e observar os resultados em uma base de horizonte rolante, mas sem utilizar conhecimento probabilístico. O terceiro combina a utilização de conhecimento estocástico com estratégias para tomada de decisão e planejamento dinâmicos. Enquanto o VRP dinâmico e estocástico tem uma história de 30 anos na literatura de Pesquisa Operacional, a maioria dos trabalhos referentes ao contexto são recentes (ULMER *et al.*, 2020).

2.3.2 *Dynamic Vehicle Routing Problem (dVRP)*

Segundo Psaraftis *et al.* (2015) *apud* Psaraftis (1988), um VRP é caracterizado como dinâmico se a entrada do problema é recebida e atualizada simultaneamente com a determinação do percurso. Caso todas as entradas sejam recebidas antes da determinação da rota e não mudem, esse VRP é considerado estático. Como regra geral, se o problema exigir a determinação de um conjunto de rotas que não são re-otimizadas e são calculadas a partir de entradas que não evoluem em tempo real, o problema é estático. Por outro lado, se as rotas forem re-otimizadas ou se a saída for uma política que prescreve como as rotas devem evoluir em função dessas entradas que evoluem em tempo real, então o problema é dinâmico.

Segundo (LARSEN, 2000) dois pontos definem o dVRP:

- (i) Nem toda informação relevante para o planejamento da rota é conhecido pelo planejador quando o processo se inicia;
- (ii) As informações podem sofrer modificações após a construção das primeiras rotas.

2.3.3 *Order Assignment and Routing Problem (OARP)*

Segundo Lu *et al.* (2017), os pedidos são atribuídos aos entregadores, que recolherão os alimentos nos estabelecimentos correspondentes com uma rota para minimizar suas respectivas distâncias e tempos de viagem. O serviço de entrega de alimentos precisa fazer as tarefas de atribuição de pedidos frequentemente (por exemplo, uma vez a cada 10 minutos). A cada vez, alguns pedidos no mesmo distrito devem ser atribuídos a vários entregadores ao mesmo tempo, considerando que pode haver pedidos inacabados para cada entregador. Para garantir o menor tempo de espera do cliente e custo de entrega, a solução, via de regra, precisa minimizar a distância total de todos os entregadores. No trabalho apresentado por Lu *et al.* (2017) aborda-se o problema de *Order Assignment* simultaneamente ao problema de roteamento.

Tendo por base a busca por referências na literatura, concluiu-se que o problema de OA também pode ser referido, a depender do autor, como *Food Delivery Problem*, o qual foi apresentado na subseção 2.1.3. Neste trabalho, optou-se por utilizar a nomenclatura *Order Assignment Problem* por representar de forma mais clara a qual parte do processo se aplica a formulação e metodologia propostas.

2.3.4 *Virtual Food Court Delivery Problem (VFCDP)*

Quando um pedido é feito, o cliente recebe um prazo de entrega previsto. Alguns serviços de entrega anunciam durações gerais de entrega (por exemplo, 30 minutos ou menos), enquanto outros fornecem uma garantia de horário de entrega (por exemplo, seu pedido será entregue às 18h30min). Quando novos pedidos chegam, o serviço de entregas é confrontado com o problema de roteamento (ou re-roteamento) dos entregadores. O problema subjacente é atribuir entregadores para as sequências de coletas e entregas que irão maximizar a satisfação do cliente, sem violar os prazos de entrega (STEEVER *et al.*, 2019).

Ainda segundo Steever *et al.* (2019), existem diversas fontes de dinamismo no VFCDP. Por exemplo, os pedidos de clientes não são conhecidos antecipadamente; eles são revelados com o tempo. As condições de trânsito podem afetar o tempo de viagem e, particularmente, entregadores que usam o carro como meio de transporte podem gastar mais tempo procurando uma vaga para estacionar. Embora os restaurantes provenham um tempo estimado para o pedido ficar pronto, essa estimativa provavelmente não é precisa. Adicionalmente, de acordo com o nível de serviço do estabelecimento, o tempo para o entregador coletar o pedido pode variar.

Os serviços tradicionais de entrega de comida limitam cada cliente a realizar, em cada pedido, uma especificação de itens de apenas um restaurante; este fato se reflete na literatura existente. Uma contribuição chave do estudo feito por Steever *et al.* (2019) é a introdução de um modelo de entrega de alimentos que permite aos clientes individuais pedirem em mais de um restaurante, em um mesmo pedido.

2.3.5 *Dynamic Pickup and Delivery Problem (dPDP)*

Um dPDP é o problema que ocorre quando as mercadorias devem ser transportadas de um ponto único de coleta até um ponto único de entrega. Quando pessoas são transportadas esse problema é referido então como problema de discagem (*Dial-a-Ride Problem - DARP*)

(ULMER *et al.*, 2021). O dPDP podem ser classificados em três grupos diferentes. O primeiro grupo consiste em *muitos para muitos*, nos quais qualquer vértice pode servir como fonte ou como destino para qualquer mercadoria. Neste problema, cada vértice pode inicialmente conter um objeto de um tipo conhecido de mercadoria, bem como um tipo de mercadoria desejada. O problema consiste em construir uma rota de forma a realizar as coletas e entregas dos objetos e, ao final da rota, todo vértice possuirá um objeto ou mercadoria requisitada. Os problemas do segundo grupo são chamados de problemas *um-para-muitos-para-um*. Nestes problemas as mercadorias estão inicialmente disponíveis no depósito e são destinadas aos vértices, que representam clientes; além disso, as mercadorias disponíveis nos clientes são coletadas e destinadas ao depósito. Finalmente, em problemas *um para um*, cada mercadoria (que pode ser vista como um pedido) tem uma origem e um determinado destino. Problemas desse tipo surgem, por exemplo, em operações de correios (BERBEGLIA *et al.*, 2010).

Duas variações do dPDP serão apresentadas nas subseções 2.3.6 e 2.3.7.

2.3.6 *Meal Delivery Routing Problem (MDRP)*

Segundo Reyes *et al.* (2018), o MDRP pertence à grande família do Problema de Roteirização de Veículos Dinâmico (dVRP), mais especificamente à classe dos problemas de coleta e entrega dinâmicos (dPDP). Em problemas de entrega dinâmica, os veículos fazem várias viagens durante o período operacional para entregar mercadorias de um depósito (ou um pequeno número de depósitos, ou seja, restaurantes, no caso do MDRP) para as localizações dos clientes. Devido à estrutura da rede (um ou alguns depósitos), e também devido às apertadas restrições de tempo, soluções de entrega dinâmica têm uma característica específica: uma vez que um veículo é despachado, modificar a rota é altamente indesejável ou impraticável.

Ainda sob a visão de Reyes *et al.* (2018), o problema de roteamento de entrega de refeição consiste em determinar rotas viáveis para que os entregadores concluam a coleta e entrega dos pedidos, com o objetivo de otimizar uma ou várias medidas de desempenho. Algumas de suas características podem ser: vários pontos de coleta (restaurantes), pedidos recebidos dinamicamente, capacidade de entrega distribuída ao longo do dia, a possibilidade de coletar vários pedidos simultaneamente, entre outros.

2.3.7 Restaurant Meal Delivery Problem (RMDP)

Ulmer *et al.* (2021), introduz o *Restaurant Meal Delivery Problem* (RMDP), que é caracterizado por uma frota de veículos que atendem pedidos dinâmicos de clientes ao longo de um dia. A distribuição probabilística sobre a localização do cliente e o horário do pedido é conhecida. Os clientes fazem seus pedidos (por exemplo, um pedido de comida) escolhendo entre um número de restaurantes conhecidos em sua área. Assim que um pedido é feito, o pedido é imediatamente transmitido ao estabelecimento. O sistema também atribui o pedido a um entregador que irá retirar e entregar o pedido. A associação de entregador não precisa necessariamente ocorrer imediatamente, e é possível agrupar pedidos de tal forma para que o entregador receba vários pedidos ao mesmo tempo.

Antes da entrega de um pedido, o entregador deve retirar o pedido no restaurante associado. Contudo, o tempo de preparo do pedido varia conforme o restaurante. Enquanto o serviço de entrega de refeições tem a visão da distribuição temporal, o restaurante não sabe exatamente quando o pedido ficará pronto. Assim, o entregador pode precisar aguardar o pedido ficar pronto ao chegar em um restaurante. Uma vez que o pedido foi coletado, o entregador se encaminha ao cliente que tem uma determinada expectativa de prazo para receber o pedido. O objetivo é minimizar os atrasos “esperados”, ou seja, o somatório das diferenças entre os tempos de entrega e os prazos de entrega, ao longo do dia, caso atrasos de fato ocorram. Por exemplo, considere um pedido feito às 17h com um prazo final de 17h40min. O pedido chegar em qualquer horário antes das 17h40min não contribuiria para o objetivo, enquanto que um pedido chegar às 17h45min incorreria em uma penalidade de 5 minutos (ULMER *et al.*, 2021).

2.4 METODOLOGIAS DE RESOLUÇÃO APRESENTADAS NA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

O Quadro 3 apresenta de forma sintetizada qual foi o ferramental utilizado em cada um dos trabalhos obtidos como resultado da revisão sistemática, os quais são contextualizados no texto desta seção.

Lu *et al.* (2017) propõem dois métodos de solução para o problema de *Order Assignment*. Um deles classificado como método de solução hierárquico e outro como integrado. Para o método hierárquico uma heurística de nível superior é desenvolvida para lidar com o problema de *Order Assignment*, enquanto uma heurística de nível inferior é desenvolvida para lidar com

o problema de roteamento. Algoritmos genéticos específicos são usados nas soluções tanto de nível superior quanto de nível inferior. O método integrado conta com apenas um algoritmo genético para resolução do problema de *Order Assignment*. Os testes computacionais mostraram que o método hierárquico obteve uma melhor performance em relação ao método integrado, em termos de valor objetivo. Comparado com o método de atribuição baseado em proximidade (onde o entregador escolhido para realizar o pedido geralmente é o mais próximo do cliente), que segundo os autores é o mais adotado na indústria, tanto o método integrado quanto o hierárquico alcançaram melhores valores objetivos.

Liu (2019), diferentemente dos outros autores, traz a perspectiva do problema de entrega de pedidos de refeição sob demanda sendo resolvido utilizando drones como meio de transporte. O autor apresenta um modelo de programação inteira mista que caracteriza de forma abrangente todos os aspectos relevantes do cenário de negócios e propõe um algoritmo progressivo orientado a otimização para tratar o despacho dos pedidos de forma *online*. Diferente das formulações típicas baseadas em grafos para o VRP, a temporalmente discreta e espacialmente contínua formulação em Programação Linear Inteira Mista (PLIM) considera intrinsecamente a geometria e mobilidade e, portanto, permite a entrada dinâmica de pedidos com ponto de coleta e entrega arbitrários.

Yildiz e Savelsbergh (2019) consideram o MDRP, descrito em Reyes *et al.* (2018), e partem da premissa de terem informações perfeitas sobre a chegada dos pedidos. Para resolução do problema estudado são utilizados algoritmo simultâneo de geração linha-coluna combinado com Programação Linear. Duas funções objetivo são propostas/avaliadas, a primeira delas tem como objetivo minimizar a compensação garantida dos entregadores. Essa compensação é fornecida como garantia e incentivo para que os entregadores fiquem “*online*” na plataforma por determinado período de tempo (escala), de forma a garantir entregadores disponíveis para atendimento da demanda de pedidos. Caso o entregador não realize entrega alguma durante sua escala, ele ainda receberá essa compensação garantida, a qual será paga pela empresa em questão. Caso o entregador realize entregas de pedidos de forma a alcançar ou superar o valor garantido, a empresa não precisará realizar o pagamento dessa compensação garantida. A segunda função objetivo buscou minimizar o tempo total do pedido desde o momento em que o cliente clicou para realizar o pedido até o pedido estar na porta da casa dele. O trabalho trouxe a conclusão que em ambas as funções objetivos os resultados foram semelhantes, de forma que minimizar o custo indiretamente trará a minimização do tempo desde o clique até a chegada do pedido na

residência do cliente.

Um problema semelhante foi o problema de entrega a partir de uma praça de alimentação virtual (VFCDP), o qual foi introduzido por Steever *et al.* (2019). Os autores fornecem uma formulação em PLIM e implementam uma heurística baseada em leilão para resolver o cenário dinâmico. O objetivo deste modelo é maximizar a satisfação do cliente (tempo total de entrega), sem violar os prazos de entrega acordados inicialmente provendo uma escala para cada entregador disponível. Como o modelo em PLIM é puramente determinístico, enquanto o problema é estocástico, o modelo deve ser resolvido periodicamente em uma estrutura de horizonte rolante. A cada vez que surge um novo pedido, um novo modelo deve ser construído e resolvido. Os autores consideram também outras alternativas para a função objetivo: o ponto para entrega e o tempo total de coleta até a entrega. Em contraste com a PLIM, a heurística baseada em leilão considera uma métrica voltada para o futuro para levar em conta a natureza estocástica do problema. Além disso, neste artigo, os autores constroem uma estrutura para lidar explicitamente com pedidos feitos por um mesmo cliente em restaurantes diferentes. Eles consideram dois cenários diferentes: entregas divididas e entregas não divididas. No primeiro caso, se um cliente solicitar refeições em restaurantes diferentes, os pedidos são tratados como pedidos independentes; no último caso, os dois pedidos devem ser entregues juntos por um único entregador.

Cosmi *et al.* (2019) buscam a formalização de modelos de otimização para o problema de FD, mas que não envolvem a parte de roteamento. O trabalho é focado no caso mais simples, que considera um único restaurante e um único entregador e o reduz para um problema de agendamento de máquina única. Um algoritmo de programação dinâmica é proposto para a resolução do problema abordado. Na sequência os autores propõem extensões da abordagem formalizada para a resolução do caso com múltiplos entregadores e um único restaurante e do caso com um único entregador e múltiplos restaurantes.

No trabalho “*The Meal Delivery Routing Problem*” (MDRP) de Reyes *et al.* (2018), é apresentado um modelo considerando os principais aspectos que caracterizam o problema de FD: múltiplos pontos de coleta (restaurantes), recebimento de pedidos de forma dinâmica e entregadores disponíveis para entrega durante turnos (cobrindo o dia inteiro). Além disso, é levado em consideração a possibilidade de agrupar pedidos para melhorar a qualidade do serviço, reduzindo custos. O objetivo do modelo é minimizar / maximizar várias métricas de desempenho. Para resolver o MDRP, os autores propõem uma abordagem de horizonte rolante e correspondência repetida capaz de resolver até mesmo instâncias de grande escala e uma

ferramenta “*offline*” para suporte em decisões *offline* de construção da escala dos entregadores. Seus resultados computacionais mostram a qualidade do método fornecido e, curiosamente, destacam que a confiabilidade e o desempenho são fortemente afetados pela capacidade de agendamento de decisões, enquanto a incerteza no tempo de preparação de refeições não é relevante.

Ulmer *et al.* (2021) apresentam o RMDP, no qual uma frota de veículos de entrega está disponível para atender os pedidos que são efetuados de forma dinâmica pelos clientes. Além disso, os autores assumem conhecer a distribuição espacial e temporal das solicitações. Quando um pedido é feito, a empresa garante que o pedido será recebido dentro de um prazo determinado. Um baixo nível de qualidade do serviço é fornecido ao cliente se o pedido for entregue depois do prazo esperado. O objetivo é maximizar a qualidade do serviço e, por consequência, minimizar a soma dos atrasos, onde um atraso é a diferença positiva entre o tempo de entrega e o prazo estipulado. Porém, nem sempre é conveniente, para a empresa, deixar o entregador começar a realizar a entrega mais rápido possível, pois essa estratégia reduz a possibilidade de agregar os pedidos em pacotes (o mesmo entregador realizar várias entregas), aumentando os custos e o número de viagens. Para explicar esses inconvenientes, os autores aplicam uma estratégia de adiamento que atrasa a atribuição de pedidos selecionados. Como o problema é intrinsecamente estocástico, eles desenvolvem uma função de aproximação de custo parametrizável com base em um processo de decisão de Markov, pautado na rota em análise. Sua estratégia e abordagem prática atual são testadas em instâncias de serviço de entrega de refeições em *Iowa City*, que mostra que a nova abordagem permite entregar mais pedidos no prazo usando o mesmo número de entregadores. Além disso, é fornecido um equilíbrio na distribuição de pedidos a entregadores.

Liu *et al.* (2020) apresenta uma estrutura que integra preditores de tempo de viagem com a otimização da atribuição de pedido a entregadores, de forma a permitir capturar o comportamento de roteamento que o entregador realiza na prática, visto que o processo de tomada de decisão do entregador de escolha de rota é muitas vezes não observável ou complexo para modelar. Focado no problema de atribuição de pedido como um exemplo, os autores discutem as classes de preditores tratáveis e modelos de previsão que são altamente compatíveis com as ferramentas de otimização robusta e estocástica existentes. Também se é trabalhado com uma análise dos dados de um parceiro chinês onde os pedidos são preparados em uma cozinha central e são entregues a partir deste ponto central. São destacadas duas principais incertezas: o comportamento de escolha de rota realizada pelo entregador e o tempo de serviço

incerto (tempo que o entregador leva para de fato entregar o pedido para o cliente no ponto de entrega). O parceiro seleciona qual pedido cada entregador irá realizar, mas não designa a rota. Um dos objetivos do artigo em questão é construir um modelo de previsão do tempo de viagem para capturar o comportamento dos entregadores, que pode ser integrado com a otimização da designação de pedidos. O problema é dividido em dois estágios: a escolha do entregador entre uma lista de entregadores para um determinado pedido e a escolha do entregador pela rota que será selecionada para realizar a entrega. As formulações são realizadas em PLIM para a otimização estocástica com aproximação média por amostra, que pode ser resolvido de forma eficiente através do algoritmo de *branch-and-price* proposto explorando a estrutura do problema na atribuição de pedido.

Akpinar (2021) propõe uma metodologia utilizando algoritmos genéticos para a solução do problema, que é classificado pelo autor como um caso do VRP aplicado ao cenário de uma empresa de *Food Delivery*. O caso estudado atende sete regiões diferentes. Cada cliente em cada região solicita refeições em horários diferentes. Portanto, a empresa quer saber qual entregador prestará o serviço mais adequado e qual o veículo a ser utilizado. O algoritmo genético foi utilizado no estudo para resolver este problema. Com este algoritmo, diferentes números de populações foram repetidos por determinados momentos, e a menor distância total foi encontrada. O mesmo método foi usado para determinar qual veículo será utilizado em determinada rota. Observou-se que houve melhorias significativas em relação à situação atual. Assim, os resultados obtidos no estudo afetaram positivamente a rentabilidade da empresa devido às distâncias de entrega mais curtas. Além disso, o aumento da satisfação do cliente também pode ser considerado um efeito positivo. O algoritmo genético usado no estudo não entrega o resultado mais otimizado possível devido à natureza do problema, desta forma os autores sugerem a utilização de modelagem matemática e simulações algorítmicas para estudos posteriores e evolução dos resultados.

O trabalho desenvolvido por Kohar e Jakhar (2021) apresenta uma formulação aumentada de dois índices para encontrar as rotas de menor custo para satisfazer o conjunto de pedidos do cliente sob as restrições de janelas de tempo dos locais de coleta e entrega junto com as restrições de capacidade da frota de veículos. Foi utilizado um algoritmo baseado na técnica de *branch-and-cut* para resolução das instâncias do problema. A formulação proposta e as desigualdades válidas específicas do problema levam a um desempenho de solução mais eficiente em comparação com as formulações existentes. Os experimentos computacionais indicam que a

abordagem proposta pode resolver a maioria das instâncias do problema de referência com 25, 35 e 50 nós, muitos dos quais foram relatados sem solução usando abordagens de solução exata na literatura existente.

Por último, Chen *et al.* (2020) trabalha com um cenário real de uma empresa de *Food Delivery*. Os autores reduzem o espaço de busca através da decomposição do problema em duas partes que são: o problema de coleta e entrega e o problema de designação de pedidos. Para resolver cada subproblema de forma eficaz é proposto um algoritmo de evolução diferencial híbrido, que é fundido pela fase baseada em *differential evolution* para planejar as rotas e a fase baseada em heurística para determinar esquemas de designação de pedidos. Na fase de roteamento baseado em *differential evolution*, uma heurística considerando a urgência dos pedidos é projetada para gerar a população inicial com certa qualidade. Além disso, um operador de mutação é desenvolvido para aprimorar a exploração e um operador de *crossover* embutido na pesquisa local é projetado para aprimorar a exploração.

Como pode ser observado através do Quadro 3, quatro dos onze trabalhos utilizam a Programação Linear (Inteira) de forma combinada com alguma heurística, sendo que os outros seis trabalhos utilizam diferentes recursos para o tratamento do problema.

Tendo por base a revisão da literatura do presente capítulo, na sequência o Capítulo 3 traz o descritivo do problema real em análise e, em particular, das questões relativas ao *Order Assignment*, uma tarefa essencial para o contexto de *Food Delivery Problem*.

Quadro 3 – Abordagem de resolução apresentada.

Título	Referência	Síntese da Abordagem Utilizada
<i>Order Assignment and Routing for Online Food Delivery : Two Meta-Heuristic Methods</i>	Lu <i>et al.</i> (2017)	Método hierárquico e método integrado foram propostos, ambos utilizando algoritmos genéticos para o processo de solução.
<i>An optimization-driven dynamic vehicle routing algorithm for on-demand meal delivery using drones</i>	Liu (2019)	Proposta de um modelo matemático em Programação Linear Inteira Mista, combinado a uma heurística para facilitar o processo de decisão.
<i>Provably High-Quality Solutions for the Meal Delivery Routing Problem</i>	Yildiz e Savelsbergh (2019)	Algoritmo simultâneo de geração linha-coluna combinado com Programação Linear. Conceito de compensação garantida aos entregadores é avaliado.
<i>Dynamic courier routing for a food delivery service</i>	Steever <i>et al.</i> (2019)	Formulação utilizando Programação Linear Inteira Mista em combinação com uma heurística baseada em leilão.
<i>Single courier single restaurant meal delivery</i>	Cosmi <i>et al.</i> (2019)	Formalização do contexto como um problema de agendamento (<i>scheduling</i>) de máquina única e resolução via algoritmo de programação dinâmica.
<i>The Meal Delivery Routing Problem</i>	Reyes <i>et al.</i> (2018)	Algoritmo de horizonte rolante e correspondência repetida para resolver o problema em tempo (quase) real.
<i>The Restaurant Meal Delivery Problem: Dynamic Pick-Up and Delivery with Deadlines and Random Ready Times</i>	Ulmer <i>et al.</i> (2021)	Função de aproximação de custo parametrizável com base em um processo de decisão de Markov.
<i>On-time last-mile delivery: Order assignment with travel-time predictors</i>	Liu <i>et al.</i> (2020)	Formulação em PLIM e otimização estocástica com aproximação média de amostra com utilização de algoritmo de <i>branch-and-price</i> para resolução do problema.
<i>A logistic optimization for the vehicle routing problem through a case study in the food industry</i>	Akpınar (2021)	Utiliza algoritmos genéticos para a solução do problema.
<i>A capacitated multi pickup online food delivery problem with time windows: a branch-and-cut algorithm</i>	Kohar e Jakhar (2021)	Propõe uma formulação aumentada de dois índices para encontrar rotas de veículos de menor custo para satisfazer o conjunto de pedidos de um mesmo cliente sob as restrições de janelas de tempo dos locais de coleta e entrega junto com as restrições de capacidade da frota de veículos.
<i>A hybrid differential evolution algorithm for the online meal delivery problem</i>	Chen <i>et al.</i> (2020)	Utiliza algoritmos de evolução diferencial híbridos, que são usados pela fase da evolução diferencial de forma a planejar rotas com base em uma heurística a fim de determinar a designação de pedidos.

Fonte: Autoria própria.

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O estudo realizado no presente trabalho baseou-se em um problema vivenciado por uma empresa do setor de *Food Delivery online*, a qual será referida neste trabalho como Empresa X. Essa empresa atua em diversas cidades do Brasil intermediando a venda de pedidos de refeição e de mercado. A porta de entrada para os pedidos é uma aplicação móvel através da qual o cliente escolhe um restaurante ou mercado para realizar seu pedido, seleciona os produtos desejados, realiza o pagamento de forma *online* e finaliza o pedido. A empresa promete ao cliente realizar a entrega em até sessenta minutos a partir do momento em que o cliente finaliza o pedido. Um dos desafios desta empresa é escolher o melhor entregador para realizar cada entrega de forma a minimizar o tempo de entrega e maximizar a satisfação do cliente. Essa escolha do entregador para um determinado pedido é definida como *Order Assignment* no contexto de *Food Delivery* e será o objeto de estudo deste trabalho. As seções seção 3.1 à seção 3.4 a seguir elencadas realizam a descrição de diferentes elementos do problema em análise.

3.1 O CONTEXTO DO PROBLEMA DE *ORDER ASSIGNMENT*

O problema de *Order Assignment* é uma realidade das empresas do segmento de *Food Delivery* ao redor do mundo. As empresas que trabalham com a entrega de pedidos que devem chegar ao cliente em um curto espaço de tempo enfrentam cenários dinâmicos onde o tempo é contado em minutos. No caso da Empresa X, a promessa para o consumidor é que o pedido seja entregue em até sessenta minutos.

No Capítulo 2 foram apresentadas diversas classificações para os problemas, que em sua maioria são analisados desde a escolha do entregador para realizar o pedido até a definição da rota que será realizada pelo entregador. No cenário da Empresa X a parte de roteamento não é tratada, uma vez que, o entregador já possui ferramental para cálculo da rota, como os aplicativos móveis de GPS: *Google Maps*, *Waze*, entre outros.

Atualmente existem dois modelos mais utilizados no mercado de *Food Delivery*: o modelo onde o próprio estabelecimento é o responsável pela entrega de seus pedidos e o modelo onde a empresa além de intermediar o recebimento do pedido pelo estabelecimento ainda realiza a entrega. Este trabalho aborda o segundo modelo, onde a empresa além de trazer o pedido do cliente para o estabelecimento em questão, realiza a entrega do mesmo.

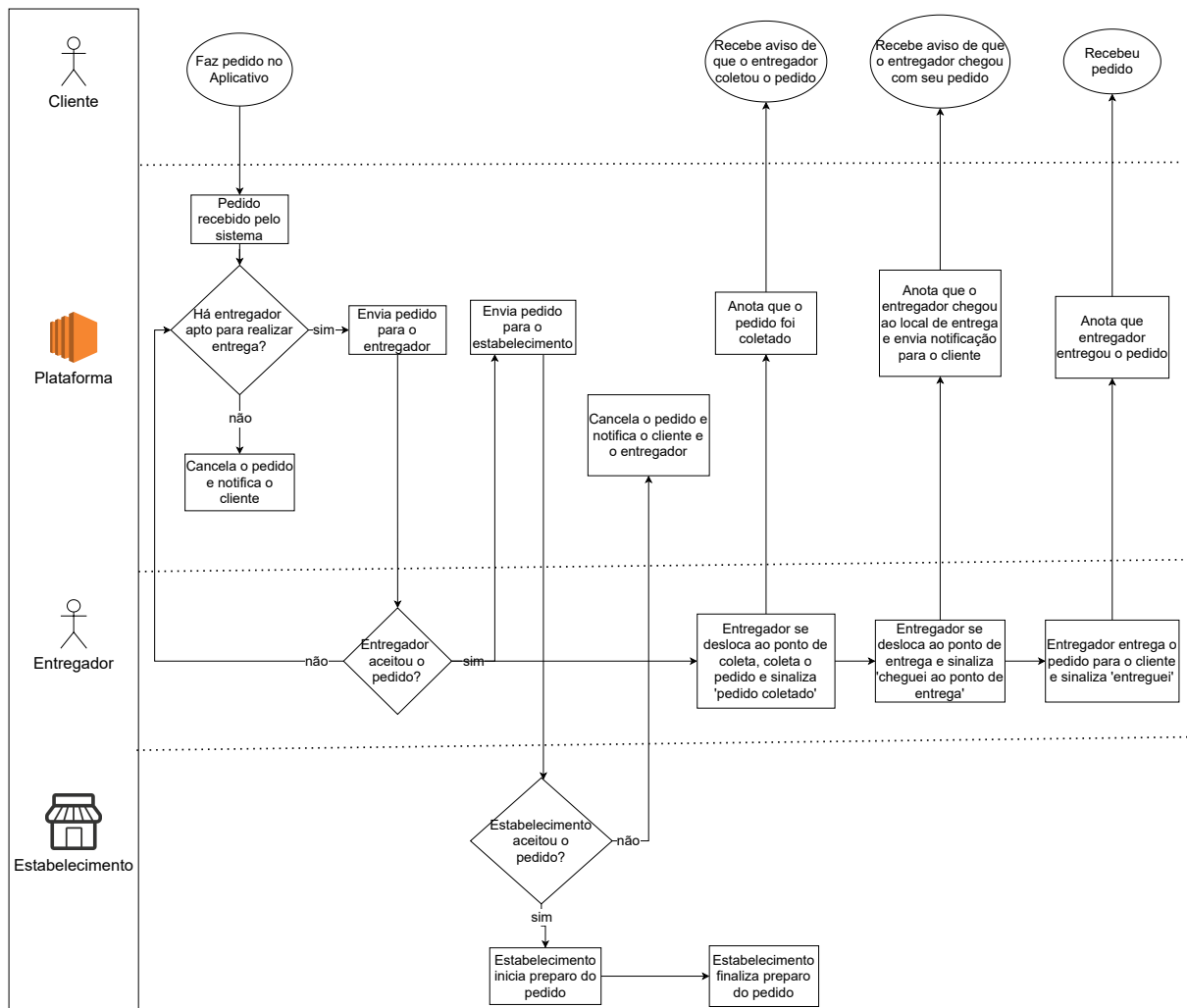
Para facilitar o entendimento do contexto de um pedido em análise, tem-se a Figura 3, que é uma representação simplificada do ciclo de vida de um pedido no contexto de FD.

3.1.1 Atores do Problema de *Order Assignment*

Basicamente existem quatro atores principais para a existência de um pedido de *Food Delivery*:

- (i) O Consumidor (ou cliente).
- (ii) O Entregador.
- (iii) O Estabelecimento.
- (iv) A Plataforma de FD *online*.

Figura 3 – Ciclo de vida de um pedido no contexto de *Food Delivery*.



Fonte: Autoria Própria.

3.1.1.1 O papel do consumidor

O consumidor tem o papel de realizar o pedido por meio da plataforma disponibilizada pela empresa de *FD online*. Geralmente as empresas do setor de *Food Delivery* têm tanto o aplicativo *mobile* quanto o *website* por meio do qual o consumidor realiza o pedido (FDA). No caso da Empresa X essa ferramenta era um aplicativo móvel, o qual possibilita que o consumidor escolha um estabelecimento dentre uma lista de estabelecimentos, selecione os itens, defina o ponto onde o pedido deverá ser entregue e realize o pedido.

3.1.1.2 O papel do entregador

O entregador, tendo recebido todas as informações pertinentes ao pedido e aceito realizar a entrega, será responsável por se dirigir ao estabelecimento responsável pelo(s) produto(s) vendido(s), coletá-lo(s) e transportá-lo(s) até a localização designada pelo consumidor.

3.1.1.3 O papel do estabelecimento

O estabelecimento, tendo recebido todas as informações pertinentes ao pedido e aceito produzir/vender o produto, será responsável por disponibilizar o item solicitado pelo consumidor para que o entregador possa realizar a coleta do mesmo. Caso o estabelecimento não aceite realizar o pedido ou não responda que o pedido pode ser produzido/coletado o mesmo será cancelado pela plataforma após a resposta do estabelecimento via sistema. Se o estabelecimento em análise for um supermercado, por exemplo, considera-se a existência de coletores internos ao mesmo, os quais podem ser de responsabilidade do próprio estabelecimento ou da empresa de *Food Delivery*. Estes coletores irão organizar o pedido a ser disponibilizado ao entregador ou, a depender do contexto, se for algo mais simplificado, o próprio entregador pode separar o item a ser entregue.

3.1.1.4 O papel da plataforma

Foi usado o termo plataforma genericamente para descrever as responsabilidades da empresa de *FD online*. A plataforma é responsável por permitir que o consumidor escolha o estabelecimento de onde deseja realizar o pedido, garantir que o pedido que está sendo realizado

pelo consumidor é factível, direcionar as informações do pedido para que o estabelecimento saiba o que tem que produzir e direcionar as informações necessárias para que o entregador saiba para onde tem que ir, quais itens terá que transportar.

No caso da Empresa X, de forma macro, a plataforma compreende:

- (i) O aplicativo do consumidor.
- (ii) O aplicativo do entregador.
- (iii) O aplicativo do estabelecimento.
- (iv) Os serviços que interligam as informações provindas de cada um dos aplicativos, inclusive o serviço responsável por determinar qual o melhor entregador para cada entrega que o sistema recebe, escolha esta que é objeto de estudo do presente trabalho.

3.2 O PROBLEMA DE *ORDER ASSIGNMENT*

O problema de *Order Assignment* é basicamente uma atribuição da plataforma que é responsável por encontrar qual o melhor entregador para realizar a entrega de cada pedido. Neste problema existem múltiplos entregadores e múltiplos estabelecimentos.

Para realizar tal escolha a plataforma precisa conhecer informações sobre o entregador, sobre o pedido, sobre o estabelecimento e sobre o consumidor, conforme detalhado nas subseções 3.2.1 a 3.2.4 a seguir.

3.2.1 Informações do entregador

- (i) Disponibilidade do entregador.
- (ii) Localização do entregador.
- (iii) Meio de transporte do entregador.

3.2.1.1 A disponibilidade do entregador

A disponibilidade do entregador depende de algumas informações que a plataforma coleta através do aplicativo do entregador. Por exemplo, a plataforma precisa identificar se o entregador está ativo na plataforma ou não. Nesse caso ela considera que um entregador está ativo quando o mesmo informa por meio do aplicativo do entregador que está “*online*”.

Outro ponto referente à disponibilidade do entregador é conhecer se ele já está alocado

para algum pedido ou está livre para receber um pedido. E, caso o entregador já tenha um pedido a ele alocado, avaliar de acordo com o contexto se seria pertinente alocar um novo pedido para esse entregador.

3.2.1.2 A localização do entregador

A localização do entregador se resume a seus dados de latitude e longitude em um determinado instante de tempo. A plataforma pode ter acesso em tempo real desses dados, os quais são coletados pelo aplicativo do entregador. Os mesmos são utilizados para calcular distâncias entre a localização atual do entregador e o ponto de coleta do(s) pedido(s) (localização do estabelecimento) a ser(em) alocado(s). Assim, a escolha do entregador para a realização de um pedido deve, em tese, levar em conta questões de localização relativa entre local de entrega, local de coleta e posição do entregador.

3.2.1.3 Meio de Transporte do Entregador

Conhecer qual o método de transporte que o entregador está utilizando é importante para cálculo aproximado do tempo de deslocamento entre duas localizações. A Empresa X aceitava que o entregador informasse através de seu aplicativo se estaria utilizando carro, bicicleta ou motocicleta.

3.2.2 Informações do pedido

As principais informações de um pedido são elencadas na sequência nos itens (i) a (v):

- (i) Instante em que o pedido entrou na plataforma.
- (ii) Instante em que o entregador aceita o pedido.
- (iii) Instante em que o entregador coleta o pedido.
- (iv) Instante em que o entregador chega ao ponto de entrega.
- (v) O estado do pedido.

3.2.2.1 Instante em que o pedido entra na plataforma

Basicamente esse é o registro do instante de tempo (*timestamp*) em que a plataforma recebeu o pedido do cliente. As informações relativas à “idade” (*age*) do pedido tem por base este registro temporal.

3.2.2.2 Instante em que o entregador aceita o pedido

O entregador informa à plataforma se ele aceita realizar a entrega de um pedido ou não. Essa informação é utilizada para a plataforma entender se o entregador está de acordo com a alocação realizada por ela. Ressalta-se que, até realizar o aceite do pedido, no contexto da empresa em análise, não são fornecidas informações exatas ao entregador em relação ao ponto de entrega do pedido.

Além de conhecer se o entregador aceitou ou não é preciso considerar o horário em que o entregador aceita o pedido que foi direcionado para ele. Esse tempo é importante para ser considerado no tempo total de entrega de um pedido.

3.2.2.3 Instante em que o entregador coleta o pedido

Esse é o instante em que o entregador retira os produtos a serem entregues ao consumidor no estabelecimento em questão. Uma mensagem de mudança de *status* deve ser encaminhada ao cliente para informar que o pedido foi coletado e está em rota de entrega.

3.2.2.4 Instante em que o entregador chega ao ponto de entrega

Esse é o instante em que o entregador chega ao destino final para entregar os produtos para o consumidor. Uma mensagem deve ser encaminhada ao cliente, de modo a que tenha ciência do contexto e busque facilitar os trâmites para recebimento do pedido (*e.g.*, deslocamento até uma portaria para recebimento).

3.2.2.5 Instante em que o entregador entrega o pedido ao consumidor

Esse é o instante em que o entregador chega de fato a realizar a entrega dos itens para o cliente final. Normalmente é muito próximo do instante em que o entregador chega ao ponto de

entrega. Se a entrega for realizada em um condomínio com portaria, por exemplo, geralmente o pedido é deixado na portaria de forma a liberar o entregador para realizar uma próxima entrega, sem ter que aguardar o cliente chegar à portaria, mas é um ponto que depende da realidade operacional de cada local de entrega.

3.2.2.6 O estado do pedido

As informações apresentadas nas subseções 3.2.2.1 a 3.2.2.5 são referentes a esses estados, que podem ser consolidados como:

- (1) Pedido a ser alocado.
- (2) Pedido aceito pelo entregador.
- (3) Pedido retirado pelo entregador.
- (4) Pedido chegou ao local de entrega.
- (5) E, finalmente, o último estado do pedido: pedido entregue para o consumidor.

3.2.3 Informações do estabelecimento

As principais informações de um estabelecimento são elencadas na sequência nos itens (i) a (iii):

- (i) Localização do estabelecimento.
- (ii) Tempo de preparo.
- (iii) Tipo do estabelecimento.

3.2.3.1 Localização do estabelecimento

Latitude e longitude referentes ao estabelecimento, que é o ponto de coleta para um pedido realizado para esse estabelecimento.

3.2.3.2 Tempo de preparo

Levando em consideração que o estabelecimento pode não ser apenas do tipo restaurante, no caso de atuação da Empresa X, esse tempo refere-se ao tempo em que o pedido leva para estar pronto para ser coletado. Por exemplo, o entregador poderia realizar a coleta de um pedido de

um supermercado, o qual também teria um tempo para ser disponibilizado ao entregador.

3.2.3.3 Tipo do estabelecimento

Para a Empresa X, um estabelecimento pode ser do tipo restaurante, mercado ou farmácia. O tipo do estabelecimento influencia no tempo de preparo do pedido. Se um estabelecimento é um mercado, o pedido precisa ser separado a partir das prateleiras do estabelecimento antes de ser coletado de fato pelo entregador. Se o pedido é de um estabelecimento tipo restaurante o pedido precisa ser preparado antes de ser coletado.

3.2.4 Informações do consumidor

No contexto em análise, considera-se a informação do item (i):

- (i) Localização onde o consumidor solicitou que o pedido seja entregue.

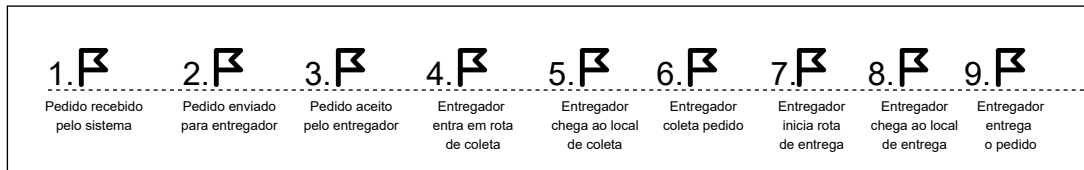
A informação necessária a respeito do consumidor para o problema de *Order Assignment* é a localização (latitude, longitude) de onde o pedido deverá ser entregue. Vale ressaltar que, para a empresa de FD *online* analisada, o pagamento do pedido é efetuado *a priori* por meio do próprio sistema quando o consumidor faz a seleção do pedido. Desta forma, não é necessário levar em consideração a logística envolvida no pagamento, tratando-se de um entregador que não pertence ao estabelecimento.

3.3 LINHA DO TEMPO PARA O PROBLEMA DE *ORDER ASSIGNMENT*

A Figura 4 traz a representação da linha do tempo de um pedido do ponto de vista do problema de *Order Assignment*. São vários acontecimentos sequenciais entre o pedido ser recebido pelo sistema e o pedido ser entregue ao cliente final. O objetivo dessa representação é ilustrar ao leitor os principais acontecimentos (eventos) envolvidos. Nem todos esses eventos foram sistematicamente mapeados pela Empresa X, desta forma, os dados recebidos limitam a exploração do problema.

A Empresa X conhece o instante de tempo em que o pedido foi recebido pelo sistema e o instante de tempo em que o entregador aceitou o pedido. Não se sabe os instantes de tempo que compreendem os eventos 4 e 5. O evento 6 é sinalizado pelo entregador de forma manual via aplicativo móvel. Desta forma, apesar de se ter esse dado, ele tende a ter muitas variações

Figura 4 – Representação da linha do tempo de um pedido no problema de *Order Assignment*



Fonte: Autoria Própria.

oriundas da entrada manual. Podem haver casos em que o entregador sinalizou antes ou depois da ocorrência do evento. Também não se conhece o instante de tempo que representa o evento 7. E, assim como o evento 6, os eventos 8 e 9 são sinalizados de forma manual via aplicativo móvel do entregador e podem não representar de fato o que ocorreu com um determinado pedido.

É importante notar também que entre o entregador chegar ao ponto de coleta e de fato coletar o pedido pode haver um tempo de espera que está relacionado ao tempo de preparo do prato, no caso de o estabelecimento ser um restaurante, ou ao tempo de coleta de um pedido nas prateleiras/balcão do mercado ou farmácia, em caso de o estabelecimento não ser um restaurante. O tempo de preparo do pedido, no contexto da Empresa colaboradora, é informado pelo próprio estabelecimento, o que também acarreta a não representação exata do cenário. Desta forma, a comparação estrita aos dados obtidos do cenário real, fato explorado *a posteriori* no Capítulo 5, possui limitações/imprecisões, conforme razões supracitadas.

3.4 CENÁRIOS DO PROBLEMA DE *ORDER ASSIGNMENT*

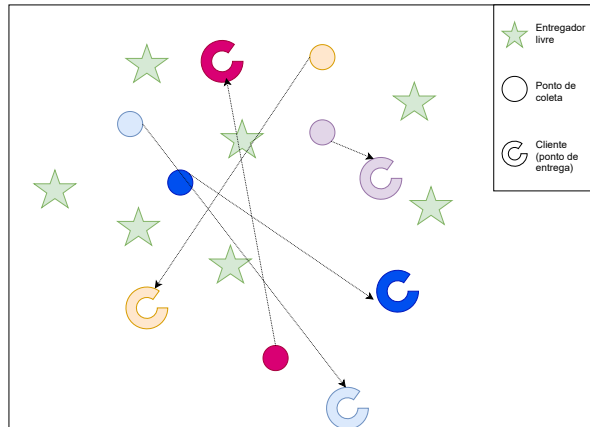
O problema de *Order Assignment* possui um contexto dinâmico em relação aos seguintes aspectos: o Número de Entregadores Livres (*NEL*) varia em função do tempo, assim como o Número de Pedidos (*NP*) a serem alocados, assim como a localização de cada entregador.

Para a elaboração de uma proposta de solução são utilizados os dados coletados em um instante específico de tempo (*timestamp*). Esses dados compreendem os pedidos que precisam ser alocados, os pedidos que estão em andamento e seus respectivos estados, assim como, os entregadores disponíveis e os entregadores ocupados no instante considerado. Analisando de forma macro podem ser considerados dois cenários:

- (i) O cenário no qual o número de entregadores livres (entregadores que ainda não estão alocados para algum pedido) é maior ou igual ao número de pedidos a serem alocados. Esse cenário será referenciado por cenário $NEL \geq NP$ e está representado de forma simplificada na Figura 5.

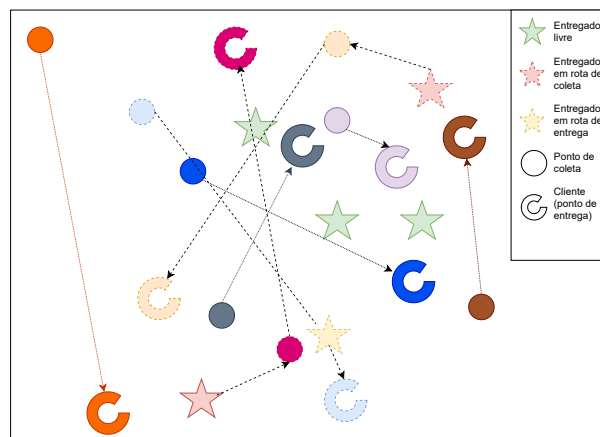
- (ii) O cenário no qual o número de entregadores livres é menor que o número de pedidos a serem alocados. O mesmo será referenciado pelo cenário $NEL < NP$, o qual está representado na Figura 6.

Figura 5 – Representação do cenário $NEL \geq NP$



Fonte: Autoria Própria.

Figura 6 – Representação do cenário $NEL < NP$



Fonte: Autoria Própria.

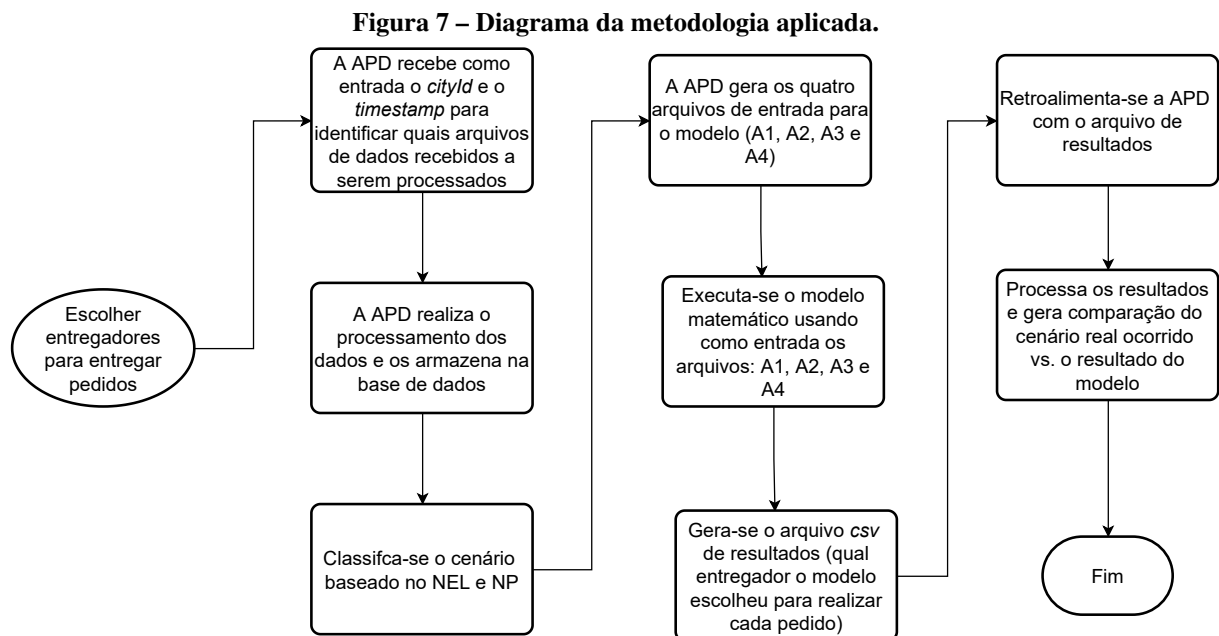
Naturalmente a resolução dos cenários $NEL \geq NP$ é menos complexa que a do cenário $NEL < NP$. Para a resolução dos cenários $NEL \geq NP$ é necessário definir qual entregador será responsável por determinado pedido e pode-se assumir que um mesmo entregador realizará apenas um pedido. Também assume-se para o cenário $NEL \geq NP$ que os entregadores que estão ocupados com outro(s) pedidos podem ser desconsiderados da análise. Já no cenário onde $NEL < NP$ um entregador deverá realizar mais que uma entrega, se for assumido que o sistema deverá realizar todas as entregas solicitadas. Contudo, podem existir entregadores que

já estejam em rota de coleta e de entrega de pedidos designados anteriormente, fato que afeta diretamente as decisões para os pedidos que ainda devem ser designados.

Tendo por base os cenários descritos, o Capítulo 4 apresenta a metodologia proposta para resolução completa dos cenários onde $NEL \geq NP$, os quais possuem uma grande aplicação para a empresa de FD *online* em análise. A metodologia também permite a resolução parcial dos casos $NEL < NP$; nesta última situação, nem todos os pedidos solicitados são designados no momento de análise.

4 METODOLOGIA APLICADA

Este capítulo tem por objetivo detalhar a metodologia aplicada na resolução completa do cenário no qual o NEL é maior ou igual ao NP , ou seja, $NEL \geq NP$. De modo adicional, a metodologia também pode ser usada para a resolução parcial dos cenários nos quais $NEL < NP$, conforme detalhado na sequência. Ressalta-se que os casos onde $NEL \geq NP$ são mais frequentes para a empresa de *FD online* em análise do que os casos $NEL < NP$, como poderá também ser observado na Tabela 4. A Figura 7 a seguir representa, de modo macro, cada processo envolvido na metodologia proposta.



Fonte: Autoria própria.

As empresas de *FD online* geralmente possuem operação em diversas cidades. Este é mais um dos desafios deste tipo de empresa, pois quanto mais cidades, maior o número de pedidos e, por consequência, maior o desafio da escalabilidade. Tendo em vista que os dados recebidos pela Empresa X estão organizados segundo cada cidade, a qual é referenciada pelo identificador único *cityId*, a metodologia projetada tratará o caso de cada cidade de forma isolada.

Sobre os dados obtidos da Empresa X, é importante mencionar que os mesmos foram coletados somente em um determinado instante de tempo (*timestamp*), ou seja, as localizações, o número de pedidos a serem alocados, o número de entregadores disponíveis, entre outros, é o retrato daquele instante de tempo.

Na metodologia proposta, a Aplicação de Processamento de Dados (APD), como referenciada pela Figura 7, representa a aplicação desenvolvida para processar os dados e gerar as informações necessárias para o modelo matemático.

Desta forma, partindo da representação da Figura 7, considerou-se válido realizar a divisão deste capítulo em: dados coletados (seção 4.1); processamento dos dados coletados pela aplicação desenvolvida (seção 4.2), APD; modelagem matemática do problema (seção 4.3); apresentação dos casos a serem resolvidos (seção 4.4); e, por fim, uma breve explicação de como foram gerados os resultados com base na saída do modelo matemático (seção 4.5).

4.1 DADOS RECEBIDOS

A proposta de solução elaborada neste trabalho conta com dados reais, que foram coletados pela Empresa X e fornecidos para o desenvolvimento deste estudo. Como citado anteriormente, esses dados são o retrato de um instante específico de tempo, *timestamp*, principalmente para o número de entregadores disponíveis e número de pedidos a serem alocados, que são dois dos fatores mais importantes do contexto do problema estudado. Como hipótese de simplificação para esse cenário dinâmico, olhando-se somente para determinado instante de tempo, esses dois números (entregadores e pedidos) passam a serem fixos e podem, desta forma, ser considerados parâmetros.

A obtenção dos dados da Empresa X deu-se no domínio dos Entregadores e no domínio do Pedido, que compreende também o Estabelecimento e o Consumidor, conforme detalhado na subseção 4.1.1 e na subseção 4.1.2 a seguir.

4.1.1 Dados Coletados no Domínio do Entregador

Os dados coletados no domínio do entregador foram:

- a) identificador único do entregador, referenciado como *courierId*, que foi anonimizado no ato da coleta a fim de garantir a anonimidade da Empresa X;
- b) de qual cidade o entregador estava operando, referenciado como *cityId*;
- c) representa qual a latitude do entregador, referenciado como *courierLatitude*;
- d) representa qual a longitude do entregador, referenciado como *courierLongitude*;
- e) representa qual o tipo de transporte o entregador está utilizando *transportType*.

4.1.2 Dados Coletados no Domínio do Pedido, Estabelecimento e Consumidor

Um pedido está intrinsecamente atrelado a um estabelecimento e, após designação, a um entregador. Desta forma, os dados coletados neste âmbito para análise do problema estudado foram:

- a) identificador único do pedido, referenciado como *orderId*, que foi anonimizado no ato da coleta a fim de garantir a anonimidade da Empresa X;
- b) de qual cidade o pedido foi realizado, referenciado como *cityId*;
- c) o instante de tempo no qual o cliente realizou o pedido de fato, referenciado como *checkedOutAt*;
- d) latitude do estabelecimento do qual o pedido será coletado, representado como *restaurantLatitude*;
- e) longitude do estabelecimento do qual o pedido será coletado, representado como *restaurantLongitude*;
- f) latitude na qual o pedido será entregue, representado como *customerLatitude*;
- g) longitude na qual o pedido será entregue, representado como *customerLongitude*;
- h) o estado do pedido, representado como *status*;
- i) o tempo de preparo do pedido, indicado em *prepareTime*;

4.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS COLETADOS

Para realizar o processamento dos dados foi realizado um mapeamento das informações que o modelo matemático necessitaria para conseguir entregar uma solução válida, além dos dados que já haviam sido coletados.

É importante ressaltar que, a explicação referente ao processamento, sempre é atrelada a uma cidade (*cityId*) e a um instante de tempo em específico (*timestamp*).

4.2.1 Mapeamento das informações

O resultado do mapeamento foi dividido em três seções: sobre a identificação dos pedidos e dos entregadores, sobre os pedidos e sobre a relação pedido-entregador, que serão exploradas com mais detalhes nas subseções a seguir.

4.2.1.1 Sobre a identificação dos pedidos e dos entregadores

- a) O modelo deverá conhecer a quantidade de entregadores disponíveis e quais são esses entregadores e suas respectivas localizações;
- b) O modelo deverá conhecer a quantidade de pedidos que precisam ser alocados para os entregadores e também ser capaz de identificá-los, por exemplo, em relação às características atreladas à localização.

4.2.1.2 Sobre os pedidos

Para cada pedido específico o modelo deverá conhecer algumas informações.

- a) O modelo precisará conhecer o identificador único do pedido, *orderId*;
- b) O modelo precisará conhecer a idade do pedido (em minutos), ou seja, há quanto tempo o pedido entrou na plataforma, que será referenciada como *age*;
- c) O modelo precisará conhecer a distância (em metros) entre o ponto de coleta e o ponto de entrega do pedido, que será referenciada como *distance*;
- d) O modelo também precisará conhecer quanto tempo (em minutos) leva-se para percorrer a distância entre o ponto de coleta e o ponto de entrega para os três possíveis meios de transporte que o entregador possa estar utilizando: bicicleta, motocicleta e carro. Estes serão representados respectivamente como *timeByBike*, *timeByMoto* e *timeByCar*.

4.2.1.3 Sobre a relação pedido-entregador

Para cada pedido deverão ser analisadas algumas informações que serão calculadas com base em cada entregador disponível para realização do pedido. Estas são:

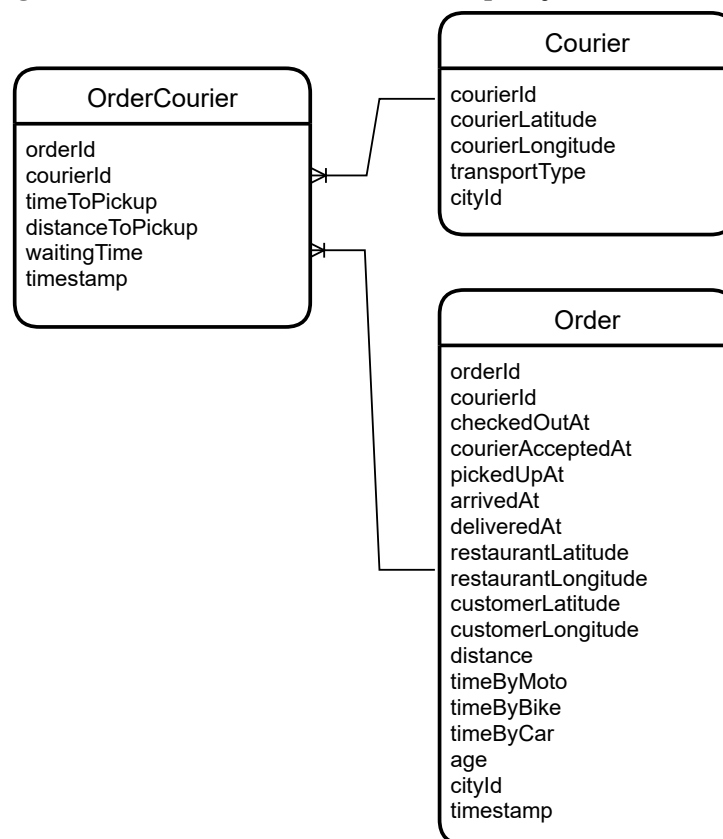
- a) O identificador do entregador, referenciado como *courierId* ;
- b) O identificador do pedido, referenciado como *orderId* ;
- c) O tipo de transporte que o entregador está utilizando, referenciado como *transportType* ;
- d) O tempo (em minutos) para o entregador chegar até o ponto de coleta do pedido, *timeToPickup*;

- e) A distância entre a posição do entregador e o ponto de coleta do pedido, *distanceToPickup*;
- f) O tempo de espera para que o entregador possa coletar o pedido, *waitingTime*.

4.2.2 Processamento das informações

Para obter-se as informações que foram mapeadas como necessárias optou-se por utilizar a linguagem de programação *Ruby* (versão 2.6.3) juntamente com o *framework Rails* (versão 6). Para armazenamento dos dados foi utilizado o banco de dados relacional *PostgreSQL* (versão 13.2). O modelo de dados utilizado no processamento dos dados segue representado no Diagrama de Entidade Relacionamento na Figura 8.

Figura 8 – Diagrama de Entidade Relacionamento da Aplicação de Processamento de Dados



Fonte: Autoria própria.

Os dados recebidos da Empresa X foram disponibilizados no formato `CSV`. Para as análises deste trabalho foram usados dois arquivos. Um contendo os pedidos com as informações listadas na subseção 4.1.1 e outro arquivo contendo as informações do entregador, listadas anteriormente na seção 4.1.2.

O processamento de dados gera quatro arquivos também no formato `csv` que são utilizados como dados de entrada para o modelo matemático. Estes são:

- (i) Arquivo contendo os identificadores dos pedidos a serem alocados (A1).
- (ii) Arquivo contendo os identificadores dos entregadores disponíveis (A2).
- (iii) Arquivo contendo as informações de cada pedido que precisará ser alocado (A3).
- (iv) Arquivo contendo as informações da relação pedido-entregador (A4).

Para a geração dos arquivos de entrada para o modelo, a Aplicação de Processamento de Dados (APD) se baseia em três objetos principais, os quais estão representados de forma macro na Figura 8.

O arquivo A1 é gerado concatenando os identificadores dos pedidos que ainda estão sem entregadores alocados para uma determinada cidade, em um determinado instante de tempo. O A2 é gerado de forma bastante similar ao A1: a APD realiza uma concatenação dos identificadores dos entregadores que estão disponíveis para uma determinada cidade, em um determinado instante de tempo.

A geração dos arquivos A3 e A4 é mais complexa em comparação à geração dos arquivos A1 e A2 e, por esse motivo, é abordada na subseção 4.2.3 a seguir.

4.2.3 Cálculo de Distância e Tempo Entre Coordenadas Geográficas

Para a geração dos arquivos A3 e A4 é necessário realizar o cálculo de informações como a distância entre duas coordenadas geográficas e o tempo para percorrer essa distância, baseado no meio de transporte que o entregador está utilizando (bicicleta, moto ou carro).

No intuito de obter as informações mais próximas do cenário real, optou-se por realizar uma integração entre a APD e a Interface de Programação de Aplicações, do inglês *Application Programming Interface* (API) de Roteamento (versão 8) da empresa *Here Maps*¹. A partir de uma conta de desenvolvedor na plataforma da *Here Maps*, iniciou-se a integração criando um serviço para encapsular o uso da API de roteamento. Para esse serviço dois métodos foram abertos para a aplicação como um todo. O primeiro, assinado como `getTimeToLocation(origin, destination, transportType)`, ficou responsável por retornar o tempo (em minutos) necessário para percorrer a rota mais rápida entre duas coordenadas geográficas (*origin* e

¹ Documentação está disponível em https://developer.here.com/documentation/routing-api/dev_guide/topics/use-cases/calculate-route.html.

destination) utilizando-se um determinado meio de transporte (*transportType*). Já o segundo método ficou com a responsabilidade de calcular a distância (em metros) entre dois pontos (*origin* e *destination*): `getDistanceToLocation(origin, destination)`.

Estes dois métodos foram amplamente utilizados na APD para cálculo das informações contidas nos arquivos A3 e A4.

4.2.3.1 Geração do arquivo A3

O arquivo A3 deve conter todas as informações já recebidas pela Empresa X e anonimizadas (*orderId*), acrescido das informações mapeadas na subseção 4.2.1.2. A primeira delas seria a idade do pedido, que é calculada com base no dado *checkedOutAt* e no *timestamp*, conforme Algoritmo 1.

Algoritmo 1 – Cálculo da idade do pedido.

inserir *checkedOutAt, timestamp*

1: *age* = *minutes(timestamp – checkedOutAt)*

2: **retorna** *age*

Fonte: A autoria própria.

Na sequência é preciso calcular distância entre o ponto de coleta e entrega, *distance*, conforme Algoritmo 2. Para esse cálculo é importante ressaltar que foi realizada uma simplificação considerando que a distância percorrida seria a mesma independentemente do meio de transporte utilizado pelo entregador.

Algoritmo 2 – Cálculo da distância entre o ponto de coleta e o ponto de entrega

inserir *origin* = $[restaurantLatitude, restaurantLongitude]$, *destination* = $[customerLatitude, customerLongitude]$

1: *distance* = *HereMaps :: getDistanceToLocation(origin, destination)*

2: **retorna** *distance*

Fonte: A autoria própria.

Por último, relacionado ao domínio do pedido, é necessário calcular quanto tempo levaria para se percorrer o trajeto entre o ponto de coleta e o ponto de entrega para cada meio de transporte que o entregador possa estar utilizando: *timeByBike*, *timeByMoto* e *timeByCar*, conforme Algoritmo 3.

Algoritmo 3 – Cálculo do tempo entre o ponto de coleta e entrega para cada meio de transporte

```

inserir origin = [restaurantLatitude, restaurantLongitude], destination =
[customerLatitude, customerLongitude], transportType
1: timeByTransportType = HereMaps :: getTimeToLocation(origin, destination, transportType)
2: retorna timeByTransportType

```

Fonte: Autoria própria.

4.2.3.2 Geração do arquivo A4

O arquivo A4 foi gerado para representação da relação pedido-entregador já explicitada na subseção 4.2.1.3, além dos dados já recebidos da Empresa X, como o identificador do pedido e do entregador e o tipo de transporte que o entregador está utilizando (*orderId*, *courierId* e *transportType*, respectivamente).

O Algoritmo 4 traz o cálculo do tempo para o entregador chegar até o ponto de coleta do pedido, *timeToPickup*:

Algoritmo 4 – Cálculo do tempo para o entregador se deslocar ao ponto de coleta baseado no meio de transporte que o mesmo está utilizando.

```

inserir origin = [courierLatitude, courierLongitude], destination =
[restaurantLatitude, restaurantLongitude], transportType
1: timeToPickup = HereMaps :: getTimeToLocation(origin, destination, transportType)
2: retorna timeToPickup

```

Fonte: Autoria própria.

Já o tempo de espera, que é o tempo que o entregador terá que aguardar no estabelecimento para que o pedido fique pronto é calculado como mostrado no Algoritmo 5.

Algoritmo 5 – Cálculo do tempo de espera que o entregador terá que aguardar para o pedido ficar pronto.

```

inserir age, prepareTime
1: se age > prepareTime então
2:   waitingTime = 0
3: senão,
4:   waitingTime = (prepareTime - age - timeToPickup) >= 0 ? (prepareTime - age - timeToPickup) : 0
5: finaliza se
6: retorna waitingTime

```

Fonte: Autoria própria.

Os parâmetros calculados na seção 4.2 são utilizados pelo modelo matemático apresentado a seguir na seção 4.3.

4.3 MODELAGEM MATEMÁTICA

O modelo matemático proposto é formulado em Programação Linear Inteira Mista (PLIM). A Tabela 1 traz os índices e conjuntos utilizados na formulação; a Tabela 2 apresenta uma série de parâmetros usados; Na Tabela 3 as variáveis utilizadas são explicitadas.

Tabela 1 – Índices e conjuntos utilizados para elaboração do modelo matemático.

Índice	Conjunto	Descrição
o	$o \in O$	Identificador único para o pedido “ o ”, que pertence ao conjunto de todos os pedidos “ O ”
c	$c \in C$	Identificador único para o entregador “ c ”, que pertence ao conjunto de todos os entregadores “ C ”
$\{o,c\}$	$\{o,c\} \in OC$	Conjunto de dados referentes à combinação entre cada pedido com cada entregador livre

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Parâmetros utilizados para elaboração do modelo matemático.

Parâmetro	Tipo	Descrição
$tb_{o,c}$	Binário	Determina se o meio de transporte utilizado para o pedido o pelo entregador c é bicicleta ($tb_{o,c} = 1$) ou não ($tb_{o,c} = 0$)
$tm_{o,c}$	Binário	Determina se o meio de transporte utilizado para o pedido o pelo entregador c é motocicleta ($tm_{o,c} = 1$) ou não ($tm_{o,c} = 0$)
$tc_{o,c}$	Binário	Determina se o meio de transporte utilizado para o pedido o pelo entregador c é carro ($tc_{o,c} = 1$) ou não ($tc_{o,c} = 0$)
$dcp_{o,c}$	Inteiro Positivo	Distância do entregador c até o ponto de coleta de o (em metros)
$tcp_{o,c}$	Inteiro Positivo	Tempo para o entregador c chegar até o ponto de coleta de o (em minutos)
$wt_{o,c}$	Inteiro Positivo	Tempo de espera (<i>waiting time</i>) de c para retirar o pedido o (em minutos)
dpo	Inteiro Positivo	Distância entre o ponto de coleta e o ponto de entrega de o (em metros)
trb_o	Inteiro Positivo	Tempo para navegar entre o ponto de coleta e o ponto de entrega de o por meio de bicicleta (em minutos)
trm_o	Inteiro Positivo	Tempo para navegar entre o ponto de coleta e o ponto de entrega de o por meio de motocicleta (em minutos)
trc_o	Inteiro Positivo	Tempo para navegar entre o ponto de coleta e o ponto de entrega de o por meio de carro (em minutos)
a_o	Inteiro Positivo	Tempo decorrido desde a entrada no pedido o na plataforma até o momento da coleta dos dados, idade do pedido (<i>age</i>), (em minutos)
TO	Inteiro Positivo	Total de pedidos a serem alocados; auxilia a determinar o conjunto O , que possui domínio em $\{1 \dots TO\}$
TC	Inteiro Positivo	Total de entregadores disponíveis; auxilia a determinar o conjunto C , que possui domínio em $\{1 \dots TC\}$
MOC	Inteiro Positivo	Número máximo de pedidos permitido por entregador; devido às limitações de escopo estabelecidas neste estudo, adotou-se $MOC = 1$; para casos em que $MOC > 1$, adaptações de modelagem são necessárias para plenamente contemplar o contexto
M	Inteiro Positivo	Valor suficientemente grande para ponderar a variável de relaxação (vRC_o) na função objetivo, a qual só deve ser ativada quando estritamente necessário; deste modo, o Termo 2 da função objetivo deve ter peso muito maior em relação aos demais
kd	Inteiro Positivo	Fator de ponderação associado ao Termo 1 da função objetivo, relacionado a distâncias percorridas
ktb	Inteiro Positivo	Fator de ponderação associado ao Termo 3.1 da função objetivo, relacionado a tempos gastos com bicicleta
ktm	Inteiro Positivo	Fator de ponderação associado ao Termo 3.2 da função objetivo, relacionado a tempos gastos com motocicleta
ktc	Inteiro Positivo	Fator de ponderação associado ao Termo 3.3 da função objetivo, relacionado a tempos gastos com carro

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 – Variáveis adotadas para elaboração do modelo matemático.

Variável	Tipo	Descrição
$vOC_{o,c}$	Binário	Variável binária que determina se o pedido “ o ” é alocado para o entregador “ c ” ($vOC_{o,c} = 1$), ou não ($vOC_{o,c} = 0$)
vRC_o	Inteiro Positivo	Variável de relaxação no atendimento de um pedido “ o ”; $vRC_o = 1$ se o pedido “ o ” não é atendido, $vRC_o = 0$ se o pedido “ o ” é atendido; o domínio da variável é limitado, no contexto analisado, a valores entre zero e um

Fonte: Autoria própria.

4.3.1 Função Objetivo

A Equação 1 apresenta a função objetivo da formulação proposta. Esta equação é composta por 3 termos, sendo que o terceiro termo foi dividido em três partes.

O Termo 1 é referente à minimização das distâncias. O modelo analisa cada possível combinação, levando-se em consideração a distância do entregador ao ponto de coleta e a distância entre o ponto de coleta e o ponto de entrega. Um fator de ponderação (kd) é utilizado para relativizar este termo em relação aos demais, em especial o Termo 3, que possui dimensional em unidades de tempo (minutos), enquanto o Termo 1 apresenta dimensional em unidades de distância (metros).

O Termo 2 trata de uma condição de relaxação que permite que o modelo decida deixar de realizar alguns pedidos, caso seja considerado pertinente. Apenas para ciência inicial, menciona-se que o valor do parâmetro M utilizado para a resolução dos casos e análise de performance foi 10000. Este valor foi suficientemente grande para estabelecer que violações ocorreriam somente em casos estritamente necessários, não existindo “competição” do Termo 2 em relação aos demais. Em termos práticos, a variável vRC_o somente assume valores não nulos para indicar soluções (parciais) nos casos em que nem todos os pedidos podem ser entregues, pois não há entregadores suficientes.

Já o Termo 3 refere-se à minimização do tempo atrelado ao meio de transporte que o entregador está utilizando. Assim, o Termo 3.1 é ativado se o meio de transporte é bicicleta, o Termo 3.2 se é motocicleta e o Termo 3.3 no caso de carro. Os fatores de ponderação adotados para os referidos termos são, respectivamente, ktb , ktm e ktc , os quais podem ser utilizados para priorizar algum meio de transporte, conforme decisão estratégica do decisor. Em síntese, o Termo 3 busca o valor ideal para a variável $vOC_{o,c}$, de acordo com cada um dos meios de transporte, e considerando: (i) o tempo para percorrer a distância entre a localização atual do entregador e o ponto de coleta do pedido; (ii) o tempo que se leva para percorrer a distância entre o ponto de coleta e entrega; e, (iii) a idade do pedido e do tempo de espera.

$$\begin{aligned}
\text{Minimize } z = & \underbrace{kd \cdot \sum_{(o,c) \in OC} vOC_{o,c} \cdot (dcp_{o,c} + dpd_{o,c})}_{\text{Termo 1}} + \\
& \underbrace{\sum_{o \in O} vRC_o \cdot M}_{\text{Termo 2}} + \\
& \underbrace{ktb \cdot \sum_{\substack{(o,c) \in OC \\ (tb_{o,c}=1)}} vOC_{o,c} \cdot (tcp_{o,c} + trb_o + a_o + wt_{o,c})}_{\text{Termo 3.1}} + \\
& \underbrace{ktm \cdot \sum_{\substack{(o,c) \in OC \\ (tm_{o,c}=1)}} vOC_{o,c} \cdot (tcp_{o,c} + trm_o + a_o + wt_{o,c})}_{\text{Termo 3.2}} + \\
& \underbrace{ktc \cdot \sum_{\substack{(o,c) \in OC \\ (tc_{o,c}=1)}} vOC_{o,c} \cdot (tcp_{o,c} + trc_o + a_o + wt_{o,c})}_{\text{Termo 3.3}}
\end{aligned} \tag{1}$$

4.3.2 Restrições do modelo

De modo a considerar as limitações físicas do contexto em análise, as restrições 2 a 5 são a seguir propostas.

A Inequação 2 indica que o número total de pedidos alocados aos entregadores é limitado pelo número total de pedidos a serem alocados.

$$\sum_{(o,c) \in OC} vOC_{o,c} \leq TO \tag{2}$$

A Inequação 3 limita o número máximo de pedidos alocados a cada entregador em função do parâmetro MOC . Para a resolução dos casos em análise, ressalta-se que o valor adotado para o MOC foi 1, limitando, desta forma, cada entregador a realizar apenas um pedido.

$$\sum_{(o,c) \in OC \mid c=cv} vOC_{o,c} \leq MOC \quad \forall cv \in C \tag{3}$$

A Inequação 4 limita o modelo para que sejam escolhidos apenas um entregador para entregar um único pedido.

$$\sum_{(o,c) \in OC \mid o=ov} vOC_{o,c} \leq 1 \quad \forall ov \in O \quad (4)$$

A Equação 5 permite que, num caso limite, entregas não sejam alocadas a nenhum entregador, mas tal condição é penalizada na função objetivo, Equação 1, Termo 2. Conforme destacado no início do Capítulo 4, a abordagem de solução proposta foi projetada para entregar uma resposta para a alocação de todos os pedidos no caso em que $NEL \geq NP$. Contudo, foi concebida uma forma de obter uma solução para os casos em que $NEL < NP$, mas com a limitação de que (alguns) pedidos não serão atendidos pela escassez de entregadores, conforme Equação 5.

$$\sum_{(o,c) \in OC \mid o=ov} vOC_{o,c} = 1 - vRC_{ov} \quad \forall ov \in O \quad (5)$$

4.4 CASOS A RESOLVER

A Tabela 4 apresenta os casos práticos a serem resolvidos utilizando a metodologia explicada neste capítulo. Na sequência, a Tabela 5 traz a classificação das cidades baseada no número de habitantes, de onde os casos para resolução foram retirados. O maior nível considera uma população maior do que 3 milhões de habitantes (3M) e o menor nível considera que o número de habitantes está entre 500 mil (500k) a 800 mil (800k).

É importante comentar que não houve remoção de dados das análises, ou seja, todos os casos recebidos da Empresa X, independentemente de situações de anomalia, foram mantidos nas análises.

Tabela 4 – Casos a serem analisados neste trabalho.

Caso	Instante de tempo (timestamp)	Identificador da cidade (cityId)	Pedidos para serem alocados	Entregadores “online”	Entregadores ocupados	Entregadores livres	Classificação
1	2020-12-16 17:31:25	1	5	39	7	32	$NEL \geq NP$
2	2020-12-16 17:31:25	2	11	55	23	32	$NEL \geq NP$
3	2020-12-16 17:31:25	3	8	74	6	68	$NEL \geq NP$
4	2020-12-16 17:31:25	4	4	23	6	17	$NEL \geq NP$
5	2020-12-16 17:31:25	5	5	21	12	9	$NEL \geq NP$
6	2020-12-16 17:31:25	6	7	63	30	33	$NEL \geq NP$
7	2020-12-16 17:31:25	7	113	158	85	73	$NEL < NP$
8	2020-12-16 17:31:25	8	15	24	12	12	$NEL < NP$
9	2020-12-15 19:38:38	1	7	58	52	6	$NEL < NP$
10	2020-12-15 19:38:38	2	22	98	88	10	$NEL < NP$
11	2020-12-15 19:38:38	3	4	91	28	63	$NEL \geq NP$
12	2020-12-15 19:38:38	4	6	32	16	16	$NEL \geq NP$
13	2020-12-15 19:38:38	5	9	36	20	16	$NEL \geq NP$
14	2020-12-15 19:38:38	6	13	148	116	32	$NEL \geq NP$
15	2020-12-15 19:38:38	8	7	23	12	11	$NEL \geq NP$

Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 – Classificação das cidades de onde foram retirados os casos para análise.

Identificador da cidade (cityId)	Classificação em Número de Habitantes	Classe
1	500k a 800k	Nível 4
2	800k a 1M	Nível 3
3	500k a 800k	Nível 4
4	1M a 3M	Nível 2
5	800k a 1M	Nível 3
6	1M a 3M	Nível 2
7	maior que 3M	Nível 1
8	500k a 800k	Nível 4

Fonte: Autoria própria.

4.5 GERAÇÃO DE RESULTADOS PARA ANÁLISE

A saída do modelo matemático especifica por meio do par de identificadores do pedido e do entregador, se esse foi de fato o par escolhido como solução ótima. Para ser possível ter uma visão crítica dos resultados, houve mais uma etapa de desenvolvimento na APD, o processamento dos resultados.

Além dos dados de entrada recebidos da Empresa X, foi também recebido um arquivo contendo a real combinação de pedido entregador que ocorreu e informações referentes a essa combinação. Desta forma, uma parte do processamento de resultados, foi armazenar esses valores obtidos na base de dados.

Para que fosse possível realizar uma comparação aproximada entre os tempos estimados pelo modelo com os tempos realizados pela Empresa X algumas premissas foram assumidas:

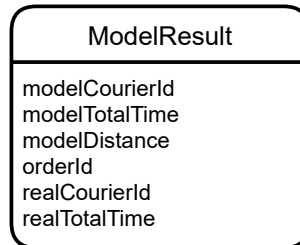
- (i) O tempo real de entrega foi considerado a partir do momento que o entregador aceitou o pedido até o pedido ser de fato entregue.
- (ii) Logo, o tempo que o entregador levou para realizar o aceite foi descartado na consolidação do tempo real de entrega.
- (iii) Por conta de os dados recebidos não contemplarem todas as posições referente a cada instante de tempo de cada entregador, também por não se ter conhecimento do momento exato em que o entregador entrou em rota de coleta e nem sua posição inicial, não é possível conhecer a distância real exata que foi percorrida para a entrega de cada pedido.

Na Figura 9 está representado o modelo de dados utilizado para sintetizar as informações de resultado. De modo complementar, o Quadro 4 detalha cada um dos campos em análise.

O processamento dos resultados pela APD recebe como parâmetro um arquivo no formato `CSV` gerado a partir dos resultados do modelo. Para cada combinação escolhida pelo

modelo (entregador e pedido) são preenchidos os dados já expostos na Figura 9. Para resolução dos casos foi utilizado o solver *IBM CPLEX Optimizer*.

Figura 9 – Modelo de dados utilizado para análise de resultados.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 4 – Descrição de cada campo do modelo de dados *ModelResult*.

Nome do Campo	Descrição
<i>orderId</i>	Identificador do pedido.
<i>modelCourierId</i>	Identificador do entregador escolhido pelo modelo matemático para realizar a entrega.
<i>realCourierId</i>	Identificador do entregador que realizou a entrega de fato.
<i>modelDistance</i>	Cálculo aproximado da distância percorrida pelo entregador, na escolha realizada pelo modelo, considerando-se a posição inicial do entregador como sendo a posição conhecida repassada pela Empresa X no conjunto de dados e assumindo-se que a rota percorrida pelo entregador seria a rota calculada pela APD.
<i>modelTotalTime</i>	Tempo total (em minutos) calculado com base na escolha do modelo (entregador-pedido), considerando-se que o entregador entrou imediatamente em rota de coleta após o recebimento do pedido e realizou a rota proposta pela APD.
<i>realTotalTime</i>	Tempo total (em minutos) entre o momento em que o pedido foi aceito pelo entregador e de fato chegou à residência do cliente.

Fonte: Autoria própria.

Tendo os dados descritos no Quadro 4, o Capítulo 5 a seguir apresenta os resultados obtidos por meio da metodologia exposta para a resolução do problema de *Order Assignment* no contexto de *Food Delivery*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo é composto por duas seções principais. A primeira, seção 5.1, é utilizada para sumarizar os resultados obtidos com a metodologia proposta no Capítulo 4, quando aplicada aos casos elencados na Tabela 4. A segunda, seção 5.2, tem por objetivo apresentar uma análise de escalabilidade do modelo matemático com o possível crescimento dos cenários analisados, em particular em relação a número de entregadores e pedidos envolvidos.

5.1 RESULTADOS DOS CASOS

Conforme mencionado no preâmbulo do presente capítulo, esta seção toma por base os casos da Tabela 4 e apresenta os resultados obtidos com a metodologia proposta, a qual é centrada em um modelo matemático em PLIM.

Para fins didáticos, os fatores de ponderação kd , ktb , ktm e ktc presentes na função objetivo (Equação 1) foram mantidos unitários nos experimentos realizados. Contudo, a depender da necessidade do decisor, estes fatores podem vir a ser alterados para melhor alinhar a resposta desejada com as expectativas operacionais. Por exemplo, o fator ktb pode receber valores relativamente menores de modo a que o modelo priorize entregas realizadas por bicicleta, uma decisão com um viés centrado em questões de relativa redução de emissões de CO₂.

Para facilitar o entendimento dos resultados, a Tabela 6 e a Tabela 7 sintetizam os tempos e distâncias médias do modelo em comparação com o realizado pela Empresa X e trazem uma visão sintetizada do tempo de execução para cada caso, assim como, o número de pedidos a serem alocados e o que de fato o modelo conseguiu alocar. É notório na Tabela 6 que há diferenças significativas dos tempos médios indicados pelo modelo (totalizando 143,7 min) e o que de fato foi observado a partir dos dados práticos (379,1 min); para as distâncias não foi possível realizar a comparação, pois não haviam todos os dados necessários para realizar essa estimativa referente ao que realmente foi efetuado pelos entregadores da Empresa X. É importante ressaltar que a distância do modelo foi calculada seguindo a premissa de que o entregador aceitaria imediatamente o pedido após a alocação pelo modelo e entraria em rota de coleta. Logo, é uma condição otimista em relação ao tempo a ser observado, que tende a ser maior a depender desta entrada manual de dado. Há, ainda, as questões de trânsito efetivamente vivenciados pelo entregador, que podem diferir em relação às estimativas dadas pelo mapeamento

da rota. As diferenças nos resultados apresentados são exploradas em um aprofundamento dos casos (subseções 5.1.1 a 5.1.3).

Os resultados foram gerados com base nos dados de saída do modelo, conforme elucidado na seção 4.5. A Tabela 11 (página 85) à Tabela 26 (página 90), detalhadas no Apêndice A, trazem os resultados, caso a caso, das escolhas do modelo para aquele cenário. Essas tabelas também trazem informações a respeito do que foi de fato executado pela Empresa X. É importante comentar que não houve remoção de dados das análises, ou seja, todos os casos recebidos da Empresa X, independentemente de situações de anomalia, foram mantidos nas análises.

Para aprofundamento dos resultados foram escolhidos 3 casos, os quais são explorados nas subseções 5.1.1, 5.1.2 e 5.1.3. Por fim, é realizada uma discussão de forma geral na subseção 5.1.4.

Tabela 6 – Resultado das médias de tempo e distância realizadas pelo modelo analogamente ao realizado pela Empresa X.

Caso	Tempo Médio do Modelo (min)	Tempo Médio Real (min)	Distância Média Modelo (m)
1	9,4	12,4	540
2	6,6	15,8	402
3	3,8	24,3	304
4	9	19,3	425
5	13,4	38,5	801
6	10,2	26	664
7	10,2	22	564
8	5,3	15	294
9	17,3	45	1115
10	9,8	25,4	560
11	4,8	27,3	379
12	11,5	30,8	574
13	10,9	23,3	618
14	13,6	27,2	816
15	7,9	26,8	436
Total	143,7	379,1	8492

Fonte: Autoria própria.

5.1.1 Discussão Caso 1

O caso 1 pertence à cidade de identificador 1 na Tabela 6, que por sua vez é uma cidade de porte menor, como visto na classificação das cidades na Tabela 5. Os resultados detalhados para o caso 1 se encontram no Apêndice A, na Tabela 11 (página 85). Para esse caso, em que o instante de tempo da coleta dos dados ocorre por volta das 17h30min, havia cinco pedidos para serem alocados e 32 entregadores livres, conforme Tabela 4.

Tabela 7 – Tempo de execução computacional da abordagem e pedidos alocados para cada caso resolvido.

Caso	Tempo de Execução	Pedidos Para Alocar	Pedidos Alocados
1	20 ms	5	5
2	49 ms	11	11
3	81 ms	8	8
4	36 ms	4	4
5	14 ms	5	5
6	26 ms	7	7
7	198 s	113	73
8	38 ms	15	12
9	20 ms	7	6
10	33 ms	22	10
11	34 ms	4	4
12	16 ms	6	6
13	22 ms	9	9
14	53 ms	13	13
15	16 ms	7	7

Fonte: Autoria própria.

A escolha do entregador para o pedido de identificador *orderId* está representado na coluna *modelCourierId* da Tabela 11. Comparando-se com a coluna do que foi realizado de fato pela Empresa X, *realCourierId*, nota-se que não existiram escolhas coincidentes. Ou seja, não existiram escolhas comuns entre o modelo matemático e a Empresa X.

No cenário em análise há uma grande quantidade de entregadores disponíveis (32) em comparação ao número de pedidos para serem alocados (5), possibilitando diferentes opções de escolha para a alocação entregador-pedido. Ressalta-se, ainda, que a forma com que a Empresa X realiza as escolhas *versus* a forma que o modelo as realiza pode conduzir a soluções distintas. O modelo matemático “enxerga” um conjunto de pedidos e um conjunto de entregadores. A heurística aplicada pela Empresa X analisa pedido a pedido, conforme a entrada dos mesmos no sistema. Deste modo, o modelo busca uma solução que seja de consenso para um conjunto de pedidos.

Analisando-se os números referentes ao tempo de cada pedido na Tabela 11, é possível notar que o modelo matemático estima um tempo menor (melhor) para todos os pedidos, exceto o 144, no qual o tempo real foi 2 minutos menor que o tempo do modelo. Contudo, conforme visto na seção 3.3, tanto a Empresa X quanto o modelo matemático não têm o detalhamento de todos os tempos envolvidos; por exemplo, pode ser que o entregador não entre imediatamente em rota de coleta assim que aceita um pedido. Outro ponto é em relação à rota escolhida pelo entregador, que pode ser diferente da rota calculada pela APD, que foi usada como parâmetro para a decisão do modelo. Além disso, o trânsito efetivamente vivenciado pelo entregador pode

influenciar nos tempos de cada trajeto, ou o entregador pode fazer uma parada totalmente alheia à entrega do pedido, por exemplo, para reabastecer.

Mesmo com todas as incertezas envolvidas como pode ser visto na Tabela 6, os pedidos tendem a ser entregues, em média, 3 minutos mais rápido pelas escolhas do modelo matemático do que pelas escolhas realizadas na prática pela Empresa X (9,4 min *versus* 12,4 min). Já a distância média do modelo ficou em 540 metros.

Para este caso 1 analisado, segundo especialista do sistema, a solução proposta poderia ter sido aplicada na prática, considerando-se que a Empresa X já possui todos os dados gerados pela APD, uma vez que o tempo de execução do modelo foi de 20 ms, como mapeado na Tabela 7. Outro fato destacado pelo especialista foi o maior “equilíbrio” na escolha dos entregadores, buscando opções de maior consenso para o conjunto de pedidos, fato que é exemplificado na subseção 5.1.2 a seguir, a qual apresenta um relativo maior número de pedidos e entregadores.

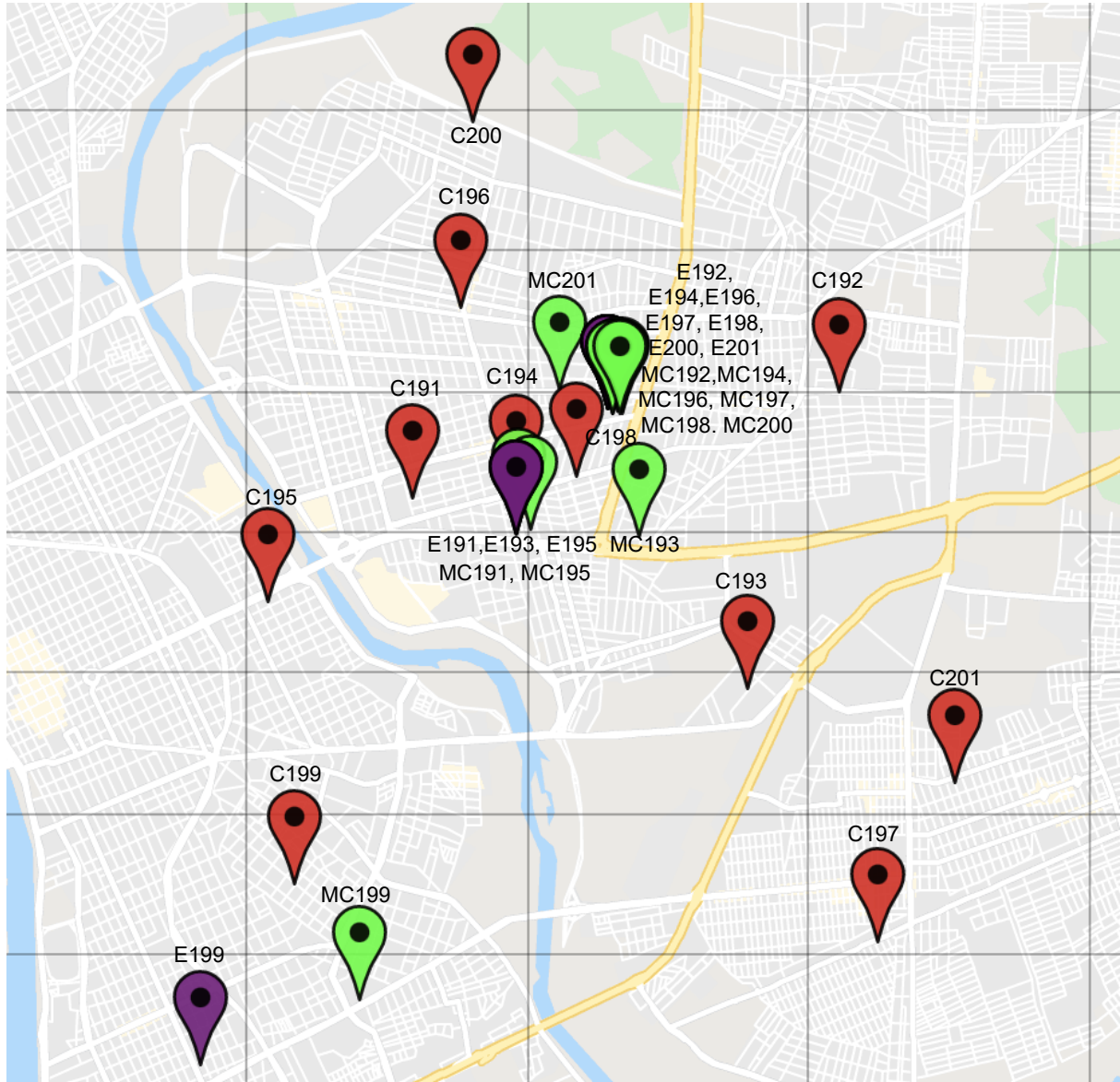
5.1.2 Discussão Caso 2

Para o caso 2 os resultados estão expostos na Tabela 12, página 85. Esse caso pertence a uma cidade de classificação maior que o caso anterior e, para o instante de tempo em que os dados foram coletados, havia 11 pedidos para serem alocados e 32 entregadores livres, conforme Tabela 4. Ou seja, um caso classificado como $NEL \geq NP$.

Para este caso, como é possível observar na Tabela 6, o tempo médio realizado pelo modelo é aproximadamente 2,4 vezes menor que o tempo realizado pela Empresa X. Como comentado nos resultados do caso anterior (subseção 5.1.1), existem diversos fatores que podem influenciar nessa diferença.

Para este caso 2 fez-se, adicionalmente, uma tentativa de estimar de modo aproximado as distâncias percorridas pelos entregadores. Pode-se considerar que, para este caso e usando uma aproximação conservadora quanto ao posicionamento dos entregadores, o modelo trouxe uma melhor proposta ao que foi de fato realizado (distância total percorrida diminuiu de ≈ 528 m para ≈ 402 m, diminuição de $\approx 24\%$, conforme Tabela 12). Ou, também, pode-se considerar que fatores externos desconhecidos podem ter influenciado o tempo/distância do entregador da Empresa X, entre eles: o entregador não ter entrado em rota de coleta instantaneamente após ter aceito o pedido, a rota escolhida pelo entregador não ser a de menor distância (como a calculada pela APD na estimativa), o trânsito de fato vivenciado pode ter causado aumento no tempo em relação ao estimado pela APD para o horário, paradas não mapeadas via sistema podem ter sido

Figura 10 – Disposição geográfica dos consumidores (pontos em vermelho com legenda iniciada pela letra ‘C’ junto ao número do pedido de referência), entregadores escolhidos pelo modelo para realizar as entregas (pontos em verde com legenda iniciada pela letra ‘MC’ junto ao número do pedido de referência) e estabelecimento responsável pelo pedido (pontos em roxo com legenda iniciada pela letra ‘E’ junto ao número do pedido de referência) .



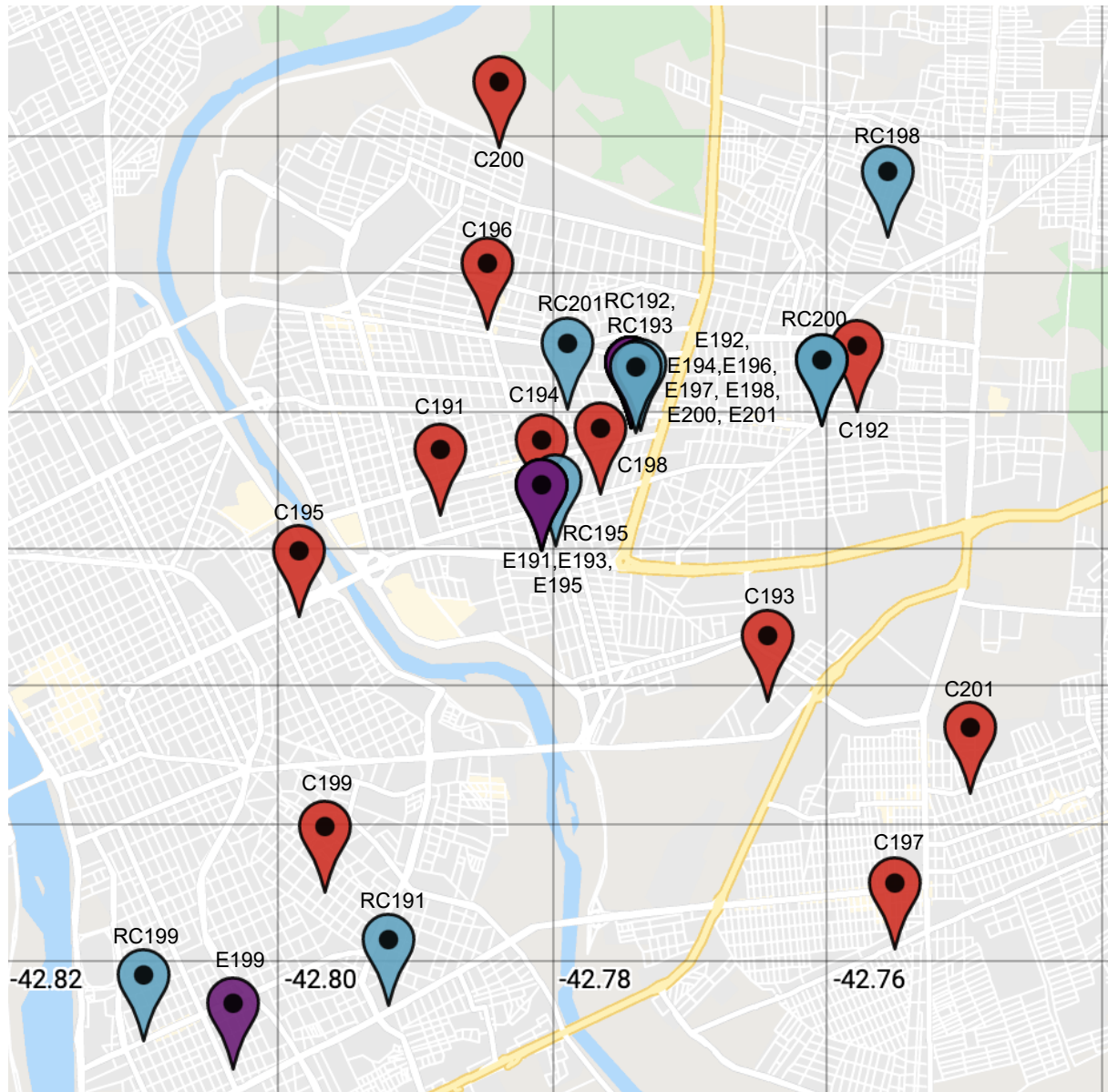
Fonte: Autoria Própria.

efetuadas pelo entregador.

Verificando a Tabela 12, nota-se que no tempo real (coluna *realTotalTime*) para o pedido 194 está marcado como *NULL*. Isso ocorre quando o pedido de fato não chegou a ser finalizado, ou seja, houve um cancelamento. Desta forma, este pedido foi retirado do cálculo da média do tempo real.

Para ilustrar a atuação do modelo comparada com o cenário real, as Figuras 10 e 11 trazem a disposição geográfica dos entregadores selecionados pelo modelo para realizar a entrega

Figura 11 – Disposição geográfica dos consumidores (pontos em vermelho com legenda iniciada pela letra ‘C’ junto ao número do pedido de referência), entregadores escolhidos no caso real para realizar as entregas (pontos em azul com legenda iniciada pela letra ‘C’ junto ao número do pedido de referência) e estabelecimento responsável pelo pedido (pontos em roxo com legenda iniciada pela letra ‘E’ junto ao número do pedido de referência).



Fonte: Autoria Própria.

de cada pedido (Figura 10) e dos entregadores que de fato realizaram as entregas nos casos reais (Figura 11). Lembrando que a representação da localização dos entregadores é referente ao instante de tempo em que os dados foram coletados.

A densidade de pontos localizados numa mesma região dificulta visualizar com clareza o exato ponto de localização dos estabelecimentos e entregadores para as Figuras 10 e 11. Contudo, um caso claro que pode ser analisado é referente ao pedido de identificador 198. Na Figura 11 o RC198 aparece no canto superior direito desta figura e o C198 mais ao centro; já

na Figura 10, o E198 está “visualmente” mais próximo dos pontos de coleta e entrega. Nota-se com clareza que o modelo matemático escolheu o entregador mais próximo do estabelecimento (E198) e do ponto de entrega (C198). Ou seja, a somatória das distâncias praticadas pelo modelo, considerando-se a posição dos entregadores no *timestamp* de coleta dos dados, é de fato menor que o praticado pela escolha da Empresa X. Na Tabela 12 os valores numéricos indicados para a distância do modelo e a real são, respectivamente, 210 m e 550 m. Outro exemplo no qual visivelmente a escolha do modelo aparenta ser melhor que o ocorrido na realidade (com base na localização dos entregadores para o *timestamp* de coleta dos dados), seria para o pedido de identificador 191. E, de fato, observando-se a Tabela 12, o tempo estimado pelo modelo foi menor que o executado na realidade para ambos os casos. Para o pedido de identificador 191 o tempo do modelo ficou em 3 min contra 16 min do de fato ocorrido. E para o pedido 198, o tempo de entrega ficou em 3 min do modelo contra 15 min do caso real.

Como pode ser observado na Tabela 12 o pedido 194 está marcado como *NULL* para a coluna *realTotalTime* por conta de ter sido cancelado antes de ser entregue. Outro ponto que também se pode notar é que para o pedido 197 a distância estimada (*estimatedRealdistance*) está marcada como *NULL*, o que foi acarretado pelo fato de o entregador selecionado para realizar o caso real não estar no conjunto de dados recebidos da Empresa X. Ou seja, esse entregador ficou disponível para realizar entregas após o *timestamp* de coleta dos dados. .

Isso reforça que a metodologia aplicada pela Empresa X é bastante diferente da metodologia aqui proposta, uma vez que a Empresa X olha cada pedido de forma individual, no momento em que esse entra na plataforma.

O tempo de execução do modelo foi de 49 ms, o que justifica que para um caso similar a este, o modelo poderia ser utilizado numa aplicação real do contexto de FDA.

5.1.3 Discussão Caso 7

Os resultados do caso 7 podem ser encontrados na Tabela 17 (página 87) e Tabela 18 (página 88). Para este caso, no instante de tempo da coleta dos dados, havia 113 pedidos para serem alocados e somente 73 entregadores disponíveis, o que o classifica em um contexto com $NEL < NP$.

Para a metodologia de solução apresentada, a qual é centrada em um modelo matemático em Programação Linear Inteira Mista, esse foi um dos casos mais sensíveis em relação à tempo de resolução, conforme Tabela 7. A restrição 3 permite que um entregador realize apenas um pedido,

como comentado na subseção 4.3.2, a qual é limitada pelo parâmetro $MOC = 1$ (*Maximum Orders per Courier*). Assim, o modelo teve que ativar o conjunto de variáveis de relaxação no número de pedidos (vRC_o), o qual é ponderado na função objetivo (equação 1).

A mudança do valor desse parâmetro MOC para 2, por exemplo, pode configurar uma alternativa para que o modelo possa alocar mais pedidos por entregador numa situação na qual o número de entregadores livres é menor que o número de pedidos a serem alocados. Contudo, a atual versão do modelo matemático não contempla plenamente as necessárias restrições para roteamento no contexto supracitado, as quais demandariam aprimoramentos na formulação proposta. De modo adicional, para esse caso, deveriam ser conhecidos todos os dados em relação aos entregadores ocupados, em que fase eles estão do pedido que estão realizando (rota de coleta, rota de entrega, ponto de entrega), quanto tempo resta para eles estarem livres para iniciar a próxima entrega, entre outros dados. Sendo que, por exemplo, o tempo de entrega de um novo pedido alocado, seria somado ao tempo restante do pedido em que o entregador está realizando no momento em que recebe a nova entrega. Assim, dadas as incertezas de acesso a dados para o contexto em que $MOC > 1$, optou-se em sugerir a análise para futuros desenvolvimentos.

Contudo, trabalhando-se com o valor 1 para o parâmetro MOC , o modelo conseguiu alocar 73 dos 113 pedidos, como pode ser visto na Tabela 7. O tempo que o modelo levou para realizar essas alocações foi de 198 segundos e a média do tempo de entrega realizado pelo modelo foi de 10,2 min contra 22 min de tempo médio real. Uma diminuição do tempo de resolução computacional para casos similares ao exposto é desejável, contudo, mesmo com o gasto computacional para obtenção de uma resposta aos pedidos ($\approx 3,3$ min), existiu uma diminuição no tempo médio para realizar a entrega dos pedidos (10,2 min *versus* 22 min), indicando a abordagem proposta como promissora, mesmo em casos maiores como o exposto.

5.1.4 Discussão Geral

Dos 15 casos analisados (Tabela 4), 11 foram classificados como $NEL \geq NP$. Existiram dois instantes de tempo de coleta de dados, um próximo das 17h31min e outro próximo das 19h38min. No mercado de *Food Delivery* os horários de pico costumam ser próximo aos horários das refeições (almoço e jantar). O horário de pico do jantar geralmente ocorre entre 19h às 22h, o que nos leva a concluir que a primeira leva de dados coletados (instante de tempo ‘2020-12-16 17:31:25’) estava fora do horário de pico e a segunda leva (instante de tempo ‘2020-12-15 19:38:38’) já estava dentro do horário de pico.

Para 11 dos 15 casos analisados o modelo matemático poderia de fato ser aplicado de forma a gerar bons resultados (considerando que a Empresa X já conhece os dados gerados pela APD), tendo em vista que a média do tempo de entrega realizado pelo modelo foi pelo menos duas vezes menor que o tempo de fato realizado pela Empresa X e o tempo de execução do modelo foi inferior a um segundo para os 11 casos onde $NEL \geq NP$, como pode ser observado na Tabela 6 e na Tabela 7. Existiram 4 casos onde $NEL < NP$. Nestes casos, o modelo se limitou a alocar parcialmente os pedidos para o número de entregadores livres de cada caso, explorando a possibilidade de relaxação, conforme restrição 5.

As comparações entre o que de fato foi executado pela Empresa X e a resposta sugerida pela metodologia proposta neste trabalho são limitadas por fatores externos (*e.g.*, ausência de dados completos), como exposto nos casos analisados na seção de resultados (subseção 5.1.1, subseção 5.1.2 e subseção 5.1.3). Contudo, analisando os resultados obtidos acredita-se que a metodologia aqui proposta pode trazer uma maior otimização em relação ao que de fato ocorre na prática da Empresa X. Enquanto a Empresa X analisa pedido a pedido, a metodologia aqui proposta busca otimizar um cenário constituído por um grupo de pedidos e um grupo de entregadores relativos a um instante de tempo em específico. Ou seja, ao invés de otimizar o contexto de um pedido específico, busca-se otimizar o contexto para um grupo de pedidos, o que por sua vez, pode penalizar um pedido em específico, mas tende a ter um melhor resultado quando olha-se para esse grupo.

5.2 DESEMPENHO COMPUTACIONAL E ESCALABILIDADE DO MODELO

Nesta seção é apresentada uma análise referente ao tempo computacional do modelo matemático em função do número de pedidos e entregadores, os quais influenciam o número de variáveis e restrições do modelo matemático. É importante ressaltar que os testes foram realizados em um computador executando o sistema operacional *MacOS Big Sur*, com um processador de 1,4 GHz Intel Core i5 Quad-Core e 8 GB de memória RAM.

A proposta foi realizar os testes em três âmbitos. O primeiro deles considera uma progressão igualitária entre o número de entregadores e pedidos (subseção 5.2.1). Para o segundo, mantém-se o número de entregadores constante e aumenta-se progressivamente o número de pedidos (subseção 5.2.2). Já na terceira proposta varia-se o número de entregadores, mantendo-se fixo o número de pedidos (subseção 5.2.3).

5.2.1 Escalabilidade do Modelo para Progressão Igualitária do Número de Pedidos e Entregadores

A Tabela 8 traz os resultados de número total de variáveis (binárias e inteiras), restrições e tempo para execução computacional feitas a partir de 100 para o número de entregadores e pedidos, incrementando-se 25 entregadores/pedidos a cada análise.

Nota-se que o número de variáveis binárias se dá pela multiplicação entre o número de pedidos e o número de entregadores, fato relacionado ao índice da variável $vOC_{o,c}$. Quanto ao número de variáveis inteiras, o crescimento é diretamente relacionado ao número de pedidos, fato atrelado ao índice da variável vRC_o .

É possível também observar que o número de restrições é composto pela somatória entre o número de entregadores (grupo de restrições 3), duas vezes o número de pedidos (grupos de restrições 4 e 5), acrescentando-se, ainda, o valor um (restrição 2).

Já o tempo de execução cresce um pouco mais de duas vezes em relação ao tempo anterior a cada incremento de 25 entregadores e pedidos. É importante notar que, apesar do tempo de execução, o modelo chega numa resposta ótima para todos os casos.

Tabela 8 – Comparação do desempenho para número de entregadores e pedidos crescendo de forma igualitária.

Número de Entregadores	Número de Pedidos	Número de Restrições	Número Total de Variáveis	Variáveis Binárias	Variáveis Inteiras	Tempo de Execução (s)
100	100	301	10100	10000	100	215
125	125	376	15750	15625	125	551
150	150	451	22650	22500	150	1453
175	175	526	30800	30625	175	3107
200	200	601	40200	40000	200	6423

Fonte: Autoria própria.

5.2.2 Escalabilidade do Modelo para Progressão do Número de Entregadores com Número Fixo de Pedidos

Para esse teste manteve-se o número de pedidos fixo em 100 e variou-se o número de entregadores. Os incrementos no número de entregadores a cada análise não foram fixos, variaram de 25 a 100. Os resultados estão disponíveis na Tabela 9.

Nota-se que o número de variáveis inteiras manteve-se fixo a cada análise, ou seja, a progressão dessa variável está diretamente relacionada com o número de pedidos, com o crescimento do conjunto de variáveis vRC_o . Já o número de variáveis binárias é influenciado

pelo resultado da multiplicação entre o número de entregadores e o número de pedidos, conforme índices da variável $vOC_{o,c}$. O crescimento do número de restrições é análogo ao comentado na subseção 5.2.1.

O tempo de execução computacional mostrou-se similar ao da Tabela 8, com tendência de ser igual ou inferior, com dimensões de modelos bastante similares em relação ao número de variáveis e restrições.

Tabela 9 – Comparação do desempenho para número de entregadores progressivo e número de pedidos fixo.

Número de Entregadores	Número de Pedidos	Número de Restrições	Número Total de Variáveis	Variáveis Binárias	Variáveis Inteiras	Tempo de Execução (s)
100	100	301	10100	10000	100	215
125	100	326	12600	12500	100	392
200	100	401	20100	20000	100	974
300	100	501	30100	30000	100	2618
400	100	601	40100	40000	100	5301

Fonte: Autoria própria.

5.2.3 Escalabilidade do Modelo para Progressão do Número de Pedidos com Número Fixo de Entregadores

Os resultados da análise de performance do modelo onde mantém-se o número de entregadores fixo a varia-se o número de pedidos encontra-se na Tabela 10. Resultados similares aos da Tabela 8 e Tabela 9 são observáveis.

Tabela 10 – Comparação do desempenho para número de entregadores progressivo e número de pedidos fixo.

Número de Entregadores	Número de Pedidos	Número de Restrições	Número Total de Variáveis	Variáveis Binárias	Variáveis Inteiras	Tempo de Execução (s)
100	100	301	10100	10000	100	215
100	125	351	12625	12500	125	350
100	200	501	20200	20000	200	987
100	300	701	30300	30000	300	2615
100	400	901	40400	40000	400	5580

Fonte: Autoria própria.

5.2.4 Discussão Sobre Desempenho e Escalabilidade

Apesar de o tempo de execução crescer conforme o número de pedido e entregas, como visto nas subseções 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3, para os casos reais resolvidos pelo modelo matemático o

tempo de execução foi bastante compatível com a realidade quase que “*online*” vivenciada pela Empresa X e pelas empresas do setor de *Food Delivery*, como pode ser observado na Tabela 7.

Além disso, quando olha-se para casos onde o número de pedidos e entregadores é bastante elevado, como por exemplo, o caso 7, pode-se pensar em outras abordagens para melhorar esse desempenho. Por exemplo, para a cidade do caso 7, que é uma cidade com mais de 3 milhões de habitantes, poderia-se realizar a subdivisão (agrupamento) em regiões geográficas. Este fato está alinhado à tendência de diminuição de distâncias, visto que entregadores relativamente próximos aos locais de coleta/entrega tendem a ser alocados aos pedidos. Deste modo, com o agrupamento, há tendência de diminuição do tempo computacional para obtenção de soluções em poucos segundos, viabilizando-se a abordagem proposta.

O Capítulo 6 a seguir toma por base os resultados obtidos no presente capítulo para traçar conclusões e apontar perspectivas para futuros desenvolvimentos.

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Este capítulo traz inicialmente as considerações sobre os desenvolvimentos realizados e principais resultados obtidos (seção 6.1) e, na sequência, apresenta perspectivas para futuros desenvolvimentos (seção 6.2).

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação trabalhou a possibilidade da modelagem matemática em Programação Linear Inteira Mista, e posterior resolução computacional exata, para o problema de designação de entregadores para um grupo de pedidos a serem entregues ao consumidor final. Os referidos pedidos são realizados e gerenciados *online* por meio de aplicativo de entrega de empresa especializada em angariar os pedidos de diferentes consumidores. Na literatura, o contexto avaliado é denominado como *Order Assignment Problem* ou *Food Delivery Problem*. Menciona-se, ainda, o termo *last-mile delivery* no contexto de análise.

A abordagem de solução foi estabelecida de forma a entender os possíveis ganhos em relação ao tempo médio de entrega, por meio da comparação com casos reais fornecidos por uma empresa do setor. De modo complementar às informações obtidas por meio da revisão bibliográfica, a descrição do problema, o processamento dos dados e a modelagem matemática foram elaborados também com o embasamento no caso real vivenciado pela Empresa X.

A metodologia proposta neste trabalho abordou o problema de OA através da combinação entre um conjunto de entregadores e um conjunto de pedidos de forma que fosse minimizado o tempo decorrido entre o momento em que o entregador aceita o pedido e o tempo em que o pedido chega na casa do cliente. Também constou na função de avaliação proposta, ou função objetivo do modelo matemático de otimização, a minimização da distância percorrida para cada pedido.

Quando a metodologia proposta trata a designação de entregadores para um grupo de pedidos, uma solução otimizada é proposta para este conjunto de pedidos e não somente para uma única designação de entregador. Ou seja, o modelo pode penalizar um ou mais pedidos em prol de um resultado melhor para o todo. Em contrapartida, a Empresa X realiza a designação de entregador pedido a pedido, o que pode justificar os bons resultados apresentados pelo modelo nas comparações apresentadas no Capítulo 5.

Para que o modelo conseguisse realizar a combinação entre pedidos e entregadores, foi necessário que os dados de entrada estivessem em um formato compatível e com as informações necessárias para o modelo matemático, as quais foram geradas pelo pré-processamento realizado pela APD. Por mais que o problema tenha sido abordado de forma a não tratar detalhadamente as questões de roteamento, a APD utilizou API's de roteamento para geração dos dados de entrada do modelo, o que traz uma maior riqueza de representação deste aspecto do problema. No caso da Empresa X, por questões de custo, o que é analisado no processo decisório é a distância euclidiana entre duas coordenadas geográficas. Há de se ressaltar, adicionalmente, que a limitação de acesso a todos os dados reais necessários impôs limitações ao escopo das comparações realizadas.

Apesar de o tempo médio de entrega para os casos reais poderem ter sofrido influência de fatores externos como o trânsito efetivamente vivenciado, paradas desconhecidas realizadas pelo entregador, tempo de espera não mapeado pelo sistema, entre outros, considera-se que os resultados obtidos foram satisfatórios para os casos onde o número de entregadores livres é maior ou igual ao número de pedidos a serem alocados ($NEL \geq NP$) em um determinado instante de tempo. Também houve a resolução parcial dos cenários onde $NEL < NP$, com a limitação de não serem entregues todos os pedidos que necessitavam de entregador. Como pode ser observado na Tabela 6, os resultados obtidos através da metodologia proposta em questão de tempo foram, em média, 2,6 vezes melhores que o realizado pela Empresa X.

Como elucidado anteriormente (e.g., seção 3.3), a comparação da distância total realizada pelo modelo *versus* a distância total realizada pela Empresa X não é de fato conhecida, pois não se teve acesso às posições dos entregadores em função do tempo nos casos reais, de forma que a distância real apresentada para a subseção 5.1.2 é uma estimativa realizada em relação ao instante de tempo em que os dados foram coletados. Ou seja, se conhece a posição do entregador para um único instante de tempo. Contudo, como o momento do aceite do pedido real pelo entregador tende a não acontecer de forma instantânea, quando ele aceita o pedido, não necessariamente ele está na posição que foi usada como base de cálculo para a distância estimada. Como consequência, descarta-se a distância percorrida entre o instante da coleta dos dados e o instante do efetivo aceite do pedido pelo entregador.

Levando-se também em consideração os tempos de execução do modelo para os casos reais (Tabela 7) e a análise de escalabilidade abordada na seção 5.2, considera-se muito plausível a real utilização da metodologia proposta para os cenários em que $NEL \geq NP$, os quais,

inclusive, compõem a grande maioria dos casos analisados neste trabalho. As respostas obtidas foram validadas por especialista do sistema, que indicou a aplicabilidade dos resultados obtidos, pois em sua grande maioria não ultrapassaram 40 segundos em tempo de execução, que seria considerado (pelo especialista do sistema) o tempo limite para processamento das informações.

Ressalta-se que os desenvolvimentos realizados e resultados obtidos indicam que o objetivo geral e específicos propostos para o trabalho, formalizados na seção 1.2, foram corretamente endereçados. De modo complementar, as pesquisas bibliográficas conduzidas sobre o problema de OA (Capítulo 2) indicam um pequeno número de trabalhos a respeito da referida temática, que pode ser justificada por se tratar de um problema relativamente recente (menos de uma década). Ainda mais escassos são os trabalhos partindo de cenários reais com elucidação completa da problemática. Desta forma, pode-se considerar a presente dissertação como uma contribuição literária sobre esse problema, o qual é vivenciado pelas plataformas de FD *online* e pelos atores envolvidos (estabelecimentos, entregadores e clientes) a todo instante.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Imaginando-se que a metodologia proposta seja de fato utilizada em um contexto prático, pode-se sugerir o chaveamento da modelagem utilizada para escolher o melhor entregador para cada pedido baseado na classificação do caso ($NEL \geq NP$ ou $NEL < NP$). Ou seja, se o contexto for classificado como $NEL \geq NP$, os dados de entrada seriam enviados para o modelo matemático proposto, caso contrário seriam enviados para outra abordagem de resolução, que ainda precisaria ser desenvolvida, tendo em vista que a modelagem apresentada consegue resolver apenas parcialmente os casos onde $NEL < NP$.

Para o caso de $NEL < NP$, a complexidade da escolha do entregador é maior, considerando-se que é necessário conhecer, além da posição atual do entregador, quantos pedidos estão alocados para ele, qual pedido ele está realizando e em qual estado do pedido ele se encontra, de forma a mapear quanto tempo levará para que o entregador possa iniciar a entrega de um próximo pedido e, desta forma, buscar otimizar o tempo de entrega e as distâncias a serem percorridas. Assim, uma maior quantidade de dados precisos são necessários para a tratativa do caso $NEL < NP$.

Outro ponto que pode ser aprimorado é a variação do parâmetro MOC , que deverá também levar em consideração o entendimento de quantos pedidos um entregador pode realizar sequencialmente, de forma que o cliente ainda fique satisfeito com o serviço prestado. De certo

modo, a questão em análise envolve responder qual a capacidade de entrega da empresa de FD *online* para um determinado número de entregadores *online*.

Ainda, tendo em vista o cenário onde $NEL < NP$, é possível buscar uma outra abordagem de otimização que seria a agregação de pedidos, de forma que o entregador poderia realizar duas (ou mais) coletas e duas (ou mais) entregas de forma sequencial ou intercaladas. No entanto, para a Empresa X a aplicação móvel destinada ao entregador limita que o entregador realize um pedido por vez. Ou seja, ele deveria realizar a coleta e a entrega de um pedido para conseguir verificar os dados do próximo pedido. Desta forma, evitando que o entregador busque realizar uma “otimização” de deslocamento por conta própria.

Quando chega-se no cenário onde a capacidade de entrega de pedidos da empresa de FD *online* está próxima do limite, também abre-se possibilidade para estudar formas de incentivar os entregadores a ficarem *online*, de forma a aumentar a capacidade de entregas baseado na demanda (número de pedidos para serem alocados). Na literatura revisada foram encontrados cenários onde trabalhava-se com o modelo de escala de horários, ou seja, o entregador agendava antecipadamente a reserva de um período no qual comprometia-se a estar disponível para realizar entregas. Em contrapartida, a empresa em questão garantia um valor mínimo de remuneração para o mesmo.

Outro âmbito de otimização que pode ser levado em consideração na expansão desse problema é a maximização do número de entregas realizadas por cada entregador, de forma a maximizar os ganhos do mesmo para um determinado período de tempo (que poderia interessantemente ser combinada com a possibilidade da reserva de horário com garantia de valor mínimo), contudo isso deverá ser ponderado de forma a não prejudicar o tempo médio de entrega e, por sua vez, a satisfação dos clientes.

Para o caso 7, exposto no Capítulo 5, nota-se que o tempo de execução foi relativamente alto para um cenário onde o tempo de resposta quase *online* é bastante relevante. Assim, sugere-se também evoluir esse estudo no sentido de particionar (*clusterizar*) o problema em regiões menores no pré-processamento dos dados (no caso deste trabalho realizados pela APD), os quais poderiam ser resolvidos de forma paralela, permitindo que a modelagem aqui desenvolvida possa ser utilizada também para casos onde haja grande número de pedidos e entregadores envolvidos.

REFERÊNCIAS

- ABDIRAD, Maryam; KRISHNAN, Krishna; GUPTA, Deepak. A two-stage metaheuristic algorithm for the dynamic vehicle routing problem in industry 4.0 approach. **Journal of Management Analytics**, Taylor & Francis, v. 8, n. 1, p. 69–83, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23270012.2020.1811166>.
- AGNETIS, A.; COSMI, M.; NICOSIA, G.; PACIFICI, A. An order aggregation and scheduling problem for meal delivery. *In: Optimization Online*. Mathematical Optimization Society, 2021. Disponível em: http://www.optimization-online.org/DB_HTML/2021/05/8392.html. Acesso em: 08 dez. 2021.
- AKPINAR, Muhammet Enes. A logistic optimization for the vehicle routing problem through a case study in the food industry. **LogForum**, v. 17, n. 3, 2021. Disponível em: https://www.logforum.net/pdf/17_3_6_21.pdf. Acesso em: 08 dez. 2021.
- BERBEGLIA, Gerardo; CORDEAU, Jean-François; LAPORTE, Gilbert. Dynamic pickup and delivery problems. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 1, p. 8–15, 2010. ISSN 0377-2217. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221709002999>. Acesso em: 08 dez. 2021.
- BERNARDO, Marcella; PANNEK, Jürgen. Robust solution approach for the dynamic and stochastic vehicle routing problem. **Journal of Advanced Transportation**, Hindawi, v. 2018, p. 9848104, Mar 2018. ISSN 0197-6729. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2018/9848104>.
- BOYSEN, Nils; FEDTKE, Stefan; SCHWERDFEGGER, Stefan. Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective. **OR Spectrum**, v. 43, n. 1, p. 1–58, Mar 2021. ISSN 1436-6304. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00291-020-00607-8>.
- CHEN, Jing-fang; WANG, Shengyao; WANG, Ling; ZHENG, Jie; CHA, Ying; HAO, Jinghua; HE, Renqing; SUN, Zhizhao. A hybrid differential evolution algorithm for the online meal delivery problem. *In: IEEE. 2020 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*. [S.l.], 2020. p. 1–8.
- CHU, Hongrui; ZHANG, Wensi; BAI, Pengfei; CHEN, Yahong. Data-driven optimization for last-mile delivery. **Complex & Intelligent Systems**, Feb 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40747-021-00293-1>. Acesso em: 08 dez. 2021.
- COSMI, Matteo; ORIOLO, Gianpaolo; PICCIALI, Veronica; VENTURA, Paolo. Single courier single restaurant meal delivery (without routing). **Operations Research Letters**, v. 47, n. 6, p. 537–541, 2019. ISSN 0167-6377. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167637719301920>. Acesso em: 08 dez. 2021.

DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. The truck dispatching problem. **Management Science**, v. 6, p. 80–91, 10 1959. Disponível em: <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/mnsc.6.1.80>. Acesso em: 08 dez. 2021.

FLATBERG, Truls; HASLE, Geir; KLOSTER, Oddvar; NILSSEN, Eivind J.; RIISE, Atle. Dynamic and stochastic vehicle routing in practice. *In: ____*. **Dynamic Fleet Management: Concepts, Systems, Algorithms & Case Studies**. Boston, MA: Springer US, 2007. p. 41–63. ISBN 978-0-387-71722-7. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-0-387-71722-7_3.

KOHAR, Amit; JAKHAR, Suresh Kumar. A capacitated multi pickup online food delivery problem with time windows: a branch-and-cut algorithm. **Annals of Operations Research**, Springer, p. 1–22, 2021.

LARSEN, Allan. **The dynamic vehicle routing problem**. dez. 2000. Tese (Doutorado) — Technical University of Denmark, dez. 2000. Disponível em: <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/5261816/imm143.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2021.

LAU, Teck-Chai; YAT, David Ng Ching. Online food delivery services: Making food delivery the new normal. v. 1, p. 62–77, 01 2019. Disponível em: <http://jmaap.org/wp-content/uploads/2019/01/5-Online-Food-Delivery-Services-Making-Food-Delivery-the-New-Normal-201911.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2021.

LI, Charlene; MIROSA, Miranda; BREMER, Phil. Review of online food delivery platforms and their impacts on sustainability. **Sustainability**, v. 12, n. 14, 2020. ISSN 2071-1050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5528>. Acesso em: 08 dez. 2021.

LIU, Sheng; HE, Long; SHEN, Max. On-time last-mile delivery: Order assignment with travel-time predictors. **Management Science**, v. 67, 11 2020.

LIU, Yanchao. An optimization-driven dynamic vehicle routing algorithm for on-demand meal delivery using drones. **Computers & Operations Research**, v. 111, p. 1–20, 2019. ISSN 0305-0548. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054819301431>. Acesso em: 08 dez. 2021.

LU, Yuxin; WU, Yongzhong; ZHOU, Yongwu. Order assignment and routing for online food delivery: Two meta-heuristic methods. *In: Proceedings of the 2017 International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics & Swarm Intelligence*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (ISMSI '17), p. 125–129. ISBN 9781450347983. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3059336.3059349>.

PAL, Debajyoti; FUNILKUL, Suree; EAMSINVATTANA, Wichai; SIYAL, Saeed. Using online food delivery applications during the covid-19 lockdown period: What drives university students' satisfaction and loyalty? **Journal of Foodservice Business Research**, Routledge, v. 0, n. 0, p. 1–45, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15378020.2021.1964419>.

PILLAC, Victor; GENDREAU, Michel; GUÉRET, Christelle; MEDAGLIA, Andrés L. A review of dynamic vehicle routing problems. **European Journal of Operational Research**, v. 225, n. 1, p. 1–11, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.08.015>. Acesso em: 08 dez. 2021.

PILLAC, Victor; GUÉRET, Christelle; MEDAGLIA, Andrés L. An event-driven optimization framework for dynamic vehicle routing. **Decision Support Systems**, v. 54, n. 1, p. 414–423, 2012. ISSN 0167-9236. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016792361200190X>. Acesso em: 08 dez. 2021.

PSARAFTIS, Harilaos; WEN, Min; KONTOVAS, Christos. Dynamic vehicle routing problems: Three decades and counting. **Networks**, v. 67, 08 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/net.21628>. Acesso em: 08 dez. 2021.

REYES, Damián; ERERA, A.; SAVELSBERGH, M.; SAHASRABUDHE, S.; O'NEIL, Ryan J. The meal delivery routing problem. *In: Optimization Online*. Mathematical Optimization Society, 2018. Disponível em: http://www.optimization-online.org/DB_FILE/2018/04/6571.pdf. Acesso em: 08 dez. 2021.

SAVELSBERGH, Martin; WOENSEL, Tom Van. 50th anniversary invited article—city logistics: Challenges and opportunities. **Transportation Science**, v. 50, 03 2016. Disponível em: <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/trsc.2016.0675>. Acesso em: 08 dez. 2021.

STEEVER, Zachary; KARWAN, Mark; MURRAY, Chase. Dynamic courier routing for a food delivery service. **Computers & Operations Research**, v. 107, p. 173–188, 2019. ISSN 0305-0548. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054819300681>. Acesso em: 08 dez. 2021.

ULMER, Marlin; GOODSON, Justin; MATTFELD, Dirk; THOMAS, Barrett. On modeling stochastic dynamic vehicle routing problems. **EURO Journal on Transportation and Logistics**, v. 9, p. 100008, 06 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S219243762030008X>. Acesso em: 08 dez. 2021.

ULMER, Marlin; THOMAS, Barrett; CAMPBELL, Ann; WOYAK, Nicholas. The restaurant meal delivery problem: Dynamic pick-up and delivery with deadlines and random ready times. **Transportation Science**, 01 2021. Disponível em: <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/trsc.2020.1000>. Acesso em: 08 dez. 2021.

YILDIZ, Baris; SAVELSBERGH, Martin. Provably high-quality solutions for the meal delivery routing problem. **Transportation Science**, v. 53, n. 5, p. 1372–1388, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0887>.

APÊNDICE A – RESULTADOS DETALHADOS PARA OS CASOS AVALIADOS

Tabela 11 – Resultados para o caso 1.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
144	2937309	1654757	8	6	457
145	2773087	696782	11	14	673
146	35799	2937309	13	23	826
147	6770	2772814	7	10	409
148	2867744	35799	8	9	339

Fonte: Autoria própria.

Tabela 12 – Resultados para o caso 2.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance	estimatedReal-Distance
191	577967	660926	3	16	172	756
192	660888	1908095	4	26	275	279
193	3081386	660888	8	11	462	532
194	504782	1112697	4	NULL	256	NULL
195	1534920	577967	5	18	294	309
196	1537477	1441885	6	9	367	576
197	505824	1366059	12	21	751	NULL
198	1539054	1071801	3	15	210	550
199	660926	1902560	8	9	466	365
200	1908095	1441885	9	14	560	765
201	2002167	3703723	10	19	610	619

Fonte: Autoria própria.

Tabela 13 – Resultados para o caso 3.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
204	1319111	1312814	6	31	357
205	1312814	1841052	7	15	429
206	3730673	1112672	3	NULL	148
207	2973187	1132352	3	19	196
208	1030131	3640811	2	21	146
209	3382290	2138479	5	26	340
202	1924430	1030209	2	33	499
203	3955481	2133437	2	25	316

Fonte: Autoria própria.

Tabela 14 – Resultados para o caso 4.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
242	1953339	2385978	11	19	539
243	1728549	1728549	7	13	415
244	2096821	2969368	12	26	386
245	1943492	1112677	6	NULL	361

Fonte: Autoria própria.

Tabela 15 – Resultados para o caso 5.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
246	948179	845793	13	61	777
247	1131446	688196	7	NULL	467
248	1510278	2690579	19	49	1132
249	2498237	2500413	14	15	768
250	1211591	1358378	14	29	863

Fonte: Aatoria própria.

Tabela 16 – Resultados para o caso 6.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
255	618699	NULL	9	NULL	580
256	3851933	3527164	4	22	555
257	161876	246605	14	26	859
258	1117465	79313	18	35	1061
259	154646	1117465	10	16	585
260	1035508	154646	7	30	444
261	2851750	880003	9	27	562

Fonte: Aatoria própria.

Tabela 17 – Resultados para o caso 7 (continua).

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
393	1666930	342376	12	14	756
394	2285763	726475	2	29	310
395	388419	3983507	6	18	360
396	966930	176717	6	8	344
397	653970	2460943	2	13	329
398	1066731	726130	10	7	454
399	2199677	151298	6	9	381
400	1233748	3724702	28	41	1118
401	294305	1112522	8	NULL	492
402	3741369	3484889	3	34	362
403	838135	428693	7	25	462
404	1669941	663579	11	19	200
405	306182	887278	19	9	1047
406	3744657	1112522	20	NULL	1085
407	304252	304252	5	27	179
408	680398	3066339	2	25	342
409	2491799	1446643	19	19	1113
410	323371	791283	5	26	247
411	3987007	3594950	4	25	159
412	1119591	326696	10	20	396
413	575052	653807	19	11	960
414	3957006	966930	18	10	971
415	1114061	1112522	8	NULL	267
416	621942	176717	7	11	421
417	602396	724571	6	26	302
418	2490079	342376	23	6	1381
419	3983507	375218	12	30	709
420	1657472	2745020	2	7	174
421	3776626	1112522	12	NULL	669
422	361671	3992473	8	25	504
423	1114045	375218	8	15	463
424	2279537	602490	6	21	355
425	2383906	3598331	11	49	285
426	2494309	726130	15	18	938
427	1753416	1112522	16	NULL	969
428	3872440	3767764	21	14	1218
429	375209	342435	9	15	300
430	2897993	1112522	16	NULL	737
431	3982471	3993478	3	24	171
432	628062	1112522	8	NULL	672
433	791283	1501651	9	29	565
434	2801465	890126	8	11	143
435	306159	1112522	6	NULL	241
436	640784	621942	2	22	318
437	3369275	1112522	2	68	93
438	3592412	1112522	7	NULL	468
439	965771	591683	1	10	62
440	1670591	1670591	1	73	71
441	3484889	304237	7	22	398
442	831788	1112522	22	NULL	1320
443	3261596	1112522	27	NULL	1630
444	965679	1670591	2	17	398
445	360787	1074015	9	58	531
446	2270570	1112522	8	NULL	510

Fonte: Autoria própria.

Tabela 18 – Resultados para o caso 7 (continuação)

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
447	744013	725954	12	14	749
448	287625	2379994	13	18	642
449	3605964	304237	6	11	394
450	2237217	1112522	8	NULL	250
451	3997018	1112522	2	NULL	110
452	2171914	3605883	10	25	567
453	3993478	1576690	7	55	213
454	1442625	326696	31	10	1833
455	2460943	621942	8	17	517
456	286050	286050	4	10	277
457	965618	720701	9	5	525
458	3597429	388419	43	16	2561
459	276933	2383906	5	9	311
460	3742121	3656500	25	59	496
461	1534725	791283	5	14	299
462	575023	260812	5	11	349
463	260812	1112522	3	NULL	120
464	3985766	3887750	20	20	1187
465	3957223	1112522	3	NULL	415

Fonte: Autoria própria.

Tabela 19 – Resultados para o caso 8.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
466	2911133	3173743	3	36	178
467	3548800	1112658	7	NULL	339
468	3729164	3992514	4	14	236
469	2313586	2959243	10	25	549
470	3499709	2551892	8	13	451
471	475642	3289800	4	18	210
472	3806633	1196142	4	0	243
473	634909	3173743	6	14	280
474	553819	1112658	5	NULL	260
475	3173743	2313586	1	6	176
476	553905	664746	6	21	338
477	516768	1196142	5	3	275

Fonte: Autoria própria.

Tabela 20 – Resultados para o caso 9.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
478	2629320	974809	30	59	1831
479	3603753	NULL	2	NULL	491
480	2428290	3603087	20	45	1154
481	790508	1108751	21	NULL	1300
482	758379	3173499	23	32	1395
483	3419963	3002627	8	44	520

Fonte: Autoria própria.

Tabela 21 – Resultados para o caso 10.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
484	1440965	3703922	10	23	603
485	3770397	2178737	20	50	1219
486	2178737	1858782	6	29	366
487	589676	3014732	7	24	411
488	3276553	2178737	9	33	539
489	3703922	NULL	3	NULL	206
490	3414234	3490366	13	11	608
491	3476720	3490366	12	13	598
492	3704453	2286911	13	20	772
493	589650	3276553	5	17	276

Fonte: A autoria própria.

Tabela 22 – Resultados para o caso 11.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
494	1319111	1689355	8	36	488
495	1689355	1841052	4	21	285
496	3063743	3605710	5	11	319
497	3677102	3031875	2	41	425

Fonte: A autoria própria.

Tabela 23 – Resultados para o caso 12.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
498	2385978	2605943	7	62	411
499	2605943	2385978	10	15	604
500	1728787	3636821	20	48	587
501	2096928	1201817	18	15	1101
502	3257055	2385978	10	31	569
503	3636821	2096928	4	14	174

Fonte: A autoria própria.

Tabela 24 – Resultados para o caso 13.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
510	3534102	1480689	10	16	633
511	1480689	948191	16	26	990
512	2498237	2672142	17	11	545
504	1128273	845793	8	32	483
505	2630359	2630359	6	31	398
506	2629784	1112627	16	NULL	971
507	2690579	1128273	11	36	653
508	2672142	3534102	7	21	464
509	948191	2690579	7	13	425

Fonte: A autoria própria.

Tabela 25 – Resultados para o caso 14.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
520	1302446	1696590	5	11	326
521	935636	1112516	16	NULL	976
522	1758953	1206693	22	48	1328
523	3730929	233562	13	14	801
524	3698146	294326	19	31	1146
525	1206693	1758953	18	24	1083
526	63609	931513	16	23	942
527	3743218	63609	22	31	1085
528	2907620	3875370	7	24	322
529	233441	630712	9	42	557
530	784658	1206693	7	8	249
531	1767674	2403754	14	54	819
532	3852056	2403754	9	16	975

Fonte: Autoria própria.

Tabela 26 – Resultados para o caso 15.

orderId	model-CourierId	real-CourierId	model-TotalTime	real-TotalTime	model-Distance
513	1906413	NULL	7	NULL	218
514	3173841	3675502	10	34	590
515	553819	1112658	6	NULL	341
516	967480	3729164	11	15	647
517	3023487	967480	9	15	513
518	3853701	605901	9	35	554
519	634909	1906413	3	35	192

Fonte: Autoria própria.