



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE RUSSAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**MILENE CASEMIRO CAVALCANTE**

**APLICAÇÃO DE GRAFOS E PONDERAÇÃO BASEADA EM MÚLTIPLOS  
FATORES NAS ROTAS DE SISTEMAS *DELIVERY* NA CIDADE DE RUSSAS**

**RUSSAS**

**2023**

MILENE CASEMIRO CAVALCANTE

APLICAÇÃO DE GRAFOS E PONDERAÇÃO BASEADA EM MÚLTIPLOS  
FATORES NAS ROTAS DE SISTEMAS *DELIVERY* NA CIDADE DE RUSSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação do Campus de Russas da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Luiz Braga Soares.

RUSSAS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C364a Cavalcante, Milene Casemiro.

Aplicação de grafos e ponderação baseada em múltiplos fatores nas rotas de sistemas delivery na cidade de Russas / Milene Casemiro Cavalcante. – 2023.

41 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Ciência da Computação, Russas, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Pablo Luiz Braga Soares.

1. Sistema Delivery. 2. Melhoria nas Rotas. 3. Algoritmo de Dijkstra. I. Título.

CDD 005

---

MILENE CASEMIRO CAVALCANTE

APLICAÇÃO DE GRAFOS E PONDERAÇÃO BASEADA EM MÚLTIPLOS  
FATORES NAS ROTAS DE SISTEMAS *DELIVERY* NA CIDADE DE RUSSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Ciência da Computação  
do Campus de Russas da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do  
grau de bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Pablo Luiz Braga Soares (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Eurinaldo Rodrigues Costa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Reuber Regis de Melo  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me auxiliado durante toda a minha jornada na faculdade, dando-me forças nos momentos em que mais precisei.

Aos meus pais, Ticiane Lima Casemiro Cavalcante e Marcílio Nogueira Cavalcante, que sempre me apoiaram e se dedicaram para me proporcionar a melhor educação possível.

Ao meu esposo, Natanael Lima da Silva, que esteve presente nos momentos mais desafiadores, incentivando-me e mostrando-me que sou capaz de superar meus limites.

Aos amigos que a graduação me deu, cuja companhia trouxe alegria e tornou essa jornada ainda mais especial. Sem vocês, a experiência de me graduar não seria tão memorável.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pablo Luiz Braga Soares, pela orientação excepcional e pelo conhecimento transmitido, o qual levarei ao longo de toda minha vida profissional. Sou grata por acreditar em mim e no meu trabalho.

A todos os meus professores, que souberam transmitir com maestria o conhecimento de suas disciplinas.

Por fim, agradeço a todos os meus familiares e a todos que, de alguma forma, impactaram minha trajetória acadêmica.

## RESUMO

A partir do interesse em maximizar a eficiência de suas operações, reduzir custos e melhorar a qualidade de seus produtos e serviços, vemos o crescente interesse de empresas que trabalham com sistema *delivery* por facilitar suas rotas de entrega. Logo, este estudo propõe a aplicação do conceito de caminho mínimo utilizando o algoritmo de Dijkstra na gestão logística de rotas. Esta implementação, por sua vez, incorpora o uso de ponderações extras em cenários categorizados por fatores influentes, com o objetivo de aprimorar a seleção do caminho mais adequado. Para fins de investigação de forma abrangente e rigorosa, foi conduzido uma análise junto a empresas locais, por meio de entrevistas envolvendo os entregadores, visando compreender em detalhes como ocorre todo o processo envolvido, desde a recepção dos pedidos até a sua entrega final. Isto é, a pesquisa se concentrou em identificar e analisar os critérios que determinam a trajetória logística de acordo com os entrevistados. Por fim, o procedimento foi executado usando como entrada o grafo representativo do centro comercial da cidade de Russas, visando viabilizar uma abordagem mais otimizada em suas rotas de entrega. A análise conduzida com base nos resultados obtidos possibilitou a identificação de elementos que exercem influência nas ponderações do algoritmo, ou seja, fatores relevantes para a determinação da rota escolhida. Esses elementos orientam a modificação da rota, expandindo a consideração além do caminho mínimo, a inclusão dessas novas ponderações.

**Palavras-chave:** Sistema *Delivery*; Melhoria nas Rotas; Algoritmo de Dijkstra

## **ABSTRACT**

Based on the interest in maximizing the efficiency of their operations, reducing costs and improving the quality of their products and services, we see the growing interest of companies that work with the delivery system to facilitate their delivery routes. Therefore, this study proposes the application of the shortest path concept using Dijkstra's algorithm in logistics route management. This implementation, in turn, incorporates the use of extra weights in scenarios categorized by influential factors, with the aim of improving the selection of the most appropriate path. For comprehensive and rigorous investigation purposes, an analysis was conducted with local companies, through interviews involving delivery people, aiming to understand in detail how the entire process involved occurs, from receiving orders to their final delivery. That is, the research focused on identifying and analyzing the criteria that determine the logistics trajectory according to the interviewees. Finally, the procedure was carried out using as input the graph representing the commercial center of the city of Russas, aiming to enable a more optimized approach to its delivery routes. The analysis conducted based on the results obtained made it possible to identify elements that influence the algorithm's weightings, that is, factors relevant to determining the chosen route. These elements guide the modification of the route, expanding the consideration beyond the shortest path, the inclusion of these new considerations.

**Palavras-chave:** System Delivery; Route Optimization; Dijkstra's Algorithm

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de Grafo Conexo . . . . .	15
Figura 2 – Exemplo de Grafo Desconexo . . . . .	15
Figura 3 – Exemplo de Grafo Ponderado . . . . .	16
Figura 4 – Exemplo de Lista de Adjacência . . . . .	17
Figura 5 – Etapas do processo . . . . .	25
Figura 6 – Imagem com visão via satélite do centro comercial da cidade de Russas	26
Figura 7 – Planta Baixa delimitando a área comercial do bairro Centro da cidade de Russas . . . . .	27
Figura 8 – Exemplo de vértices e arestas . . . . .	28
Figura 9 – Grafo gerado a partir da Planta Baixa da área comercial do bairro Centro da cidade de Russas . . . . .	29
Figura 10 – Grafo com coloração dos vértices mapeados . . . . .	31
Figura 11 – Pergunta 1- Quais condições das viárias são levadas em conta nas escolhas das rotas? . . . . .	33
Figura 12 – Pergunta 2- Os pedidos recebem prioridades baseadas na ordem em que foram feitos? . . . . .	34
Figura 13 – Pergunta 3- A proximidade do restaurante e o local de entrega são fatores importantes quando planeja sua rota? . . . . .	34
Figura 14 – Pergunta 7- Estaria disposto a utilizar novas tecnologias, como al- goritmos de otimização de rota, para melhorar o planejamento de rotas? . . . . .	35
Figura 15 – Rota com Dijkstra puro conforme a rota do Quadro 4 . . . . .	37
Figura 16 – Rota com Dijkstra com ponderação conforme a rota do Quadro 5 . . . . .	38

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados coletados das entrevistas (1/3) . . . . .	30
Quadro 2 – Dados coletados das entrevistas (2/3) . . . . .	30
Quadro 3 – Dados coletados das entrevistas (3/3) . . . . .	30
Quadro 4 – Simulação de rota com Dijkstra puro . . . . .	37
Quadro 5 – Simulação de rota com Dijkstra com ponderação . . . . .	38

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AD	Algoritmo de Dijkstra
CM	Caminho Mínimo
MA	Matriz de Adjacência
PCV	Problema do Caixeiro Viajante

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	11
2	<b>OBJETIVOS</b>	13
2.1	<b>Objetivo Geral</b>	13
2.2	<b>Objetivos Específicos</b>	13
3	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	14
3.1	<b>Conceitos em Teoria dos Grafos</b>	14
3.2	<b>Representações de Grafos</b>	16
3.2.1	<i>Lista de Adjacência</i>	16
3.2.2	<i>Matriz de Adjacência</i>	17
3.3	<b>Caminho Mínimo</b>	18
3.3.1	<i>Algoritmo de Dijkstra</i>	19
4	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	21
4.1	<b>Análise Comparativa de Algoritmos Eficientes para o Problema de Caminho Mínimo</b>	21
4.2	<b>Otimização de Rotas de Distribuição de uma Empresa Multinacional Alimentícia</b>	23
4.3	<b>O Problema de Caminho Mínimo com Incertezas e Restrições de Tempo</b>	23
5	<b>METODOLOGIA</b>	25
5.1	<b>Transformação da área delimitada em planta baixa</b>	26
5.2	<b>Geração do grafo</b>	27
5.3	<b>Coleta de dados em empresas locais</b>	27
5.4	<b>Análise de campo</b>	29
5.5	<b>Implementação do Algoritmo de Dijkstra com ponderação</b>	32
5.6	<b>Simulação da solução proposta</b>	32

<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> . . . . .	<b>33</b>
<b>6.1</b>	<b>Dados obtidos</b> . . . . .	<b>33</b>
<b>6.2</b>	<b>Análise do Algoritmo de Dijkstra com o uso de ponderação</b> . . .	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, observa-se uma busca crescente pela otimização em diversas empresas, independente de seus respectivos setores, sucedendo o interesse em maximizar a eficiência de suas operações, reduzir custos e melhorar a qualidade de seus produtos e serviços. Esse enfoque é especialmente relevante no contexto das rotas de entrega, levando a uma redução significativa no tempo de entrega e no aumento da satisfação dos clientes nas empresas alimentícias (NASCIMENTO, 2020).

Procurando contribuir com esse problema, o presente trabalho propõe um estudo aprofundado de como ocorre a logística de rotas em sistema *delivery*, levantando propriedades que juntamente com a geração do caminho mínimo, resulte em uma otimização de tempo, onde finalmente haverá uma aplicação de grafos com a adaptação do algoritmo de Dijkstra na área comercial do bairro Centro da cidade de Russas. Importante destacar que essa seleção foi embasada na escolha criteriosa de uma amostra, uma vez que o centro da cidade apresenta uma maior concentração de estabelecimentos comerciais. Salientando que os atributos identificados serão pontos influentes na ponderação resultante estabelecida.

Para fins de investigação de forma abrangente e rigorosa, pretende-se conduzir uma análise junto a empresas locais, levantando aspectos relevantes para o presente trabalho. Essa análise será realizada visando compreender em detalhes como ocorre todo o processo envolvido, desde a recepção dos pedidos até a sua entrega final. Um dos aspectos centrais dessa análise consistirá em identificar e examinar criteriosamente a maneira pela qual as mesmas estabelecem a prioridade dos pedidos ao longo de sua trajetória logística, a fim de obter um panorama completo e abrangente sobre o tema em estudo. Essa análise aprofundada permitirá obter *insights* valiosos, que contribuirão significativamente para a compreensão desse processo.

Para uma melhor organização, este estudo está segmentado conforme a

seguir: no Capítulo 2 serão apresentados os objetivos gerais e específicos deste trabalho; o Capítulo 3 abordará as fundamentações teóricas necessárias para realização da análise desenvolvida; por conseguinte, o Capítulo 4 irá tratar sobre trabalhos relacionados ao estudo; o Capítulo 5 detalhará as etapas metodológicas seguidas para realização deste trabalho; no Capítulo 6 irá apresentar os resultados obtidos, a solução proposta e as análises realizadas a partir dela; por fim, o Capítulo 7 discorrerá sobre a conclusão e os trabalhos futuros.

## 2 OBJETIVOS

Neste capítulo, está delineado os objetivos essenciais no propósito deste estudo, direcionando sua execução.

### 2.1 Objetivo Geral

Aplicar uma adaptação do Algoritmo de Dijkstra (AD) com ponderações para otimizar rotas de entrega em sistemas *delivery* no centro da cidade de Russas.

### 2.2 Objetivos Específicos

- a) Criar um grafo da parte comercial do centro de Russas;
- b) Realizar uma pesquisa sobre o processo de logística de entregas *delivery* em empresas locais situadas na área abrangida;
- c) Delimitar os elementos que influenciam no procedimento;
- d) Adaptar o AD com ponderações no grafo gerado;
- e) Produzir uma análise a partir dos resultados obtidos.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

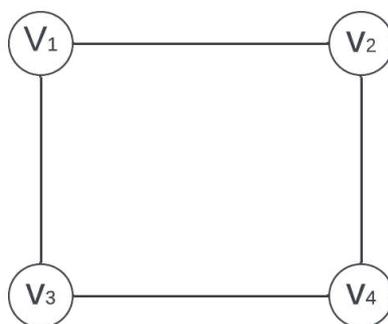
Neste capítulo serão apresentados os conceitos fundamentais que são essenciais para a compreensão das técnicas empregadas na realização da aplicação deste trabalho. Na Seção 3.1 são discutidas as definições referentes à Teoria dos Grafos. A Seção 3.2 apresenta as diferentes formas de representação de grafos, detalhando-se nas subseções 3.2.2 e 3.2.1 a Matriz de Adjacência e a Lista de Adjacência, respectivamente. Em seguida, a Seção 3.3 aborda o conceito de Caminho Mínimo (CM), e na subseção 3.3.1 é explorado sobre o AD.

#### 3.1 Conceitos em Teoria dos Grafos

Um grafo simples é um par  $G = (V, E)$ , em que  $V$  é um conjunto finito chamado de conjunto de vértices e  $E$  o conjunto de pares não ordenados de  $V$  chamado de conjunto de arestas. Podemos reescrever  $V$  como  $V(G)$  e  $E$  como  $E(G)$ , para uma melhor clareza. Vemos na a Figura 1, um exemplo de grafo simples, ou seja um grafo não orientado, no qual suas arestas existem para ambas as direções entre dois vértices conectados, ou seja, é possível ir livremente pelas adjacências existentes no grafo, como por exemplo de  $v_1$  a  $v_2$ , assim como  $v_2$  a  $v_1$ . Para simplificar o desenho de um grafo não orientado desenhamos apenas uma semi-reta entre dois vértices adjacentes, ao invés de duas setas. A partir da adjacência, pode-se extrair como informação o grau de um vértice, pela cardinalidade de incidência das arestas sobre ele, suplementarmente a sequência de graus de um grafo é finita, formada por números inteiros e cuja soma é par (GROSS; YELLEN, 2006).

Em um grafo, o caminho representa uma sequência de vértices conectados por arestas, caracterizado por ser uma rota que evita a repetição de vértices ou arestas entre dois pontos distintos. Conseqüentemente, um grafo  $G$  é classificado como conexo quando há um caminho entre todos os pares de vértices distintos dentro dele, conforme

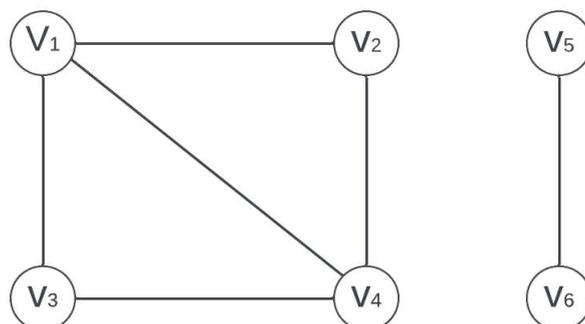
Figura 1 – Exemplo de Grafo Conexo



Fonte: Elaborado pela autora

ilustrado na Figura 1. Por outro lado, um grafo dito desconexo, se não for conexo. Na Figura 2 vemos um exemplo de grafo desconexo, onde é impossível traçar um caminho entre os vértices  $v_1$  e  $v_5$  (NETTO, 2011).

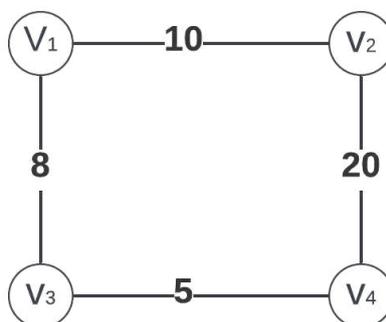
Figura 2 – Exemplo de Grafo Desconexo



Fonte: Elaborado pela autora

Outro conceito fundamental consiste no grafo ponderado, em que as arestas possuem valores atribuídos representados por pesos associados a cada aresta, geralmente definidos por uma função peso  $w : E \rightarrow \mathbb{R}$  (CORMEN *et al.*, 2012). Por exemplo, ao considerar o grafo  $G$  representado na Figura 3, o peso  $w(V_1, V_2)$  da aresta adjacente  $(V_1, V_2)$  é armazenado com valor 10.

Figura 3 – Exemplo de Grafo Ponderado



Fonte: Elaborado pela autora

## 3.2 Representações de Grafos

Existem duas opções básicas de representar um grafo  $G = (V, E)$  lista de adjacência ou matriz de adjacência, ambas são aplicáveis em grafos direcionados e não orientados. Quando se trata de grafos pouco densos, isto é, com um número considerável de arestas menor que o número de vértices, a escolha mais adequada é a lista de adjacência, por ser um modo compacto de representação. Por outro lado, a matriz de adjacência é a escolha preferida para grafos densos ou para verificar rapidamente se há alguma incidência específica em determinado nó (CORMEN *et al.*, 2012).

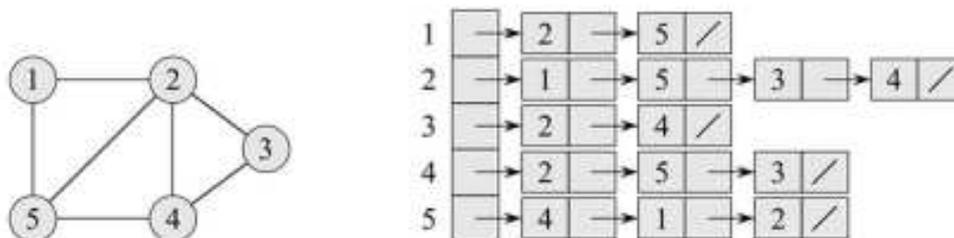
### 3.2.1 Lista de Adjacência

A representação por lista de adjacências é também uma maneira de estruturar os dados de um grafo. Consiste em organizar em formato de vetor de listas, onde o tamanho do vetor é dado de acordo com o número de vértices do grafo  $G$ . Cada lista do vetor é associada a adjacência de cada vértice de  $G$ .

Em outras palavras, para cada vértice  $u$  em  $V(G)$ , a lista de adjacências  $Adj[u]$  contém todos os vértices  $v$  para os quais existe uma aresta  $(u, v)$  em  $E(G)$ , isto é, vértices que estão diretamente conectados ao vértice  $u$  em  $G$ . Conforme ilustrado na

Figura 4, à esquerda, encontra-se um exemplo de grafo e à direita, está sua representação em formato de lista de adjacência:

Figura 4 – Exemplo de Lista de Adjacência



Fonte: (CORMEN *et al.*, 2012)

A principal vantagem dessa representação é a sua eficiência ao trabalhar com grafos onde o número de arestas é muito menor do que o número total de vértices. Portanto, a representação por lista de adjacências é uma escolha comum quando se lida com grafos (CORMEN *et al.*, 2012). Essa característica foi fundamental para a adoção dessa representação de grafos no algoritmo implementado neste presente trabalho.

### 3.2.2 Matriz de Adjacência

No contexto dos grafos, a representação de uma matriz de adjacência (Matriz de Adjacência (MA)) consiste em uma estrutura composta por linhas e colunas definidas pelos vértices. Cada interseção entre um vértice da linha  $i$  e um vértice da coluna  $j$  é marcada atribuindo  $v_{ij}$  para ilustrar a adjacência o valor 1 é usado para indicar que existe a aresta  $(v_i, v_j)$  e 0 a ausência da aresta  $(v_i, v_j)$ . Como a ilustrado abaixo, representando o mesmo grafo da Figura 4:

$$A_{5,5} = \begin{pmatrix} V & v_1 & v_2 & v_3 & v_4 & v_5 \\ v_1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ v_2 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ v_3 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ v_4 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ v_5 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

No entanto, em grafos ponderados além de identificar a adjacência, é necessário alocar o peso correspondente à aresta que conecta os nós, uma vez que, conforme é definido em grafos ponderados, suas arestas possuem rótulos que representam algum custo associado (NETTO; JURKIEWICZ, 2021).

### 3.3 Caminho Mínimo

Na definição de um Caminho Mínimo (CM) temos um grafo simples ponderado  $G = (V, E)$ , onde se tem a função de peso  $w_e$  de uma aresta  $e \in E$ , que é um valor real associado a aresta  $e$ . Igualmente, o peso do caminho  $p$  é o somatório dos valores de cada aresta que fazem parte do caminho. Portanto, se existe um caminho entre os vértices  $v_i$  e  $v_j$ , o caminho mínimo tem por objetivo encontrar a via de menor peso  $w(p) = d(v_i, v_j)$ , em que  $d$  representa a valoração da distância, considerando a soma das arestas entre os vértices. Em outras palavras, busca-se determinar a rota mais eficiente em termos de ônus, levando em consideração as ponderações das arestas, garantindo a otimização em rotas, um problema fundamental em teoria dos grafos (CORMEN *et al.*, 2012).

### 3.3.1 Algoritmo de Dijkstra

O Algoritmo de Dijkstra AD desenvolvido em 1959, por Edsger Wybe Dijkstra, pretende tratar do problema do Caminho Mínimo de dois vértices de um grafo simples, atendendo aos requisitos de otimização do caminho mínimo. Sua aplicação é em grafos simples, caso aconteça do grafo não obter essa característica tem-se a obrigatoriedade de transformá-lo como tal (BARROS *et al.*, 2007). O procedimento envolve a leitura de um grafo no qual as arestas ponderadas com os valores que indicam os custos entre os nós. Além disso, é necessário que os vértices tenham pesos inteiros, que serão usados mais tarde ao alimentar a MA ou Lista de Adjacência (GORDIANO; ROSSI, 2019).

O pseudocódigo do Algoritmo 1 que acompanha a explicação é uma representação do algoritmo de Dijkstra. Na linha 1, são definidos os pontos de origem e destino representados pelas variáveis  $w$  e  $s$ . O algoritmo inicia marcando o ponto de origem como processado na linha 4. Em seguida, são criados dois conjuntos de vértices: um contendo os vértices processados até o momento e outro contendo os vértices ainda não processados, nas linhas 5 e 6 respectivamente.

O procedimento continua em um *loop* que continua enquanto houverem vértices não processados (linha 7 do algoritmo). Em cada iteração, o algoritmo seleciona o vértice não processado com menor valor associado e o marca como processado, adicionando-o ao conjunto de vértices processados (linhas 8 e 9).

Posteriormente, o algoritmo percorre os vértices adjacentes ao vértice selecionado e verifica se é possível melhorar o caminho para esses vértices através do vértice selecionado. Caso seja possível, os custos são atualizados utilizando a função 'Relaxar', acionada na linha 11. Essa função ajusta as distâncias já conhecidas entre os vértices adjacentes, atualizando-as com o menor custo possível (CORMEN *et al.*, 2012).

---

**Algoritmo 1** Dijkstra

---

**1. Entrada:**  $(G, w, s)$ **2. Saída:** Caminho mínimo entre  $w$  e  $s$ **3. início**4. Inicialização de  $(G, s)$ 5.  $S = \emptyset$ 6.  $Q = V[G]$ 7. **enquanto**  $Q \neq \emptyset$  **faça**    8.  $u = \min(Q)$     9.  $S = S \cup \{u\}$     10. **para cada** *vértice*  $v \in G.Adj[u]$  **faça**        11. Relaxar  $(u, v, w)$     **fim****fim****fim**

---

Fonte: (CORMEN *et al.*, 2012)

## 4 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo serão apresentados trabalhos relacionados ao tema proposto, visando estudar abordagens similares. Na Seção 4.1 será apresentada uma análise comparativa de cinco algoritmos para o problema do CM, onde o Algoritmo de Dijkstra está presente, assim como duas de suas variações: Dijkstra com Heap Binomial e Dijkstra com Heurística. A Seção 4.2 apresentará uma otimização de rotas de distribuição de uma empresa multinacional alimentícia, aplicando o Problema do Caixeiro Viajante (PCV). Por fim, a Seção 4.3 apresentará uma adaptação do Algoritmo de Dijkstra com o Problema de CM com Incertezas e Restrições de Tempo, usando *fuzzy*.

### 4.1 Análise Comparativa de Algoritmos Eficientes para o Problema de Caminho Mínimo

O trabalho de Atzingen *et al.* (2012) introduz como o AD faz para determinar a solução ótima para o problema do Caminho Mínimo, esse procedimento envolve a etapa de relaxamento das arestas, na qual se avalia se existe um caminho mais vantajoso do que aquele previamente estabelecido até o momento, ou seja, consiste em diminuir o valor da estimativa de caminho mínimo e qual será o melhor predecessor possível. Na sequência, discorre sobre que o procedimento parte de uma única origem, mantendo as informações de peso do conjunto de nós desde a origem, selecionando o nó que possui a menor carga e calculando as de seus adjacentes.

Aborda a variante Heap Binomial, uma estrutura de dados de fila de prioridades, seu objetivo principal permanece encontrar o menor caminho, mas vem com a adição de reduzir o tempo de execução do AD quanto a determinação da melhor escolha do vértice, determinado por fim como  $O(\log n)$ . Por ser uma coleção de árvores binomiais ordenadas, deve satisfazer as condições de: obedecer à propriedade de heap mínimo, ou seja, o nó filho sempre será maior ou igual ao nó pai, a raiz da árvore tem no máximo

grau  $k$ , onde  $k$  é a altura da árvore, cada nó armazena 3 ponteiros: ponteiro para o pai (antecessor), para o filho(sucessor) e para o irmão(mesmo pai), onde o único ponteiro nulo será o do pai da raiz.

Com a necessidade de amenizar o custo computacional do Algoritmo de Dijkstra puro quando aplicado na análise da infraestrutura de transporte de uma dada região, ou, em termos mais precisos, na análise das malhas viárias reais, surgiu a intenção de adicionar a aplicação de heurísticas dentro do algoritmo, onde na análise de Atzingen *et al.* (2012), foram experimentadas e combinadas a fim de acelerar o processamento, onde uma se trata da eliminação de arestas da região de busca, já a outra forma foi usando função de custo ou eleição de nós de custo mínimo, nomeado como Algoritmo  $A^*$ .

Na heurística de Eliminação dos Arcos, são eliminadas as arestas que afastam ainda mais do ponto de destino, ou seja, não implicam no resultante de caminho mínimo do ponto  $s$  ao  $t$ , no entanto, em algumas situações, faz sentido armazenar esses nós em uma lista auxiliar quando não há possibilidade prática de encontrar um caminho até o destino  $t$ .

Já a heurística utilizada no Algoritmo  $A^*$ , o método mais conhecido em uma busca em largura, os nós recebem um custo e é realizada uma busca completa e ótima, onde a determinação do caminho não é só dada pela menor distância, mas também por fatores que implicam no custo de um vértice, isto significa, o Algoritmo  $A^*$  combina busca de custo mais busca heurística, valendo salientar que para o algoritmo ter o seu melhor desempenho, a heurística precisa ser admissível.

Em síntese, os resultados do artigo indicaram que o melhor desempenho obtido foi pelo AD com heurística, resultando em um processamento inferior a 0,5 segundos. Valendo salientar que fora utilizado uma máquina normal, sem quaisquer recursos adicionais na memória ou processamento.

## 4.2 Otimização de Rotas de Distribuição de uma Empresa Multinacional Alimentícia

Tendo como objetivo abordar o PCV, em Lima (2019) realizou otimização combinatória para encontrar rotas de distribuição de uma empresa multinacional de produtos alimentícios, buscando minimizar os custos e o aumento da segurança da qualidade dos alimentos.

Modelado a partir de um grafo, o problema supracitado gera um caminho hamiltoniano de custo mínimo, ou seja, tem a condição de visitar cada ponto exatamente uma vez e então retornar ao ponto inicial. Todavia, pela necessidade do caso em questão partir de  $x$  depósitos a  $n$  clientes cada um, tal como serem sujeitos a restrições adicionais, surgiu a intenção de aprimorar a distribuição e logística utilizando o PCV com Janela de Tempo, uma extensão do modelo do Problema de Roteirização de Veículos (definição de rotas eficientes entre um depósito e um conjunto de clientes), com o propósito de minimizar os custos, juntamente por acréscimo de restrições que devem ser respeitadas. Logo, essas limitações incluem garantir a capacidade do veículo e da janela do tempo, como, por exemplo:

- a) As demandas dos clientes devem ser atendidas dentro de suas janelas de tempo especificadas;
- b) Cada cliente é atendido uma única vez;
- c) Todo cliente deve ser atendido.

Desta maneira, o problema confere maior complexidade e realismo na modelagem de situações do mundo real.

## 4.3 O Problema de Caminho Mínimo com Incertezas e Restrições de Tempo

Em Hernandez *et al.* (2009) discorre sobre utilizar o CM para minimizar esforços de busca, consoante na Seção 3.3, busca encontrar a sequência de arcos de menor

custo que leve a um caminho entre dois vértices  $u$  e  $v$ . Porém, surgiu-se a necessidade de adaptar esse problema a aplicações reais, quando os parâmetros não são naturalmente precisos, por dificuldade de obter essas informações.

O estudo se propõe a abordar as incertezas das arestas e a inclusão de restrições de tempo aos vértices, portanto, além de obter dois parâmetros incertos nos arcos (custo e tempo), também possui um controle de tempo em cada um dos nós, isto é, a soma dos tempos das arestas que pertencem ao caminho, entre os nós  $u$  e  $v$ , não pode ultrapassar o tempo máximo estipulado do nó  $v$ .

Por conseguinte, esta incerteza leva a utilização de modelagem usando conjuntos *fuzzy*, que atribuem uma função de dar um tratamento matemático a termos linguísticos subjetivos aos custos das arestas, isto é, representar a informação expressando em forma de linguagem natural, como, por exemplo, "aproximadamente" e "por volta de". Indicando assim a escolha do problema proposto no trabalho: Problema de CM com *fuzzy*. Na qual, sua diferença do algoritmo de CM se destaca por, ao contrário de atualizar os custos das arestas com valores determinísticos, irá utilizar operações *fuzzy* para combinar suas incertezas e assim conseguir calcular os custos durante todo o percurso.

Logo, a eleição do melhor caminho, dentro do conjunto de caminhos que são gerados entre os pontos, é determinada por uma ordenação levando em consideração a medida de possibilidade, que avalia se o tempo do caminho é menor ou igual ao tempo de restrição do nó final, ou seja, quanto melhor a medida da possibilidade, melhor o caminho em relação ao tempo.

## 5 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentadas as etapas metodológicas seguidas para a realização da análise. Segue abaixo o fluxo das atividades na Figura 5.

Figura 5: Etapas do processo

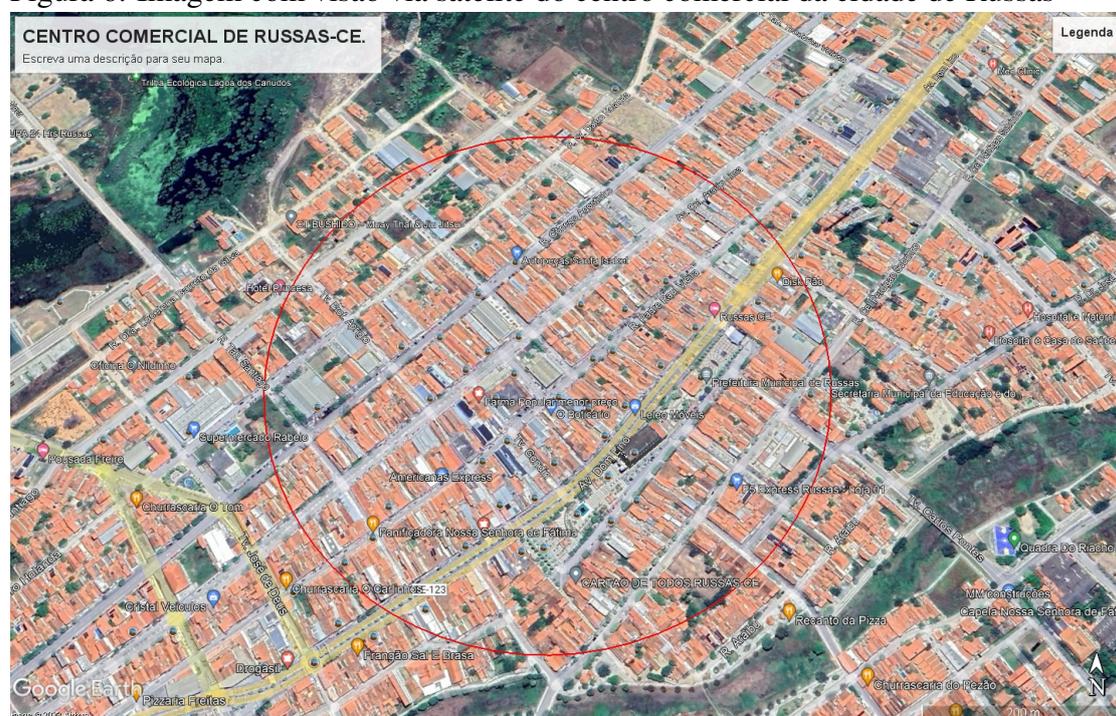


Fonte: Elaborado pela autora

## 5.1 Transformação da área delimitada em planta baixa

Nesta etapa foi realizada a escolha da área delimitada, visando que o tema do presente trabalho tem foco em entregas *delivery* foi optado pela escolha do bairro centro como amostra do estudo, visando a área comercial, como mostra a Figura 6. Depois foi realizado pela autora, juntamente com um especialista em topografia e engenharia civil, a planta baixa do campo de preferência, feita anteriormente pelo especialista em serviços prestados para a Prefeitura de Russas, na ferramenta AutoCad<sup>1</sup> como mostra a Figura 7.

Figura 6: Imagem com visão via satélite do centro comercial da cidade de Russas



Fonte: Google Earth (2023)

<sup>1</sup> AutoCAD é um software do tipo CAD - *Computer Aided Design* ou desenho auxiliado por computador. <https://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview>

Figura 7: Planta Baixa delimitando a área comercial do bairro Centro da cidade de Russas



Fonte: Elaborado pela autora

## 5.2 Geração do grafo

Para a definição dos vértices no grafo a ser gerado, é designado como os cruzamentos existentes da área delimitada. Assim como foi considerado aresta, sendo o comprimento em metros entre os cruzamentos, abrangendo todas as suas dimensões laterais, conforme demonstrado na Figura 8. A partir dos conceitos definidos na seção anterior, foi usado como base para construí-lo por meio da plataforma Lucidchart<sup>2</sup>, sempre levando em consideração a planta baixa feita, na ferramenta AutoCad. É importante ressaltar que o grafo considera todas as ruas como de mão dupla.

## 5.3 Coleta de dados em empresas locais

Nessa seção apresentamos a investigação e a análise da logística de entrega, por meio de entrevistas às empresas que realizam serviços de entregas no centro da

<sup>2</sup> O Lucidchart é um aplicativo de diagramação inteligente. <https://www.lucidchart.com/pages/>

Figura 8: Exemplo de vértices e arestas



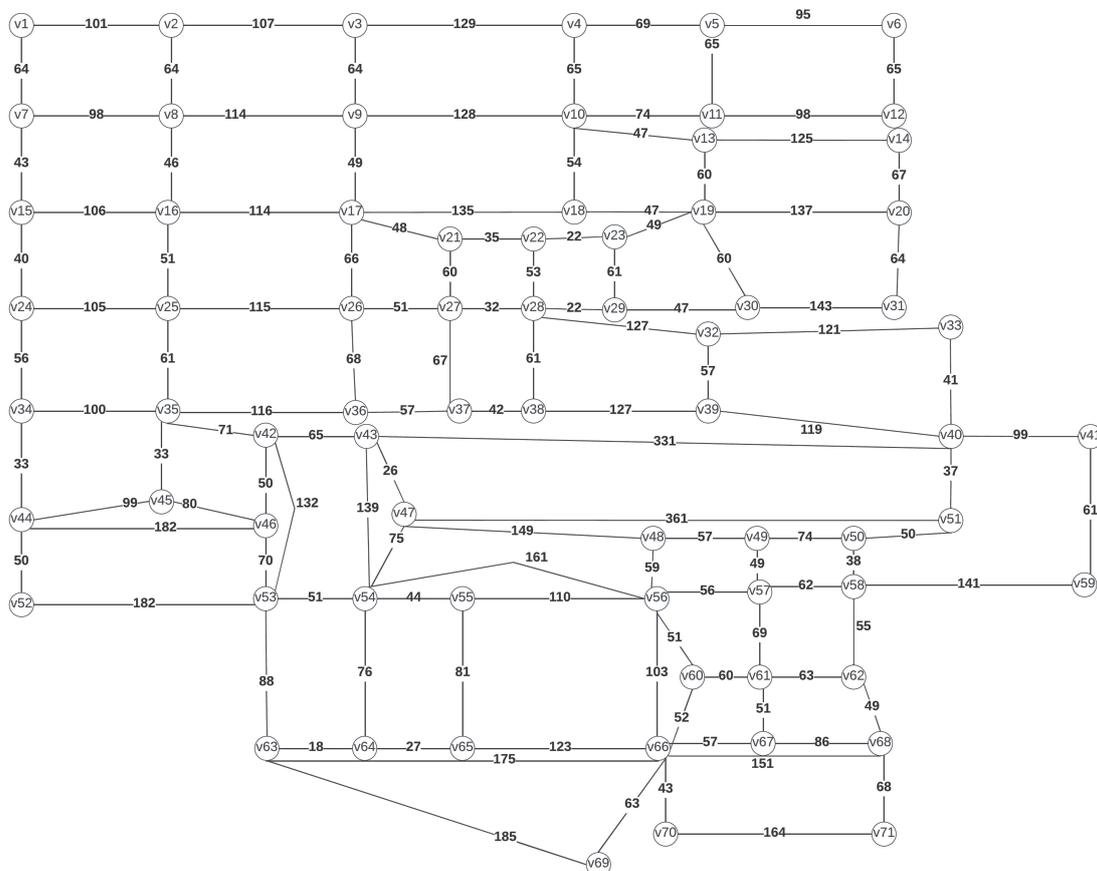
Fonte: Elaborado pela autora

cidade de Russas.

O processo das entrevistas foi estruturado da seguinte maneira: em um total de 5 estabelecimentos, foram conduzidas entrevistas para coletar informações relevantes. Após chegar a cada local, foi realizada uma entrevista específica com o entregador do estabelecimento. A entrevista consistiu em uma série de perguntas direcionadas para entender melhor os aspectos específicos de suas rotas de entrega. Consistindo nas seguintes perguntas:

1. Quais condições das viárias são levadas em conta nas escolhas das rotas?
2. Os pedidos recebem prioridades baseadas na ordem em que foram feitos?
3. A proximidade do restaurante e o local de entrega são fatores importantes quando planeja sua rota?
4. Você prioriza uma rota que maximize o número de pedidos, evitando áreas com menos entregas?
5. Como você define uma rota de entrega como sendo eficaz?
6. Pode resumir seu raciocínio ao receber os pedidos?
7. Estaria disposto a utilizar novas tecnologias, como algoritmos de otimização de rota, para melhorar o planejamento de rotas?

Figura 9: Grafo gerado a partir da Planta Baixa da área comercial do bairro Centro da cidade de Russas



Fonte: Elaborado pela autora

Essa entrevista consistiu em identificar quais fatores podem intervir no percurso a ser estabelecido, de sua recepção até sua entrega final, a fim de obter um panorama completo e abrangente das ponderações que irão influenciar no tema em estudo. Os dados resultantes são apresentados nas tabelas abaixo:

#### 5.4 Análise de campo

Portanto, segundo a área abrangida no Grafo representado na Figura 9, realizou-se uma análise de campo abrangente, percorrendo todas as vias para identificar

Quadro 1: Dados coletados das entrevistas (1/3)

Empresa	Pergunta 1	Pergunta 2
Empresa 1	Ruas com semáforos sequenciais	Não, a rota é prioridade
Empresa 2	Ruas com semáforos sequenciais	Sim
Empresa 3	Ruas com buracos/má condição viária	Não, a rota é prioridade
Empresa 4	Ruas escuras	Não, a rota é prioridade
Empresa 5	Não delimita critérios	Sim

Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 2: Dados coletados das entrevistas (2/3)

Empresa	Pergunta 3	Pergunta 4	Pergunta 5
Empresa 1	Sim	Sim	Pedidos próximos uns dos outros
Empresa 2	Depende	Sim	Pedidos próximos uns dos outros
Empresa 3	Sim	Sim	Pedidos próximos uns dos outros
Empresa 4	Sim	Sim	Pedidos próximos uns dos outros
Empresa 5	Não	Sim	Pedidos próximos uns dos outros

Fonte: Elaborado pela autora

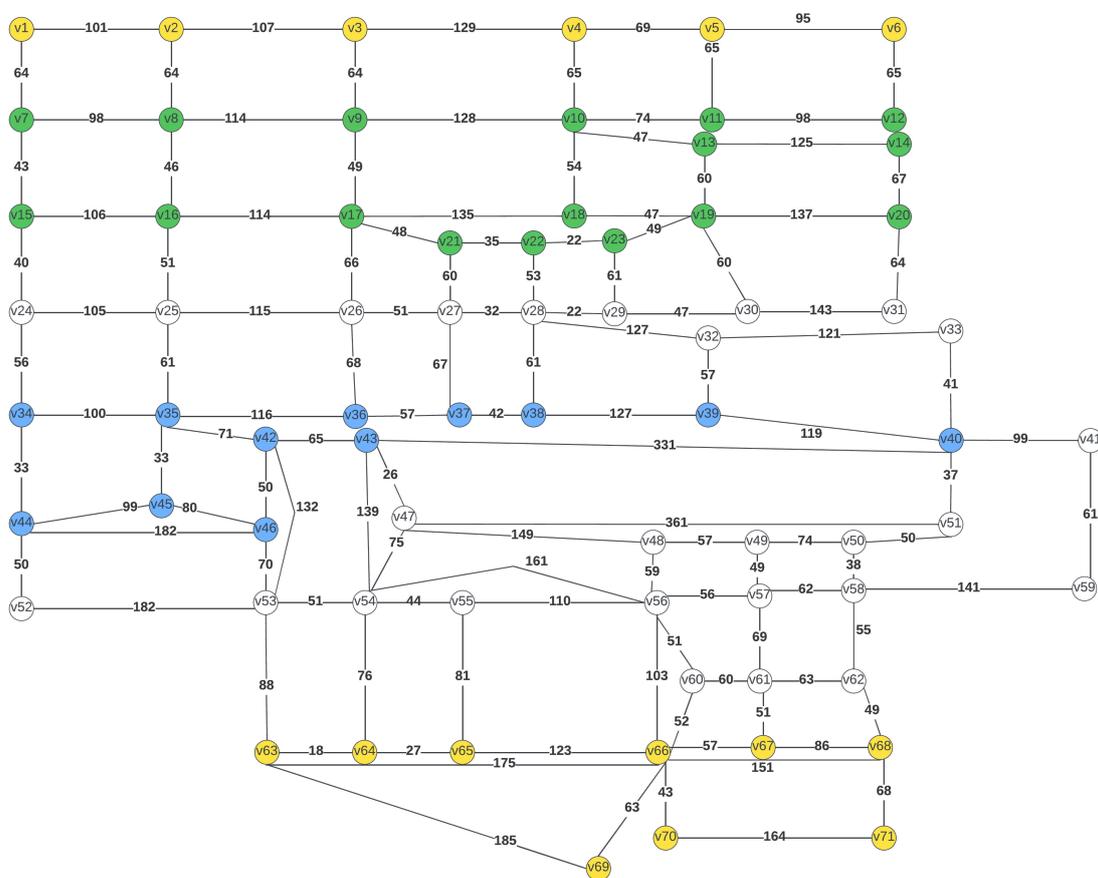
Quadro 3: Dados coletados das entrevistas (3/3)

Empresa	Pergunta 6	Pergunta 7
Empresa 1	Enumera os pedidos em ordem de maior concentração, ou traçando uma rota sequencial	Talvez
Empresa 2	De forma que ele volte mais rápido para o estabelecimento, para pegar mais pedidos	Sim
Empresa 3	Enumera os pedidos em ordem de maior concentração, ou traçando uma rota sequencial	Não
Empresa 4	Enumera os pedidos em ordem de maior concentração, ou traçando uma rota sequencial	Sim
Empresa 5	Não usa nenhum método, vai pela experiência	Não

Fonte: Elaborado pela autora

aquelas que apresentavam os fatores levantados durante a coleta de dados. Os vértices de 34 a 43 foram categorizados como ruas com semáforos, enquanto os vértices 1 a 6 e 63 a 71 foram identificados como ruas escuras. Já as vias com buracos ou em más condições foram mapeadas nos vértices 7 a 23. Conforme ilustrado na Figura 10, os vértices em amarelo representam as ruas identificadas como escuras, os verdes indicam as vias em más condições, enquanto os azuis representam as ruas localizadas com a presença de semáforos sequenciais.

Figura 10: Grafo com coloração dos vértices mapeados



Fonte: Elaborado pela autora

## 5.5 Implementação do Algoritmo de Dijkstra com ponderação

Nesta etapa foi realizada uma adaptação na forma de implementação do algoritmo apresentado na Seção 3.3.1, utilizando como entrada a lista de adjacência do grafo mostrado na Figura 9. Essa adaptação envolveu a inclusão de fatores identificados nas entrevistas realizadas, como detalhado na Seção 5.3, para considerar seu impacto tanto na busca pelo caminho mínimo, mas também nos critérios que influenciam na escolha das rotas.

Empenhando o notebook Dell Inc. Inspiron 15-3567, dotado de 8GiB de memória RAM, processador Intel Core i5-7200U e um SSD de 256,1 GB, o procedimento foi conduzido no ambiente do Ubuntu 22.04.3 LTS. A linguagem utilizada foi Python<sup>3</sup>, o procedimento recebeu como entrada a lista de adjacência gerada do grafo da Figura 9, onde sua execução foi realizada no ambiente do VS Code.<sup>4</sup> A implementação está acessível no GitHub.<sup>5</sup>

## 5.6 Simulação da solução proposta

Após a coleta de dados adquiridos por meio de entrevistas com empresas da região, bem como a obtenção das soluções geradas pelo algoritmo para o grafo da área comercial do bairro Centro da cidade de Russas, foram realizadas análises sobre os resultados obtidos. O objetivo central desta etapa foi simular como seria uma empresa que abrangesse a área e buscasse promover a otimização do tempo de entrega de seus pedidos. A análise detalhada está descrita no Capítulo 6.

---

<sup>3</sup> Python é uma linguagem de programação de alto nível. <https://www.python.org/>

<sup>4</sup> O Visual Studio Code é um editor de código-fonte desenvolvido pela Microsoft. <https://code.visualstudio.com/>

<sup>5</sup> <https://github.com/Milene01/TCCGrafos>

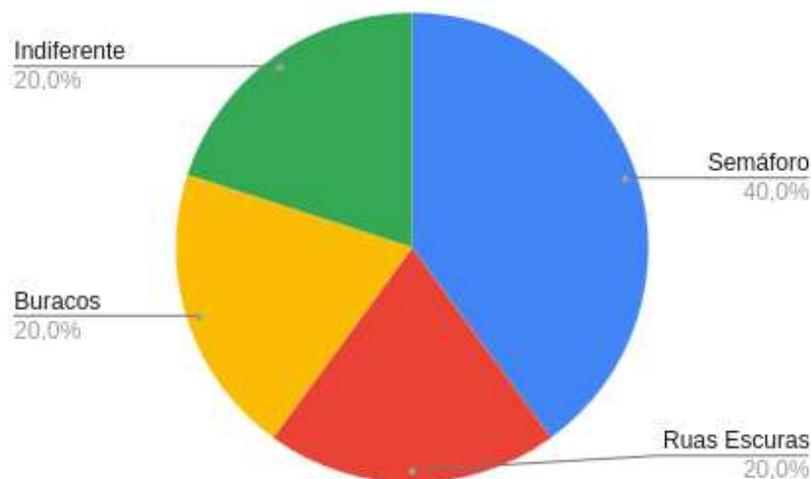
## 6 RESULTADOS

Neste capítulo, é detalhado o desfecho proveniente das entrevistas conduzidas e da aplicação do Algoritmo de Dijkstra com a utilização de ponderação. Na Seção 6.1, são descritas as análises dos dados coletados durante as entrevistas, enquanto na Seção 6.2, são expostos os resultados gerados a partir do algoritmo empregado neste trabalho.

### 6.1 Dados obtidos

Conforme mencionado na Seção 5.3, os resultados da execução das entrevistas estão apresentados a seguir:

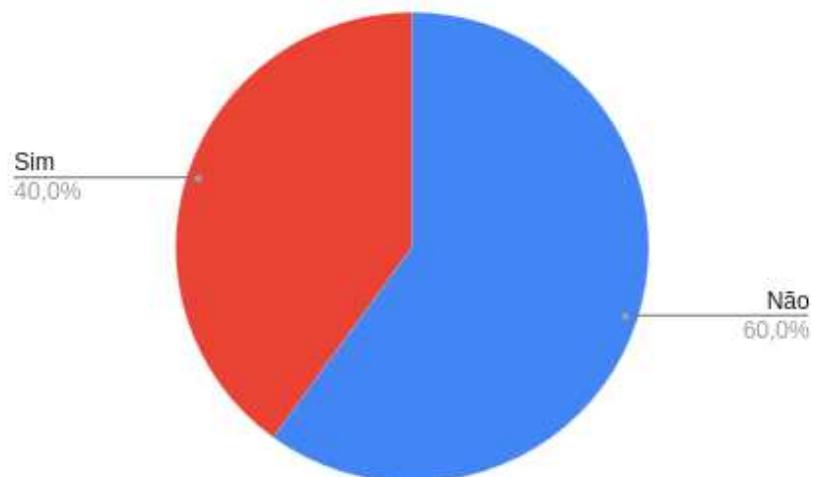
Figura 11: Pergunta 1- Quais condições das viárias são levadas em conta nas escolhas das rotas?



Fonte: Elaborado pela autora

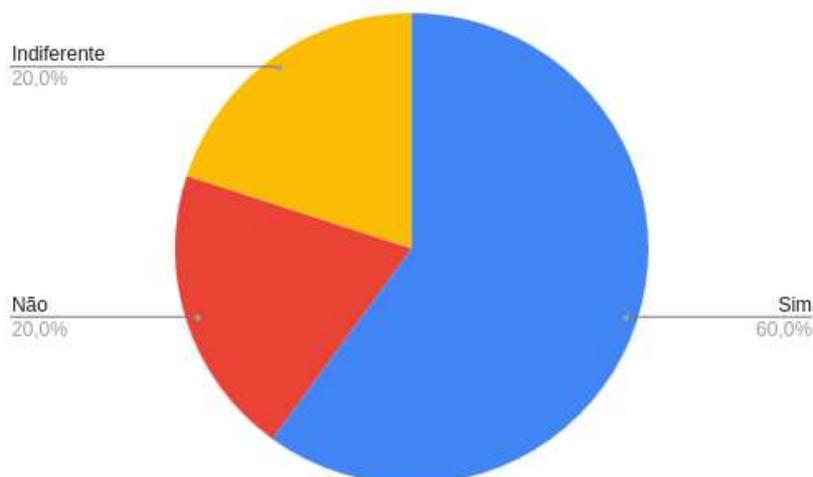
Quanto às Perguntas 4 e 5, todas as respostas foram unânimes. Na Pergunta 4, sobre se priorizam uma rota que maximize o número de pedidos, evitando áreas com menos entregas, todos os participantes responderam afirmativamente. Na Pergunta 5, que indagava sobre como definem uma rota de entrega como eficaz, a resposta unânime foi que uma rota eficaz é aquela em que todos os pedidos estão próximos uns dos outros.

Figura 12: Pergunta 2- Os pedidos recebem prioridades baseadas na ordem em que foram feitos?



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 13: Pergunta 3- A proximidade do restaurante e o local de entrega são fatores importantes quando planeja sua rota?

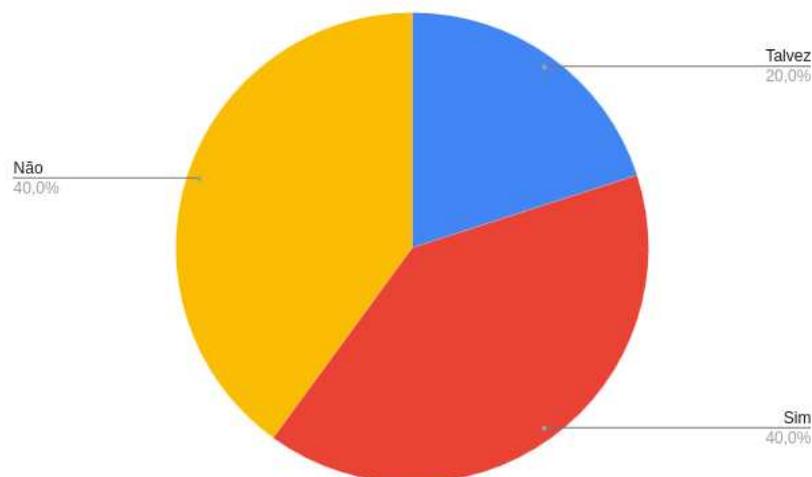


Fonte: Elaborado pela autora

Na Pergunta 6, que explorava o processo de resumir o raciocínio ao receber os pedidos, as respostas foram as seguintes: 60% dos participantes relataram que classificam os pedidos segundo a concentração por bairros ou estabelecem uma rota sequencial para garantir um percurso linear, evitando retorno a áreas já percorridas. Outros 20% relataram

que não estabelecem uma rota específica, optando por depender da experiência, enquanto os restantes 20% mencionaram que buscam otimizar a rota para retornar mais rapidamente ao estabelecimento para atender mais pedidos.

Figura 14: Pergunta 7- Estaria disposto a utilizar novas tecnologias, como algoritmos de otimização de rota, para melhorar o planejamento de rotas?



Fonte: Elaborado pela autora

No que diz respeito a Pergunta 7, conforme demonstrado na Figura 14, é importante destacar que a justificativa para a não intenção, ou possivelmente a intenção, está relacionada ao fato de que as plataformas de cálculo de rotas de entregas não consideram os fatores mencionados pelos entrevistados na Pergunta 1, apresentada na Figura 11. Ressaltando ainda mais que este estudo possui uma grande importância devido à demanda observada no mercado de entregas *delivery*.

## 6.2 Análise do Algoritmo de Dijkstra com o uso de ponderação

Como resultado dos dados coletados na Seção 6.1, foram levantados os seguintes fatores considerados importantes: a distância mínima, a localização dos pontos de entrega mais próximos ao ponto de origem e as ponderações adicionais de acordo

com condições das ruas, ou seja, a presença de semáforos, buracos e falta de iluminação. A alteração ocorrida na catalogação dos vértices mencionados anteriormente foi influenciada pelas porcentagens levantadas na Figura 11, o que resultou na modificação do peso a ser adicionado ao seu valor atual.

Os vértices designados como ruas com semáforos sequenciais foram atribuídos a um peso adicional de valor 200, enquanto as vias identificadas com má iluminação e más condições receberam um peso adicional de 100 cada. Esses valores foram associados ao tempo perdido, segurança do entregador, assim como à frequência em que foram mencionados pelos entrevistados, oferecendo uma representação quantitativa desses fatores no contexto analisado.

Por exemplo, o vértice 35 foi incluído na categorização de 'rua com semáforo' e seu peso adicional foi atribuído como 200 no código, julgando conforme aos 40% resultantes dos dados da Pergunta 1 do questionário realizado. Este valor será adicionado às arestas adjacentes a ele, isto é, observando o vértice 35 no Grafo da Figura 9, é notório que uma de suas arestas esteja em adjacência ao vértice 42, neste caso o cálculo resultará na soma do peso real da aresta, que é 71, com a ponderação adicional de 200, totalizando o valor final do peso da aresta sendo 271.

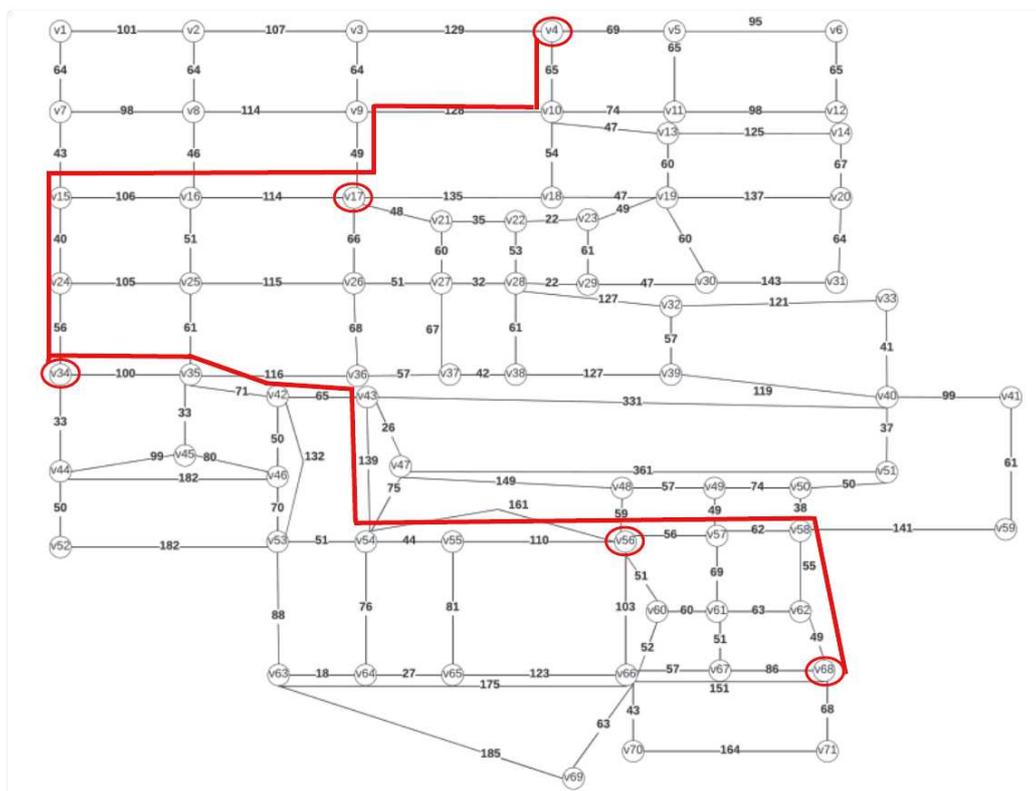
Ao analisar uma rota hipotética, foi simulado como o ponto inicial, ou seja, o estabelecimento de saída, no vértice 4, e os pontos de chegada, os quais são as entregas, nos vértices 17, 34, 56 e 68, como exposto nas Quadros 4 e 5. Foi então realizada uma comparação observando a rota estabelecida pelo Algoritmo de Dijkstra puro, detalhada na Figura 15, e sua variação com a inclusão da ponderação adicional baseada nos fatores influenciadores na escolha da rota, apresentada na Figura 16.

Quadro 4: Simulação de rota com Dijkstra puro

Vértice de Saída	Vértice de Chegada	Vértices Visitados
V <sub>4</sub>	V <sub>17</sub>	V <sub>4</sub> -V <sub>10</sub> -V <sub>9</sub> -V <sub>17</sub>
V <sub>17</sub>	V <sub>34</sub>	V <sub>17</sub> -V <sub>16</sub> -V <sub>15</sub> -V <sub>24</sub> -V <sub>34</sub>
V <sub>34</sub>	V <sub>56</sub>	V <sub>34</sub> -V <sub>35</sub> -V <sub>42</sub> -V <sub>43</sub> -V <sub>54</sub> -V <sub>55</sub> -V <sub>56</sub>
V <sub>56</sub>	V <sub>68</sub>	V <sub>56</sub> -V <sub>57</sub> -V <sub>58</sub> -V <sub>62</sub> -V <sub>68</sub>

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 15: Rota com Dijkstra puro conforme a rota do Quadro 4



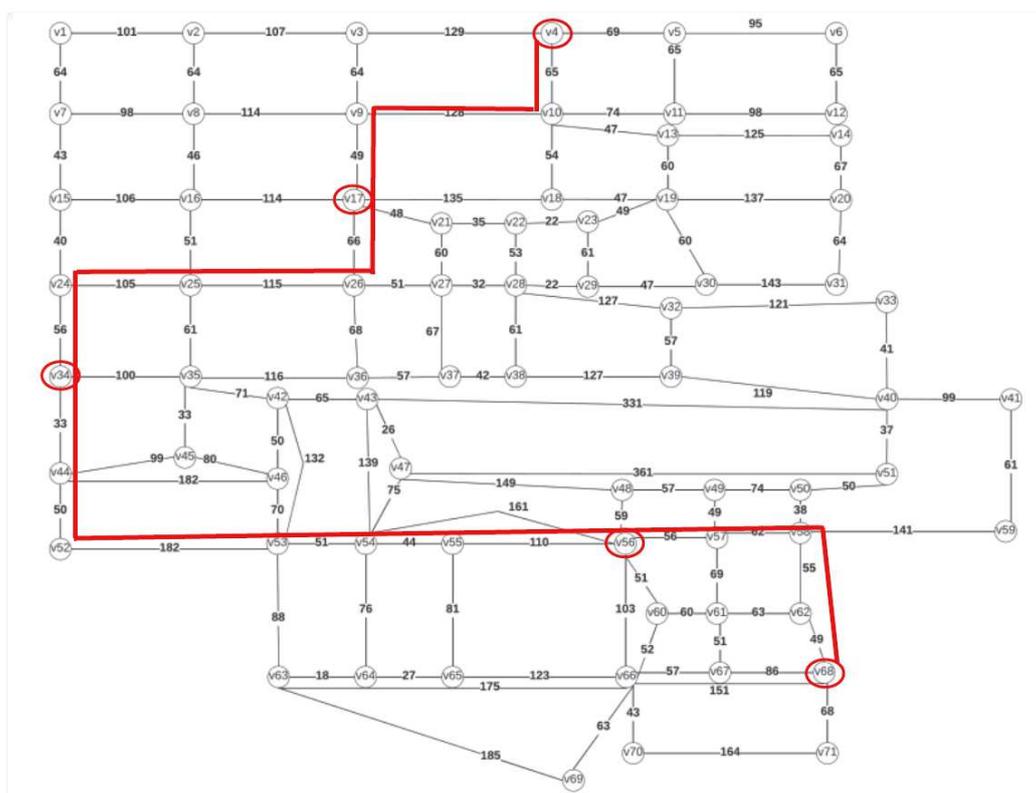
Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 5: Simulação de rota com Dijkstra com ponderação

Vértice de Saída	Vértice de Chegada	Vértices Visitados
V <sub>4</sub>	V <sub>17</sub>	V <sub>4</sub> -V <sub>10</sub> -V <sub>9</sub> -V <sub>17</sub>
V <sub>17</sub>	V <sub>34</sub>	V <sub>17</sub> -V <sub>26</sub> -V <sub>25</sub> -V <sub>24</sub> -V <sub>34</sub>
V <sub>34</sub>	V <sub>56</sub>	V <sub>34</sub> -V <sub>44</sub> -V <sub>52</sub> -V <sub>53</sub> -V <sub>54</sub> -V <sub>55</sub> -V <sub>56</sub>
V <sub>56</sub>	V <sub>68</sub>	V <sub>56</sub> -V <sub>57</sub> -V <sub>58</sub> -V <sub>62</sub> -V <sub>68</sub>

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 16: Rota com Dijkstra com ponderação conforme a rota do Quadro 5



Fonte: Elaborado pela autora

## 7 CONCLUSÃO

Esta monografia apresentou os resultados obtidos de um projeto de pesquisa que busca gerar, por meio da aplicação do Algoritmo de Dijkstra com o uso de ponderação, e analisar uma logística de entrega *Delivery* no centro da cidade de Russas. O mapeamento detalhado dos fatores que influenciam nas ponderações foi conduzido por meio de um levantamento de dados obtidos em entrevistas realizadas em cinco empresas locais. Durante essas entrevistas, foram feitas sete perguntas estruturadas, visando identificar os principais fatores que influenciam as escolhas de rotas dos entregadores.

A partir da análise dos resultados obtidos, foi constatado que os critérios preponderantes na escolha das rotas são as más condições viárias, a baixa iluminação e a preferência por evitar semáforos sequenciais. Consequentemente, os vértices associados a essas condições receberam um peso adicional em seu cálculo total da distância em metros. Essa observação ressalta a importância desses fatores na tomada de decisão durante o planejamento das rotas.

Destaca-se ainda que, consoante as informações coletadas, a menor distância entre as rotas é o critério de maior relevância estabelecido pelos entregadores. Esse dado confirma a centralidade da eficiência logística, evidenciando a priorização da otimização do percurso como elemento-chave na condução das entregas. Essa conclusão reforça a pertinência do emprego do Algoritmo de Dijkstra com ponderação, pois ele não apenas considera a distância mínima, mas também leva em conta as condições específicas das vias, resultando em rotas mais condizentes com as necessidades práticas do cenário abordado.

Para trabalhos futuros, há a intenção de ampliar o escopo de aplicação do Algoritmo de Dijkstra. Isso incluirá a consideração da ponderação juntamente com a introdução de direcionalidade às arestas, para lidar com vias de sentido único, visando mapear integralmente toda a cidade de Russas. Além disso, está nos planos ampliar a

análise e a implementação da ponderação, para outros algoritmos que se baseiam no conceito de caminho mínimo, como o Algoritmo A\*. Nesse contexto, a ponderação será combinada com uma função heurística específica, que orienta o processo de busca, enriquecendo a análise e otimização das rotas de entrega.

## REFERÊNCIAS

- ATZINGEN, J. v.; CUNHA, C. B.; NAKAMOTO, F. Y.; RIBEIRO, F. R.; SCHARDONG, A. **Análise Comparativa de Algoritmos Eficientes para o problema de caminho mínimo**. Dissertação (artigo) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2012.
- BARROS, E. R.; D., P. S.; L.C., Z. **Algoritmo de Dijkstra: apoio didático e multidisciplinar na implementação, simulação e utilização computacional**. Dissertação (artigo) – In International Conference on Engineering and Computer Education, 2007.
- CORMEN, T.; LEISERSON, C.; RIVEST, R.; STEIN, C. **Algoritmo Teoria e Prática**. [S. l.]: Elsevier, 2012. v. 2009.
- GORDIANO, N.; ROSSI, A. **Aplicação do Algoritmo de Dijkstra para Otimização de Rotas em Percursos Urbanos utilizando Transporte Público**. Dissertação (artigo) – Faculdade de Computação e Informática – Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2019.
- GROSS, J. L.; YELLEN, J. **Graph Theory and Its Applications**. [S. l.]: Chapman Hall, 2006. v. 2.
- HERNANDES, F.; BERTON, L.; CASTANHO, M. J. d. P. **O Problema de Caminho Mínimo com Incertezas e Restrições de Tempo**. Dissertação (artigo) – Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) Guarapuava – PR, 2009.
- LIMA, E. C. d. S. **Otimização de Rotas de Distribuição de uma Empresa Multinacional Alimentícia**. Dissertação (TCC) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, 2019.
- NASCIMENTO, P. F. d. **Qualidade na prestação de serviços de delivery: um estudo sobre a satisfação dos usuários do Ifood em Natal-RN**. Dissertação (Monografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Ciências Administrativas, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, 2020.
- NETTO, P. O. B. **Grafos: Teoria, Modelos, Algoritmos**. [S. l.]: Blucher, 2011. v. 5.
- NETTO, P. O. B.; JURKIEWICZ. **Grafos: Introdução e Prática**. [S. l.]: Blucher, 2021. v. 1.