



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE XXXXXXXX**  
**DEPARTAMENTO DE XXXXXXXXX**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**BILLY GRAHAN ALVES RODRIGUES**

**ALGORITMOS DE BUSCA PARA IDENTIFICAÇÃO ROTAS ENTRE ATIVOS NA  
ZELADORIA PÚBLICA NO CONTEXTO DE CIDADES INTELIGENTES**

**RUSSAS**

**2025**

BILLY GRAHAN ALVES RODRIGUES

ALGORITMOS DE BUSCA PARA IDENTIFICAÇÃO ROTAS ENTRE ATIVOS NA  
ZELADORIA PÚBLICA NO CONTEXTO DE CIDADES INTELIGENTES

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

Orientador: Prof. Dr. Mayrton Dias de  
Queiroz

RUSSAS

2025

BILLY GRAHAN ALVES RODRIGUES

ALGORITMOS DE BUSCA PARA IDENTIFICAÇÃO ROTAS ENTRE ATIVOS NA  
ZELADORIA PÚBLICA NO CONTEXTO DE CIDADES INTELIGENTES

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

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Mayrton Dias de Queiroz (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. XXXXXX XXXXXX XXXXXXX  
Universidade do Membro da Banca Dois (SIGLA)

---

Prof. Dr. XXXXXX XXXXXX XXXXXXX  
Universidade do Membro da Banca Três (SIGLA)

---

Prof. Dr. XXXXXX XXXXXX XXXXXXX  
Universidade do Membro da Banca Quatro (SIGLA)

À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

“O sonho é que leva a gente para frente. Se a gente for seguir a razão, fica aquietado, acomodado.”

(Ariano Suassuna)

## RESUMO

A gestão eficiente de ativos públicos municipais constitui um desafio logístico para as administrações públicas, especialmente quando demanda visitas periódicas para inspeção e manutenção de equipamentos urbanos distribuídos por diferentes regiões da cidade. Diante desta problemática, o objetivo geral desse trabalho consiste em identificar uma alternativa capaz de encontrar rotas eficientes entre os ativos públicos aplicando o Problema do Caixeiro Viajante ao contexto da gestão pública municipal. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura para identificar as principais abordagens metodológicas e algoritmos utilizados em problemas de otimização de rotas em ambientes urbanos. A metodologia envolveu a caracterização do problema, a identificação de técnicas heurísticas adequadas e a análise comparativa de algoritmos utilizando dados de ativos municipais. Os resultados demonstram a viabilidade da aplicação de técnicas de otimização para redução de custos operacionais, economia de tempo de deslocamento e melhoria na eficiência dos serviços prestados à população. A solução proposta insere-se no contexto das cidades inteligentes, contribuindo para a modernização da gestão pública em municípios de pequeno e médio porte, onde as limitações orçamentárias tornam essencial o uso eficiente dos recursos disponíveis. Este trabalho evidencia que a otimização de rotas constitui ferramenta estratégica para maximizar a eficiência operacional da administração pública, promovendo maior agilidade no atendimento às demandas de zeladoria urbana e fortalecendo a qualidade dos serviços municipais.

**Palavras-chave:** Otimização de rotas. Problema do Caixeiro Viajante. Gestão de ativos públicos. Heurísticas. Cidades inteligentes.

## ABSTRACT

Efficient management of municipal public assets represents a logistical challenge for public administrations, especially when it requires periodic visits for the inspection and maintenance of urban equipment distributed across different areas of the city. This work proposes the development of an algorithmic solution based on heuristic techniques for optimizing visitation routes to public assets, applying the Traveling Salesman Problem to the context of municipal public management. A systematic literature review was conducted to identify the main methodological approaches and algorithms used in route optimization problems in urban environments and smart cities. The methodology involved characterizing the problem, identifying suitable heuristic techniques, and performing a comparative analysis of algorithms using municipal asset data. The results demonstrate the feasibility of applying optimization techniques to reduce operational costs, save travel time, and improve the efficiency of services provided to the population. The proposed solution aligns with the smart city framework, contributing to the modernization of public management in small and medium-sized municipalities, where budget constraints make the efficient use of available resources essential. This work highlights that route optimization is a strategic tool for maximizing the operational efficiency of public administration, promoting greater agility in addressing urban maintenance demands and strengthening the quality of municipal services.

**Keywords:** Route optimization. Traveling Salesman Problem. Public asset management. Heuristics. Smart cities.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Representação de um grafo não dirigido. (a) Um grafo não dirigido G com cinco vértices e sete arestas. (b) Uma representação de G por lista de adjacências. (c) A representação de G por matriz de adjacências. . . . .	22
Figura 2 – Exemplo de execução da Busca em Largura (BFS) em um grafo . . . . .	23
Figura 3 – Exemplo de execução da Busca em Profundidade (DFS) em um grafo . . . .	24
Figura 4 – Resultados da Questões de Pesquisa (QP)1. . . . . . . . . . . . . . . . .	29
Figura 5 – Resultados da QP2. .	30
Figura 6 – Quantidade de artigos obtidos após a pesquisa nas Bases de Dados, o Download e aplicação dos Critérios de Inclusão e Exclusão. . . . . . . . . . . . . . .	34

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Quantidade de artigos em cada base de dados.	28
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>API</i>	<i>Application Programming Interface</i>
<i>BFS</i>	<i>Breadth-First Search</i>
<i>CIM</i>	<i>City Information Modeling</i>
<i>DAG</i>	<i>Directed Acyclic Graph</i>
<i>DFS</i>	<i>Depth-First Search</i>
<i>FIFO</i>	<i>First In, First Out</i>
<i>GRASP</i>	<i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i>
<i>ITS</i>	<i>Intelligent Transportation Systems</i>
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things</i>
<i>LIFO</i>	<i>Last In, First Out</i>
<i>TSP</i>	<i>Traveling Salesman Problem</i>
<i>UCS</i>	<i>Uniform-Cost Search</i>
AG	Algoritmos Genéticos
OX	Cruzamento de Ordem
QP	Questões de Pesquisa

## LISTA DE SÍMBOLOS

$b$	Fator de ramificação
$C^*$	Custo da solução ótima
$E$	Conjunto de arestas de um grafo
$e$	Aresta de um grafo
$f(n)$	Função de avaliação no algoritmo A* ( $f(n) = g(n) + h(n)$ )
$G$	Grafo, definido como $G = (V, E)$
$g(n)$	Custo do caminho da origem até o vértice $n$
$h(n)$	Função heurística que estima o custo de $n$ até o objetivo
$n$	Vértice ou nó em um grafo
$O$	Notação Big-O para complexidade de tempo ou espaço
$u$	Vértice em um grafo
$v$	Vértice em um grafo
$V$	Conjunto de vértices de um grafo
$w$	Função peso que atribui valores às arestas ( $w : E \rightarrow \mathbb{R}$ )
$\varepsilon$	Menor custo de aresta

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>1.1.1</b>	<b><i>Objetivos específicos . . . . .</i></b>	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>1.3</b>	<b>Organização do Trabalho . . . . .</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Cidades inteligentes . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1</b>	<b><i>Eixos das Cidades Inteligentes . . . . .</i></b>	<b>16</b>
<b>2.1.1.1</b>	<b><i>Governança Inteligente . . . . .</i></b>	<b>16</b>
<b>2.1.1.2</b>	<b><i>Mobilidade Urbana Inteligente . . . . .</i></b>	<b>17</b>
<b>2.1.1.3</b>	<b><i>Urbanismo e Planejamento Urbano . . . . .</i></b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Gestão de ativos públicos . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Zeladoria Urbana . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>Métodos de Otimização . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>2.4.1</b>	<b><i>Métodos Exatos . . . . .</i></b>	<b>19</b>
<b>2.4.2</b>	<b><i>Heurísticas . . . . .</i></b>	<b>20</b>
<b>2.4.3</b>	<b><i>Meta-heurísticas . . . . .</i></b>	<b>21</b>
<b>2.5</b>	<b>Teoria dos Grafos . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>2.6</b>	<b>Algoritmos de Busca . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>2.6.1</b>	<b><i>Busca em Largura (BFS) . . . . .</i></b>	<b>22</b>
<b>2.6.2</b>	<b><i>Busca em Profundidade (DFS) . . . . .</i></b>	<b>23</b>
<b>2.6.3</b>	<b><i>Busca de Custo Uniforme . . . . .</i></b>	<b>23</b>
<b>2.6.4</b>	<b><i>Algoritmo A* (A Estrela) . . . . .</i></b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Contextualização . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>Planejamento . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>3.2.1</b>	<b><i>Definição de Questões de Pesquisa (QP) . . . . .</i></b>	<b>26</b>
<b>3.2.2</b>	<b><i>Definição da string de busca . . . . .</i></b>	<b>27</b>
<b>3.2.3</b>	<b><i>Definições de bases de dados . . . . .</i></b>	<b>27</b>
<b>3.2.4</b>	<b><i>Definição dos critérios de inclusão e exclusão . . . . .</i></b>	<b>27</b>

<b>3.3</b>	<b>Condução</b>	28
<b>3.4</b>	<b>Resultados</b>	28
<b>3.5</b>	<b>Considerações Finais</b>	30
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	32
<b>4.1</b>	<b>Contextualização</b>	32
<b>4.2</b>	<b>Revisão da Literatura</b>	33
<b>4.3</b>	<b>Obtenção das Instâncias</b>	33
<b>4.4</b>	<b>Definição dos Algoritmos</b>	33
	<b>REFERÊNCIAS</b>	35

## 1 INTRODUÇÃO

A gestão eficiente dos ativos públicos constitui um desafio constante para as administrações municipais, especialmente quando demanda visitas periódicas para inspeção, manutenção ou levantamento de informações. Esses ativos — como praças, escolas, unidades de saúde, postes de iluminação, equipamentos urbanos, entre outros — encontram-se com algum Problema por diferentes regiões da cidade, exigindo um planejamento logístico criterioso que minimize o tempo de deslocamento e os custos operacionais das equipes responsáveis.

No contexto das cidades inteligentes, a otimização de rotas torna-se fundamental para a eficiência operacional dos serviços públicos. A ausência de planejamento adequado resulta em desperdício de recursos, aumento do tempo de resposta às demandas da população e ineficiência na prestação de serviços essenciais. Este cenário é particularmente crítico em municípios de pequeno e médio porte, onde as limitações orçamentárias e de infraestrutura são mais acentuadas.

O desafio consiste em determinar a rota mais eficiente para que profissionais da prefeitura percorram todos os pontos de visitação necessários e retornem ao ponto de origem, minimizando a distância total percorrida e, consequentemente, o tempo e os custos operacionais.

### 1.1 Objetivos

Diante do contexto apresentado, o objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver e avaliar um algoritmo capaz de gerar rotas otimizadas para a visitação de ativos públicos por profissionais da administração municipal, aplicando técnicas heurísticas para resolver o Problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem – Traveling Salesman Problem (TSP)*) adaptado à realidade da gestão pública.

#### 1.1.1 *Objetivos específicos*

Para alcançar o objetivo geral, estabelecem-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma revisão sistemática da literatura para identificar os principais trabalhos relacionados à otimização de rotas em contextos urbanos e cidades inteligentes, bem como as técnicas e algoritmos empregados;
- Identificar o Problema do Caixeiro Viajante e suas variantes, contextualizando suas aplicações na gestão de ativos públicos municipais;

- Obter um algoritmo heurístico para geração de rotas otimizadas, considerando as especificidades da gestão pública;
- Obter uma avaliação do desempenho do algoritmo desenvolvido por meio de análise comparativa utilizando dados de ativos municipais;

## 1.2 Justificativa

A relevância deste trabalho fundamenta-se em múltiplas dimensões que abrangem aspectos técnicos, econômicos e sociais. Do ponto de vista técnico, o Problema do Caixearo Viajante representa um desafio clássico da ciência da computação, classificado como NP-difícil, cuja solução exata torna-se impraticável para instâncias de grande porte. A aplicação de técnicas heurísticas permite obter soluções de boa qualidade em tempo computacional razoável, viabilizando sua implementação em contextos práticos.

No âmbito econômico, a otimização de rotas contribui diretamente para a redução de custos operacionais no setor público. A economia gerada pela minimização das distâncias percorridas reflete-se na diminuição do consumo de combustível, na redução do desgaste dos veículos e no aproveitamento mais eficiente do tempo dos profissionais. Essa otimização representa uma ferramenta estratégica para maximizar a eficiência dos recursos disponíveis.

Sob a perspectiva social, a melhoria na eficiência operacional da administração pública impacta diretamente a qualidade dos serviços prestados à população. Rotas otimizadas permitem maior agilidade no atendimento às demandas de manutenção urbana, reduzindo o tempo de resposta e aumentando a capacidade de atendimento das equipes municipais. Esse ganho de eficiência fortalece a confiança da população nas instituições públicas e contribui para a melhoria da qualidade de vida nos centros urbanos.

Além disso, este trabalho insere-se no contexto contemporâneo das cidades inteligentes, onde a aplicação de tecnologias da informação e técnicas de otimização tornam-se instrumentos essenciais para a modernização da gestão pública. A solução proposta pode ser adaptada e replicada em diversos municípios, especialmente aqueles de pequeno e médio porte, democratizando o acesso a ferramentas tecnológicas que promovam eficiência administrativa e transparência na gestão dos recursos públicos.

### **1.3 Organização do Trabalho**

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, organizados de forma a proporcionar uma compreensão progressiva e sistemática do tema abordado.

O Capítulo 1 apresenta a contextualização do problema, os objetivos da pesquisa, a justificativa e a organização geral do trabalho, fornecendo uma visão panorâmica dos elementos centrais desta investigação.

O Capítulo 2 expõe a fundamentação teórica necessária para a compreensão do trabalho, abordando os conceitos de cidades inteligentes, gestão de ativos públicos, zeladoria urbana, métodos de otimização e teoria dos grafos. São apresentados os principais algoritmos de busca e técnicas heurísticas relevantes para a resolução do problema proposto.

O Capítulo 3 descreve a revisão sistemática da literatura realizada, detalhando as etapas de planejamento, condução e análise dos resultados. São apresentados os principais trabalhos relacionados à otimização de rotas em contextos urbanos e cidades inteligentes, identificando estratégias metodológicas, algoritmos empregados e lacunas de pesquisa.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia empregada no desenvolvimento da solução, descrevendo o algoritmo proposto, os dados utilizados, os procedimentos de implementação e os critérios de avaliação de desempenho.

Por fim, o Capítulo 5 consolida as conclusões do trabalho, sintetizando os principais resultados obtidos, discutindo as limitações da pesquisa e apontando direções para trabalhos futuros.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Nesta seção serão abordados os assuntos e conceitos utilizados atualmente para soluções de melhoria de bem-estar da população, como: cidades inteligentes, gestão de ativos públicos, zeladoria urbana, e os algoritmos de busca.

### **2.1 Cidades inteligentes**

O conceito de cidades inteligentes (do inglês, *smart cities*) é definido como um ambiente urbano que utiliza ferramentas de tecnologia da informação e comunicação (TIC) para melhorar a infraestrutura urbana, a utilização inteligente dos recursos, a mobilidade, a governança e os serviços públicos, tendo como principal beneficiado o cidadão (WEISS *et al.*, 2015). Embora o conceito de cidades inteligentes seja amplamente implementado em grandes centros urbanos e metrópoles, é possível realizar sua adaptação a pequenos e médios municípios brasileiros. O uso de tecnologias em tempo real, automação de processos e a participação ativa da população possibilitam a adaptação e a melhoria da qualidade da gestão pública local (SANTIAGO, 2023).

As cidades inteligentes estruturam-se em múltiplos eixos de atuação que, integrados, promovem o desenvolvimento urbano sustentável e centrado no cidadão. Esses eixos abrangem diferentes dimensões da vida urbana e demandam soluções tecnológicas específicas para enfrentar os desafios contemporâneos das cidades (CARVALHO, 2024).

#### **2.1.1 Eixos das Cidades Inteligentes**

Nessa seção, serão abordados os eixos de atuação das cidades inteligentes, sendo eles a governança inteligente, a mobilidade urbana inteligente e o urbanismo e planejamento urbano.

##### **2.1.1.1 Governança Inteligente**

A governança inteligente refere-se à aplicação de tecnologias digitais para promover a participação cidadã, transparência administrativa e eficiência na gestão pública. Neste eixo, os sistemas de informação permitem que gestores públicos tomem decisões baseadas em dados, realizem o monitoramento de serviços em tempo real e promovam a interação direta com a

população (WEISS *et al.*, 2015). Ferramentas como *dashboards* interativos e plataformas de dados abertos são exemplos de aplicações que facilitam o acesso à informação e fortalecem a democracia participativa (DIAS *et al.*, 2019). A gestão orientada por dados contribui para a otimização de recursos públicos e para o planejamento estratégico de longo prazo, especialmente em contextos de restrição orçamentária.

#### *2.1.1.2 Mobilidade Urbana Inteligente*

A mobilidade urbana inteligente integra sistemas de transporte, tecnologias de geolocalização e análise de dados para otimizar o deslocamento de pessoas e bens nas cidades. Sistemas Inteligentes de Transporte (*Intelligent Transportation Systems (ITS)*) utilizam sensores, câmeras e algoritmos de análise para monitorar o fluxo de tráfego, identificar congestionamentos e propor rotas alternativas (COSTA, 2023). Além disso, soluções de estacionamento inteligente baseadas em sistemas ciber-físicos e agentes inteligentes contribuem para a redução do tempo de busca por vagas e diminuição da poluição urbana (BOTELHO *et al.*, 2019). A aplicação de técnicas de aprendizado de máquina permite a análise de padrões espaço-temporais da mobilidade, auxiliando no planejamento de intervenções estruturantes no sistema viário (MELONIO, 2021).

#### *2.1.1.3 Urbanismo e Planejamento Urbano*

O eixo de urbanismo inteligente envolve o uso de geotecnologias, modelagem de informações urbanas e análise espacial para o planejamento e gestão do território urbano. A adoção de metodologias como *City Information Modeling (CIM)* permite a integração de dados geoespaciais, infraestrutura urbana e informações socioeconômicas em modelos tridimensionais que auxiliam gestores no planejamento territorial e na tomada de decisões (SANTIAGO, 2023). Aplicações *mobile* para relato de problemas urbanos por parte da população, integradas a sistemas de geolocalização, possibilitam o mapeamento colaborativo de demandas e a priorização de intervenções no espaço urbano (SANTOS *et al.*, 2019). A simulação urbana integrada a sistemas multi-agentes e Internet das Coisas (*Internet of Things (IoT)*) permite testar cenários de desenvolvimento urbano antes de sua implementação física (CASTRO *et al.*, 2020).

## 2.2 Gestão de ativos públicos

Os ativos públicos são recursos, direitos e serviços que são acessíveis e disponíveis para todos os membros de uma sociedade, com diversas finalidades, tais como: infraestrutura, serviços essenciais, bens comuns, patrimônio cultural e recursos naturais. A gestão de ativos públicos consiste no conjunto de práticas e processos que visam controlar, inventariar, manter e planejar a utilização desses recursos de forma eficiente e sustentável ao longo de seu ciclo de vida.

No contexto das cidades inteligentes, a gestão de ativos públicos torna-se estratégica para garantir a qualidade dos serviços urbanos e a otimização dos recursos públicos. O gerenciamento eficaz desses ativos demanda sistemas de informação capazes de permitir o acompanhamento em tempo real, com dados precisos de localização, estado de conservação e histórico de ações realizadas. A integração de tecnologias de geolocalização, sensores *IoT* e plataformas de gerenciamento permite que gestores públicos tenham visibilidade completa sobre o patrimônio municipal (SANTIAGO, 2023).

Soluções informatizadas de gestão de ativos reduzem erros operacionais, previnem retrabalhos e promovem melhor uso dos recursos públicos (STORCK *et al.*, 2017). Isso é particularmente importante em contextos onde há limitação orçamentária, como em municípios de pequeno e médio porte. A implementação de sistemas integrados de gestão possibilita a criação de inventários digitais georreferenciados, o planejamento preventivo de manutenções e a geração de indicadores de desempenho para a tomada de decisão baseada em evidências.

Além disso, a gestão de ativos públicos no contexto de cidades inteligentes permite a integração com sistemas de participação cidadã, onde a população pode reportar problemas relacionados à infraestrutura urbana através de aplicativos móveis (SANTOS *et al.*, 2019). Essa integração entre gestão de ativos e participação popular fortalece a governança inteligente e contribui para a melhoria contínua dos serviços públicos, promovendo maior transparência e efetividade nas ações do poder público (OLIVEIRA, 2020).

## 2.3 Zeladoria Urbana

A zeladoria urbana aborda um conjunto de atividades que visam manter em boas condições de uso os ambientes públicos para a população, realizando serviços essenciais de manutenção e conservação, tais como: manutenção de ruas, poda de árvores, limpeza de vias,

conservação de praças e calçadas. Em cidades de pequeno porte, especialmente no interior dos estados do Nordeste brasileiro, é possível encontrar desafios como: limitações operacionais, de infraestrutura e recursos humanos especializados (SANTOS *et al.*, 2019).

Os processos nesses contextos costumam não ser automatizados e sistematizados, o que compromete seriamente o planejamento, a priorização das demandas, a transparência das ações dos gestores e pode propiciar o mau uso de verba pública. A implementação de sistemas digitais de gestão de demandas de zeladoria urbana, integrados a tecnologias de geolocalização e priorização inteligente, pode contribuir significativamente para a eficiência operacional e para a melhoria da qualidade dos serviços prestados à população (OLIVEIRA, 2020).

Aplicativos móveis para reporte de problemas urbanos, como buracos em vias, iluminação pública defeituosa e lixo acumulado, têm se mostrado eficazes na mediação entre cidadãos e gestores públicos (SANTOS *et al.*, 2019). Quando integrados a sistemas de gestão de ativos e algoritmos de otimização de rotas, esses aplicativos possibilitam não apenas o registro das demandas, mas também o planejamento eficiente das equipes de manutenção, a priorização baseada em critérios objetivos e o acompanhamento transparente do andamento das solicitações.

## **2.4 Métodos de Otimização**

Problemas de otimização são encontrados em diversas aplicações práticas, por exemplo o planejamento de rotas. Esses problemas buscam encontrar uma solução factível dentre um conjunto de soluções possíveis, de acordo com determinado critério de otimização (CORMEN *et al.*, 2012). Os métodos para resolver problemas de otimização podem ser classificados em diferentes categorias, cada uma com características, vantagens e limitações específicas.

### **2.4.1 Métodos Exatos**

Métodos exatos são aqueles que garantem encontrar a solução ótima para um problema de otimização. Esses métodos exploram sistematicamente o espaço de soluções, avaliando todas as possibilidades ou utilizando técnicas de poda para eliminar soluções que comprovadamente não podem ser ótimas (CORMEN *et al.*, 2012).

Entre as principais técnicas exatas, destacam-se:

- **Enumeração Completa:** Consiste em avaliar todas as soluções possíveis e selecionar a melhor. Embora garanta a solução ótima, torna-se impraticável para problemas com

grande espaço de busca, pois geralmente possuem um crescimento exponencial do número de soluções.

- **Programação Dinâmica:** Técnica que resolve problemas complexos dividindo-os em subproblemas menores e armazenando os resultados desses subproblemas para evitar recálculos (CORMEN *et al.*, 2012). É aplicável quando o problema possui subestrutura ótima (a solução ótima contém soluções ótimas dos subproblemas) e subproblemas sobrepostos.
- **Branch-and-Bound:** Método que partitiona o espaço de soluções em subconjuntos (ramificação) e utiliza limitantes para podar ramos que não podem conter a solução ótima. É amplamente utilizado em problemas de otimização combinatória, como o problema do caixeiro viajante.
- **Programação Linear e Inteira:** Técnicas matemáticas que formulam o problema de otimização como um conjunto de equações e inequações lineares. Enquanto a programação linear lida com variáveis contínuas, a programação inteira trata de variáveis discretas, sendo esta última geralmente mais complexa computacionalmente.

A principal limitação dos métodos exatos é a complexidade computacional. Parte dos problemas de otimização pertencem à classe NP-difícil, onde não se conhece algoritmo que encontre a solução ótima em tempo polinomial. Para instâncias de grande porte, o tempo necessário para obter a solução ótima pode ser impraticável, motivando o uso de métodos aproximados (CORMEN *et al.*, 2012).

#### 2.4.2 Heurísticas

Heurísticas são métodos que buscam encontrar boas soluções em tempo computacional razoável, sem necessariamente garantir a otimalidade. Uma heurística é uma regra prática, estratégia ou técnica que simplifica a resolução de problemas complexos (RUSSELL; NORVIG, 2013).

As principais características das heurísticas incluem:

- **Eficiência computacional:** Geralmente possuem complexidade de tempo polinomial, permitindo resolver instâncias grandes em tempo razoável.
- **Qualidade de solução:** Embora não garantam a solução ótima, frequentemente produzem soluções de boa qualidade, próximas ao ótimo.
- **Especificidade:** Parte das heurísticas são desenvolvidas explorando características específicas do problema, tornando-as eficazes para determinados tipos de instâncias.

Exemplos de heurísticas construtivas incluem o algoritmo do vizinho mais próximo para o problema do caixeiro viajante, onde, partindo de um vértice inicial, sempre se escolhe o vértice não visitado mais próximo até completar o circuito. Heurísticas de melhoria, como a busca local, partem de uma solução inicial e iterativamente aplicam modificações locais que melhoram a qualidade da solução (CORMEN *et al.*, 2012).

#### 2.4.3 *Meta-heurísticas*

Meta-heurísticas são estratégias de alto nível que guiam heurísticas subordinadas na busca por soluções de qualidade. Diferentemente das heurísticas clássicas, as meta-heurísticas são mais genéricas e podem ser aplicadas a diversos problemas de otimização com pequenas adaptações (RUSSELL; NORVIG, 2013).

A escolha entre métodos exatos, heurísticas ou meta-heurísticas depende do contexto da aplicação, considerando fatores como o tamanho da instância, requisitos de qualidade da solução, tempo disponível para computação e recursos computacionais (CORMEN *et al.*, 2012).

### 2.5 Teoria dos Grafos

Um grafo é uma estrutura matemática utilizada para modelar relações entre objetos, sendo amplamente empregado na ciência da computação para representar redes, mapas e sistemas diversos (CORMEN *et al.*, 2012). Formalmente, um grafo  $G$  é definido pelo par ordenado  $G = (V, E)$ , onde  $V$  é um conjunto finito de vértices (ou nós) que representam entidades, e  $E$  é um conjunto de arestas que representam as conexões entre os vértices, denotadas como pares  $(u, v)$ , onde  $u, v \in V$ .

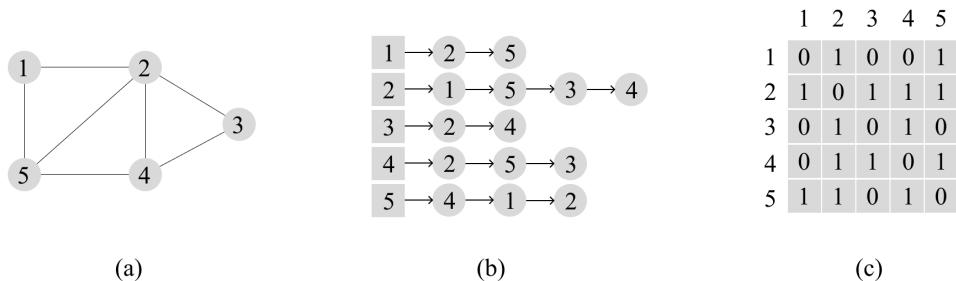
Os grafos podem ser classificados quanto à direcionalidade das arestas. Em grafos **não-direcionados**, as arestas estabelecem conexões bidirecionais, onde  $(u, v)$  é equivalente a  $(v, u)$ , representando relações simétricas como estradas de mão dupla. Já nos grafos **direcionados** (ou dígrafos), as arestas possuem orientação, indicando uma conexão de  $u$  para  $v$  sem necessariamente existir de  $v$  para  $u$ , úteis para modelar ruas de mão única ou dependências entre tarefas.

Quanto à ponderação, grafos podem ter arestas com pesos ou custos associados, definidos por uma função  $w : E \rightarrow \mathbb{R}$  que atribui valores numéricos representando distâncias, tempos, custos ou capacidades (CORMEN *et al.*, 2012). Conceitos fundamentais incluem

**adjacência** (vértices conectados por aresta), **grau** (número de arestas incidentes a um vértice), **caminho** (sequência de vértices conectados) e **ciclo** (caminho que retorna ao vértice inicial).

Computacionalmente, grafos podem ser representados de duas formas principais: (i) **Matriz de Adjacência** – matriz  $A$  de dimensão  $|V| \times |V|$  onde  $A[i][j]$  indica a existência e peso de arestas, ocupando espaço  $O(V^2)$ ; (ii) **Lista de Adjacência** – para cada vértice mantém-se uma lista dos adjacentes, mais eficiente para grafos esparsos com complexidade espacial  $O(V + E)$  (CORMEN *et al.*, 2012).

Figura 1 – Representação de um grafo não dirigido. (a) Um grafo não dirigido  $G$  com cinco vértices e sete arestas. (b) Uma representação de  $G$  por lista de adjacências. (c) A representação de  $G$  por matriz de adjacências.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

## 2.6 Algoritmos de Busca

Nessa seção, serão apresentados alguns dos principais algoritmos de busca em grafos, sendo eles a Busca em Largura (BFS), a Busca em Profundidade (DFS), a Busca de Custo Uniforme (UCS) e o Algoritmo A\* (A Estrela).

### 2.6.1 Busca em Largura (BFS)

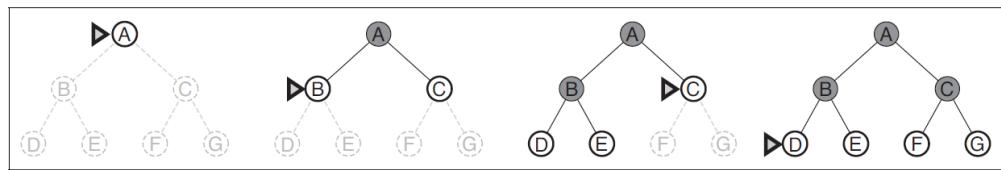
A Busca em Largura *Breadth-First Search (BFS)* explora o grafo sistematicamente visitando todos os vértices a uma mesma distância da origem antes de avançar para níveis mais profundos (CORMEN *et al.*, 2012). O algoritmo utiliza uma estrutura de fila *First In, First Out (FIFO)* para controlar a ordem de visitação dos vértices.

A complexidade de tempo da BFS é  $O(V + E)$ , onde  $V$  é o número de vértices e  $E$  é o número de arestas. O algoritmo garante encontrar o caminho mais curto em termos de número de arestas quando todas têm o mesmo peso. A BFS é particularmente útil para:

- Encontrar o menor caminho em grafos não ponderados;
- Testar a conectividade de um grafo;
- Encontrar todos os vértices alcançáveis a partir de um vértice de origem;
- Detectar ciclos em grafos não direcionados.

A Figura 2 ilustra o funcionamento da busca em largura em um grafo, mostrando a ordem de visitação dos vértices nível por nível.

Figura 2 – Exemplo de execução da Busca em Largura (BFS) em um grafo



Fonte: (RUSSELL; NORVIG, 2013).

### 2.6.2 Busca em Profundidade (DFS)

A Busca em Profundidade *Depth-First Search (DFS)* percorre o grafo explorando o máximo possível cada caminho antes de retroceder (CORMEN *et al.*, 2012). Pode ser implementada recursivamente ou utilizando uma pilha *Last In, First Out (LIFO)*. A *DFS* também possui complexidade  $O(V + E)$ .

A *DFS* é especialmente adequada para:

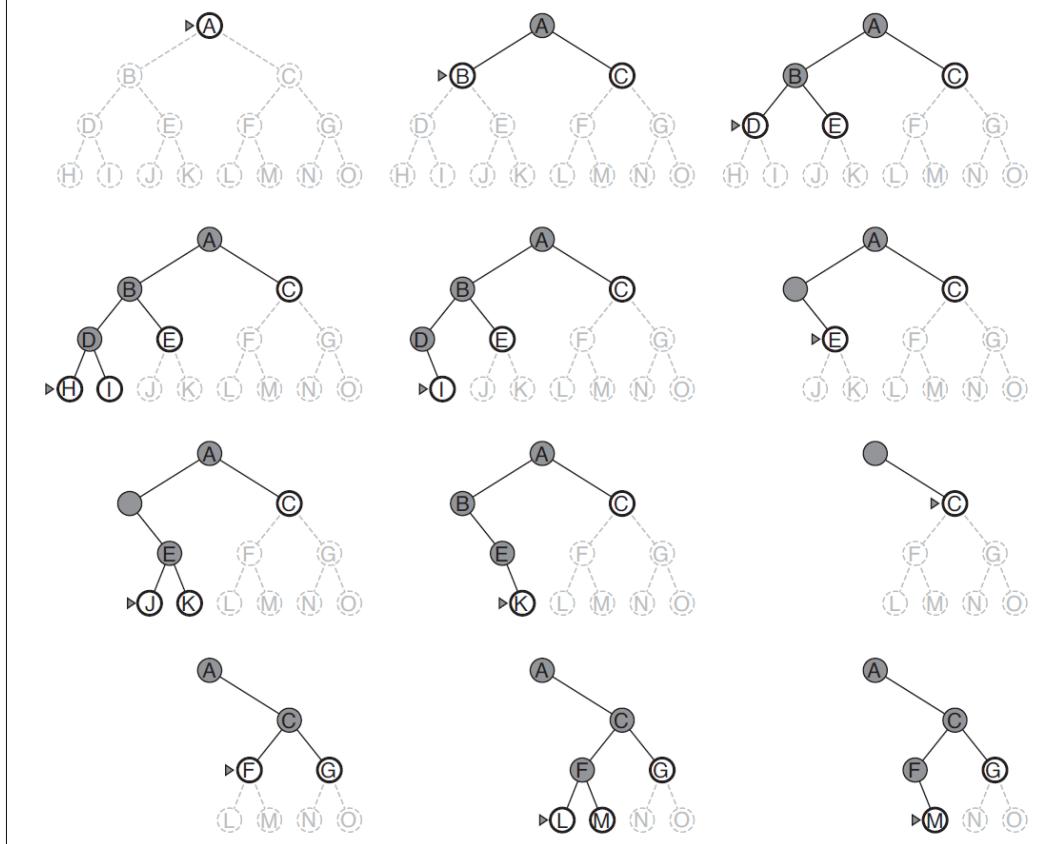
- Detecção de ciclos em grafos direcionados e não direcionados;
- Ordenação topológica em grafos acíclicos direcionados (*Directed Acyclic Graph (DAG)*);
- Decomposição de grafos em componentes fortemente conexos;
- Resolução de quebra-cabeças e problemas que exigem exploração de todas as possibilidades, como labirintos.

A Figura 3 demonstra o processo de busca em profundidade, evidenciando como o algoritmo explora cada ramo até seu limite antes de retroceder.

### 2.6.3 Busca de Custo Uniforme

A Busca de Custo Uniforme *Uniform-Cost Search (UCS)* é uma estratégia de busca que expande o nó com menor custo de caminho acumulado, sendo uma generalização da *BFS* para grafos com arestas de diferentes custos (RUSSELL; NORVIG, 2013). Diferentemente da *BFS*, que trata todas as arestas igualmente, a *UCS* considera os pesos associados às arestas para

Figura 3 – Exemplo de execução da Busca em Profundidade (DFS) em um grafo



Fonte: (RUSSELL; NORVIG, 2013).

determinar a ordem de expansão dos nós.

O algoritmo utiliza uma fila de prioridade onde os nós são ordenados pelo custo total do caminho da origem  $g(n)$ , sempre expandindo o nó com menor custo acumulado. A cada expansão, os custos dos nós vizinhos são atualizados se um caminho mais barato for encontrado. A UCS é completa e ótima, garantindo encontrar a solução de menor custo quando todos os custos das arestas são não-negativos (RUSSELL; NORVIG, 2013).

A complexidade de tempo e espaço da busca de custo uniforme é  $O(b^{1+\lfloor C^*/\varepsilon \rfloor})$ , onde  $b$  é o fator de ramificação,  $C^*$  é o custo da solução ótima, e  $\varepsilon$  é o menor custo de aresta. Na prática, com implementação eficiente usando *heap* binário, a complexidade é  $O((V+E)\log V)$ .

A UCS é particularmente adequada para:

- Encontrar caminhos de menor custo em grafos ponderados com pesos não-negativos;
- Problemas de roteamento onde diferentes caminhos têm custos variados;
- Planejamento de rotas considerando distâncias, tempos ou custos operacionais;
- Situações onde não há informação heurística disponível sobre a proximidade do objetivo.

A principal diferença entre a UCS e algoritmos informados como o A\* é que a UCS não utiliza conhecimento adicional (heurística) sobre a distância até o objetivo, expandindo nós

apenas com base no custo acumulado desde a origem (RUSSELL; NORVIG, 2013).

#### **2.6.4 Algoritmo A\* (A Estrela)**

O algoritmo A\* é uma extensão da busca de custo uniforme que incorpora uma função heurística para guiar a busca em direção ao objetivo (RUSSELL; NORVIG, 2013). A função de avaliação é definida como  $f(n) = g(n) + h(n)$ , onde  $g(n)$  é o custo do caminho da origem até o vértice  $n$ , e  $h(n)$  é a heurística que estima o custo de  $n$  até o objetivo.

Para que o A\* garanta encontrar o caminho ótimo, a heurística deve ser admissível, ou seja, nunca superestimar o custo real até o objetivo. Heurísticas comuns incluem a distância euclidiana e a distância de Manhattan em espaços bidimensionais (RUSSELL; NORVIG, 2013).

O A\* é particularmente eficiente quando existe uma boa heurística disponível, pois reduz significativamente o número de vértices explorados em comparação com Dijkstra. É amplamente utilizado em:

- Jogos e simulações para movimentação de personagens e entidades;
- Robótica para planejamento de trajetórias;
- Sistemas de navegação com informação geográfica;
- Otimização de rotas considerando múltiplos critérios.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão descritas as etapas realizadas durante a Revisão da Literatura do trabalho.

#### 3.1 Contextualização

Diante do objetivo do trabalho, foi necessário a realização de uma revisão sistemática com o intuito de identificar os principais trabalhos relacionados com essa pesquisa. Esta fase da pesquisa foi organizada em três etapas: Planejamento, Condução e Resultados que serão descritas nas próximas seções.

#### 3.2 Planejamento

Segundo Kitchenham *et al.* (2009), o Planejamento é a etapa de definição de cada passo do protocolo, que consiste em: definição das Questões de Pesquisa; definição da *string* de busca; definição das bases de dados e definição dos critérios de inclusão e exclusão. Sendo assim, nas próximas seções, serão descritos os passos deste protocolo.

##### 3.2.1 Definição de Questões de Pesquisa (QP)

**QP1** - Qual a estratégia adotada no trabalho?

- Criação de um *framework*
- Simulação
- Análise de dados
- Abordagem com internet das coisas
- Desenvolvimento/uso de algoritmos de otimização

**QP2** - Qual(is) algoritmo(s) adotado(s) no trabalho?

- Algoritmo genético
- Colônia de formigas
- Grasp
- Programação linear
- Algoritmo Híbrido
- Não se aplica

### **3.2.2 Definição da string de busca**

Após a definição das questões de pesquisas, foi definida a seguinte *string* de busca: "*cidades inteligentes*"AND "*framework*"AND "*problema do caixeiro viajante*"

### **3.2.3 Definições de bases de dados**

De posse da *string* de busca, foram selecionadas as bases de dados, conforme mostra o Quadro 1:

Quadro 1 – Bases de dados selecionadas.

Base de dados	Link
Google acadêmico	<a href="https://www.periodicos.capes.gov.br">https://www.periodicos.capes.gov.br</a>
Periódicos da capes	<a href="https://scholar.google.com.br/">https://scholar.google.com.br/</a>
SBC-OpenLib	<a href="https://sol.sbc.org.br">https://sol.sbc.org.br</a>

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

### **3.2.4 Definição dos critérios de inclusão e exclusão**

Para concluir essa etapa do planejamento, foram definidos os critérios de inclusão e exclusão que todos os artigos deverão satisfazer. Os critérios definidos são:

#### **Critérios de inclusão:**

- Estudos completos publicados em revistas ou conferências alinhados ao problema de pesquisa;
- Estudos teóricos ou experimentais com o objetivo de apresentar conceitos para o entendimento da área;
- Acessível eletronicamente e ter sido publicado no período de 2015 a 2025.

#### **Critérios de exclusão:**

- Estudos que não estejam relacionados ao problema de pesquisa;
- Estudos que não respondem a nenhuma das questões de pesquisa;
- Artigos duplicados, ou seja, aqueles encontrados em mais de uma base de dados;
- Artigos convidados, tutoriais, relatórios técnicos que não passam pelo critério de avaliação das conferências ou revistas;
- Estudos não disponíveis para *download*.

Tabela 1 – Quantidade de artigos em cada base de dados.

<b>Base de dados</b>	<b>Resultados da busca</b>	<b>Download</b>	<b>Inclusão/Exclusão</b>
Google acadêmico	26	13	3
Periódicos da capes	10	6	4
SBC-OpenLib	3	3	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

### 3.3 Condução

Na fase de condução, foi colocado em prática o planejamento definido na seção de Planejamento, dessa forma, a *string* de busca foi inserida em cada base de dados, respeitando as especificações de cada base. De posse dos resultados da busca, foi realizado o *download* dos estudos disponíveis. Em seguida, os trabalhos passaram pelos critérios de inclusão e exclusão. Na Tabela 1, é possível identificar a quantidade de trabalhos em cada base durante a busca, a realização do *download* e a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

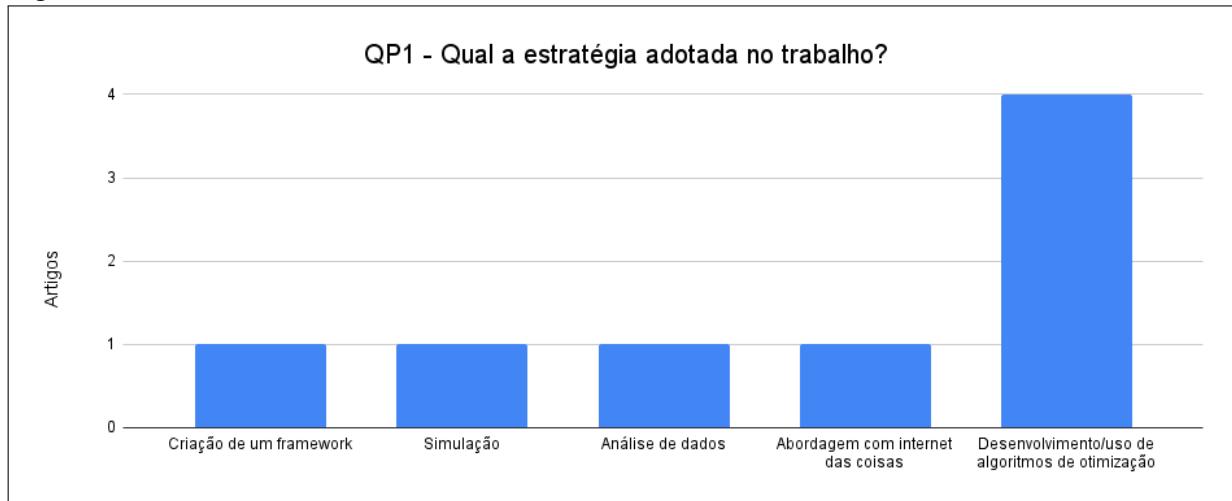
### 3.4 Resultados

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da análise dos trabalhos selecionados, organizados de acordo com as duas questões de pesquisa estabelecidas.

A Figura 4 apresenta um gráfico de barras com os resultados da QP1, referente às estratégias metodológicas adotadas nos trabalhos selecionados. Observa-se que apenas um estudo utilizou a estratégia de criação de *framework*: o trabalho de Silva (2024), no qual os autores desenvolveram uma solução baseada em *Application Programming Interface (API)s* externas para calcular rotas entre pontos estratégicos visando a resolução de Problemas de Roteamento de Veículos.

A estratégia mais prevalente identificada na QP1 foi o desenvolvimento e/ou uso de algoritmos de otimização, totalizando quatro trabalhos. Paz (2023) desenvolveu um algoritmo para otimizar o transporte urbano considerando o menor trajeto no menor tempo possível, evitando gargalos como congestionamentos. Silva *et al.* (2022) utilizou a ferramenta externas de código aberto para resolver o Problema do Caixeiro Viajante em centros urbanos, aplicado ao contexto de entregas dos correios. Silva e Ochi (2017) propôs um algoritmo para resolver uma variação do Problema do Caixeiro Viajante, denominada Caixeiro Alugador, visando otimizar viagens com aluguel de veículos entre cidades. Por fim, Chaves *et al.* (2007) apresentou um método heurístico híbrido para resolver aproximadamente o Problema do Caixeiro Viajante com

Figura 4 – Resultados da QP1.



Fonte: elaborada pelo autor (2025).

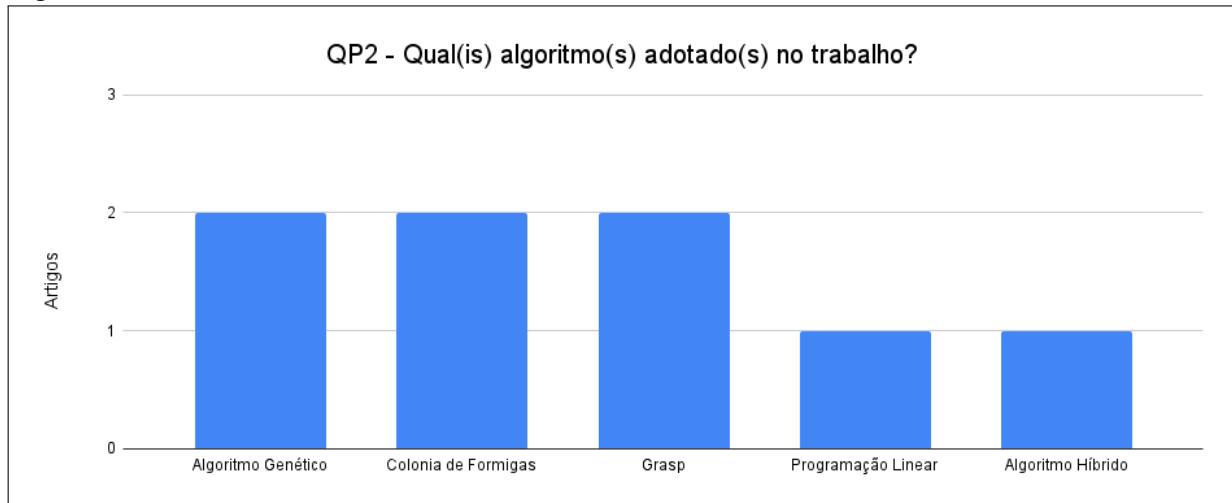
#### Coleta de Prêmios.

Ainda em relação à QP1, na alternativa de Abordagem com Internet das Coisas, Barth (2016) desenvolveu uma metodologia para elaboração de um sistema computacional baseado em um conjunto de regras definidas por modelagem matemática, visando apoiar o projeto de redes híbridas (ópticas e sem fio) para atendimento das demandas de cidades inteligentes. Na alternativa de simulação, Sati *et al.* (2020) utilizou e comparou três diferentes modelos matemáticos, analisando os benefícios de cada um para a resolução do problema de roteamento de veículos em centros urbanos voltado ao transporte de funcionários. Quanto à alternativa de análise de dados, Georges (2014) apresentou um estudo das rotas de coleta de materiais recicláveis de uma cooperativa, aplicando um modelo conceitual do Problema do Caixeiro Viajante para reordenação dos pontos de coleta.

A Figura 5 apresenta um gráfico de barras com os resultados da QP2, referente aos algoritmos adotados nos trabalhos selecionados. Paz (2023) utilizou o Algoritmo Genético combinado com conceitos de probabilidade para otimização de rotas e, para fins comparativos, também empregou os algoritmos Colônia de Formigas, *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP)*, A\* (A estrela) e Dijkstra. Barth (2016) adotou o algoritmo Colônia de Formigas em seu projeto de redes híbridas para cidades inteligentes. Silva e Ochi (2017) e Chaves *et al.* (2007) utilizaram, respectivamente, o Algoritmo Genético e um método híbrido de GRASP com outras técnicas de otimização para refinar a solução construída, ambos aplicados à resolução de variantes do Problema do Caixeiro Viajante. Por sua vez, Sati *et al.* (2020) adotou Programação Linear para resolver o problema de roteamento de veículos em centros urbanos.

Os demais trabalhos, Silva (2024), Silva *et al.* (2022) e Georges (2014), não adotaram

Figura 5 – Resultados da QP2.



Fonte: elaborada pelo autor (2025).

nenhum dos algoritmos especificados na QP2. Estes estudos utilizaram ferramentas externas para resolução dos problemas propostos, tais como OR-Tools (*software* de código aberto do Google), OpenStreetMap, Open Source Routing Machine e/ou modelos conceituais, porém sem implementação direta de algoritmos ou realização de análises comparativas entre diferentes abordagens.

### 3.5 Considerações Finais

A realização desta revisão sistemática da literatura foi fundamental para mapear o estado da arte em otimização de rotas e gestão de ativos públicos no contexto de cidades inteligentes. Por meio das questões de pesquisa estabelecidas, foi possível identificar as principais estratégias metodológicas adotadas pelos pesquisadores da área, bem como os algoritmos e técnicas de otimização empregados para resolver problemas relacionados ao Problema do Caixeiro Viajante e suas variantes em ambientes urbanos.

Os resultados evidenciaram também a crescente utilização de ferramentas e APIs externas, como OR-Tools, OpenStreetMap e Open Source Routing Machine, que facilitam a implementação de soluções práticas sem a necessidade de reimplementação dos algoritmos.

Esta revisão forneceu subsídios importantes para o desenvolvimento do presente trabalho, orientando tanto a escolha da abordagem metodológica quanto a seleção de técnicas de otimização adequadas ao problema proposto. A análise comparativa dos algoritmos identificados na literatura servirá como referencial para a avaliação da solução desenvolvida, permitindo posicionar a contribuição desta pesquisa no cenário científico atual da área de cidades inteligentes.

e otimização de rotas para gestão pública.

## 4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os passos realizados durante o desenvolvimento da metodologia adotada neste trabalho, como: a revisão sistemática da literatura; a obtenção das instâncias do problema; os algoritmos desenvolvidos; e os resultados obtidos.

### 4.1 Contextualização

Este trabalho aborda o problema de otimização de rotas para visitação de ativos públicos municipais no contexto da zeladoria urbana, enquadrando-se como uma aplicação prática do Problema do Caixeiro Viajante (*TSP*). O cenário típico envolve equipes de manutenção que necessitam visitar diversos pontos de interesse distribuídos geograficamente pela cidade, como luminárias públicas, equipamentos urbanos, praças e demais ativos municipais que demandam inspeção ou manutenção periódica.

A relevância do problema justifica-se pela necessidade de otimizar recursos públicos limitados, reduzir custos operacionais com combustível e deslocamento, diminuir o tempo de execução das rotas e aumentar a eficiência dos serviços prestados à população. Em municípios de pequeno e médio porte, onde as restrições orçamentárias são mais severas, a otimização das rotas de zeladoria pode representar ganhos significativos na gestão pública.

A metodologia adotada neste trabalho segue uma abordagem experimental e comparativa, envolvendo as seguintes etapas principais: (i) revisão sistemática da literatura para identificação do estado da arte em otimização de rotas urbanas; (ii) coleta e estruturação de dados reais de ativos públicos municipais; (iii) modelagem formal do problema; (iv) seleção e implementação de algoritmos heurísticos de busca; (v) definição de métricas de avaliação; (vi) execução de experimentos computacionais; e (vii) análise comparativa dos resultados obtidos.

A escolha por métodos heurísticos justifica-se pela natureza NP-difícil do *TSP*, que torna inviável a obtenção de soluções ótimas em tempo razoável para instâncias de grande porte através de métodos exatos. As heurísticas e meta-heurísticas permitem encontrar soluções de boa qualidade em tempo computacional aceitável, atendendo às necessidades práticas da gestão pública municipal.

## 4.2 Revisão da Literatura

O primeiro passo realizado no desenvolvimento da metodologia deste trabalho foi a Revisão Sistemática da Literatura, seguindo o protocolo de Kitchenham *et al.* (2009), com o intuito de identificar os principais trabalhos que abordam o problema de otimização de rotas para gestão de ativos públicos e aplicações do *TSP* em contextos urbanos. A descrição detalhada das três etapas realizadas durante a revisão (Planejamento, Condução e Resultados) pode ser observada no Capítulo 3.

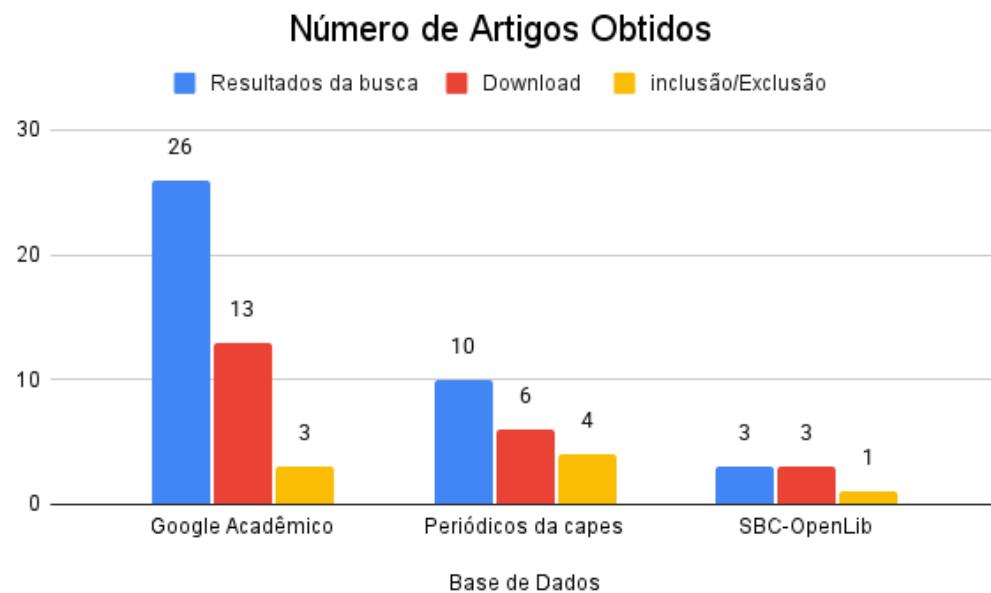
Inicialmente, ao realizar a busca dos artigos nas bases de dados (Google Acadêmico, Periódicos da CAPES e SBC-OpenLib) foram encontrados 39 trabalhos. Logo após, foi realizado o *download* desses artigos, em seguida os mesmos passaram pelos critérios de inclusão e exclusão, restando 8 trabalhos primários, conforme mostra a Figura 6. Entre os artigos resultantes, foi possível identificar os métodos de otimização mais utilizados, os principais algoritmos adotados (Algoritmos Genéticos, Colônia de Formigas, *GRASP*, Programação Linear), as estratégias metodológicas empregadas e as métricas de avaliação comumente utilizadas.

A análise dos trabalhos relacionados revelou que a maioria dos estudos adota algoritmos heurísticos e meta-heurísticos para resolução de problemas de roteamento em ambientes urbanos, dada a complexidade computacional de métodos exatos. Identificou-se também o uso crescente de ferramentas externas como OR-Tools, OpenStreetMap e Open Source Routing Machine para implementação prática de soluções. Desta forma, foi possível obter uma visão geral do estado da arte em otimização de rotas urbanas e identificar lacunas que este trabalho busca preencher, particularmente quanto à aplicação específica em zeladoria pública municipal com dados reais de ativos urbanos.

## 4.3 Obtenção das Instâncias

## 4.4 Definição dos Algoritmos

Figura 6 – Quantidade de artigos obtidos após a pesquisa nas Bases de Dados, o Download e aplicação dos Critérios de Inclusão e Exclusão.



Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

## REFERÊNCIAS

- BARTH, M. J. **Otimização multi-nível para projeto de redes híbridas (ópticas e sem fio) para implementação de cidades inteligentes.** Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, São Leopoldo - RS, Brasil, 2016. Orientador: José Vicente Canto dos Santos.
- BOTELHO, P.; BORGES, A.; ALVES, G. Proposta de implantação de um sistema ciberfísico para um smart parking baseado em agentes inteligentes. In: **Anais do XIII Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações.** Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2019. p. 259–264. ISSN 2326-5434. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/wesaac/article/view/33361>>.
- CARVALHO, M. D. S. d. **Smart cities: uso de sensores e dados secundários para cidades inteligentes centradas no cidadão.** Dissertação (Mestrado) — Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, Brasil, 2024.
- CASTRO, L.; MANOEL, F.; JESUS, V.; PANTOJA, C.; BORGES, A.; ALVES, G. Integrando sistemas multi-agentes embarcados, simulação urbana e aplicações de iot. In: **Anais do XIV Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações.** Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2020. p. 165–176. ISSN 2326-5434. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/wesaac/article/view/33389>>.
- CHAVES, A. A.; BIAJOLI, F. L.; MINE, O. M.; SOUZA, M. J. F. Metaheurísticas híbridas para resolução do problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios. **Produção**, ABEPROM, Brasil, v. 17, n. 2, p. 263–272, 2007.
- CORMEN, T. H.; LEISERSON, C. E.; RIVEST, R. L.; STEIN, C. **Algoritmos: teoria e prática.** 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- COSTA, I. S. Bacharelado em Engenharia Urbana, **Proposição de elementos para uso de sistemas inteligentes de transportes para potencialização de intervenções estruturantes no sistema viário de cidades de médio porte: uma proposta para o novo anel viário de Bom Despacho-MG.** Ouro Preto - MG, Brasil: [s.n.], 2023.
- DIAS, C.; LOPES, F.; LEITE, J. Smartnode dashboard: um framework front-end baseado em node-red para criação de city dashboards. In: **Anais do II Workshop Brasileiro de Cidades Inteligentes.** Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2019. ISSN 0000-0000. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/wbci/article/view/6744>>.
- GEORGES, M. R. R. Rotas solidárias: um estudo das rotas de coleta de materiais recicláveis numa cooperativa popular de coleta e seleção de recicláveis. **Revista Gestão Industrial**, UTFPR, Ponta Grossa - PR, Brasil, v. 10, n. 1, p. 1–21, 2014.
- KITCHENHAM, B.; BRERETON, O. P.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; BAILEY, J.; LINKMAN, S. Systematic literature reviews in software engineering – a systematic literature review. **Information and Software Technology**, v. 51, n. 1, p. 7–15, 2009. ISSN 0950-5849. Special Section - Most Cited Articles in 2002 and Regular Research Papers. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584908001390>>.
- MELONIO, A. C. C. **Smart São Paulo: um estudo da mobilidade urbana sob a ótica de Machine Learning e aspectos espaço-temporais.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2021.

OLIVEIRA, V. A. T. **Gestão de operações de serviços de emergência no contexto de cidades inteligentes e sustentáveis: o caso da Polícia Militar do Paraná.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

PAZ, F. A. **Planejamento de Rotas Veiculares e Otimização de Mobilidade Urbana Utilizando Algoritmo Bioinspirado e Paralelo.** Dissertação (Proposta de Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE, Brasil, 2023. Orientador: Rubens de Souza Matos Júnior; Coorientador: Ricardo José Paiva de Britto Salgueiro.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Inteligência artificial.** 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Tradução de: Artificial intelligence, 3rd ed. ISBN 978-85-352-3701-6.

SANTIAGO, T. E. T. **Cidades inteligentes, gestão urbana e geotecnologias: proposta de city information modeling (CIM) aplicado ao Município de Madre de Deus-BA.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Católica do Salvador (UCSal), 2023.

SANTOS, L.; NASCIMENTO, L.; NUNES, S. Reclamando app: um aplicativo para auxiliar na reivindicação de problemáticas urbanas. In: **Anais da XIX Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe.** Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2019. p. 184–189. ISSN 0000-0000. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/erbase/article/view/8976>>.

SATI, T. N.; SCARPIN, C. T.; JUNIOR, J. E. P.; LOPES, R. M. Z. Diferentes formulações de programação linear inteira para a roteirização no transporte de funcionários. **Produção**, UFPR, Curitiba - PR, Brasil, v. 17, n. 2, p. 263–272, 2020.

SILVA, A. R. Villela da; OCHI, L. S. Um algoritmo evolutivo para o problema do caixeiro alugador. In: **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics.** Gramado - RS, Brasil: SBMAC, 2017. v. 5, n. 1, p. 460–467.

SILVA, E. C. d.; LIMA, D. R.; SANTOS, L. C. d.; SILVA, F. D. V. d. Uso da ferramenta or-tools na geração de rotas otimizadas em agência dos correios utilizando algoritmos para o problema do caixeiro viajante. In: **Anais de evento acadêmico (IFCE - Campus Aracati).** Aracati - CE, Brasil: [s.n.], 2022.

SILVA, M. d. O. Bacharelado em Engenharia de Produção, **Desenvolvimento de uma aplicação gráfica para resolução de problemas de roteamento de veículos.** João Pessoa - PB, Brasil: [s.n.], 2024. Orientador: Luciano Carlos Azevedo da Costa.

STORCK, C.; SALES, E.; ZÁRATE, L.; FIGUEIREDO, F. Proposta de um framework baseado em mineração de dados para redes 5g. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação**, v. 16, 2017. ISSN 1677-3071. Disponível em: <<https://www.periodicosibepes.org.br/index.php/reinfo/article/view/2488>>.

WEISS, M. C.; BERNARDES, R. C.; CONSONI, F. L. Cidades inteligentes como nova prática para o gerenciamento dos serviços e infraestruturas urbanas: a experiência da cidade de porto alegre. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, SciELO Brasil, v. 7, p. 310–324, 2015.