

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**TÚLIO FREITAS ASSUNÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS PARA TRANSPORTES DE RESÍDUOS DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA – MG**

**UBERLÂNDIA/MG**

**ABRIL/2023**

**TÚLIO FREITAS ASSUNÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS PARA TRANSPORTES DE RESÍDUOS  
DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA**

**Projeto de pesquisa apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso na Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) na Universidade Federal de Uberlândia (UFU).**

**Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Raquel Naiara Fernandes Silva**

**UBERLÂNDIA/MG**

**ABRIL/2023**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TÚLIO FREITAS ASSUNÇÃO

OTIMIZAÇÃO DE ROTAS PARA TRANSPORTES DE RESÍDUOS DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA – MG

Projeto de pesquisa apresentado na disciplina  
de Trabalho de Conclusão de Curso na  
Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) na  
Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raquel Naiara Fernandes Silva – Orientadora

---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Castilho de Castro – Avaliadora

---

Técnico Mestre Bruno de Oliveira Lázaro – Avaliador

## RESUMO

O setor da construção civil é responsável pela geração de uma grande quantidade de resíduos de construção civil (RCC's). Esses resíduos provenientes de construções, reparos, reformas, preparação e escavação de terrenos provocam um grande impacto ambiental e social quando não descartados corretamente. Tais resíduos são separados em classes, de acordo com o seu grau de impacto e contaminação. De acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002 os resíduos que são reutilizáveis ou recicláveis como agregados (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa, concreto) são classificados como Classe A. A otimização de rotas traz vários benefícios para as empresas executoras/ contratante e seus processos logísticos. A principal delas é a economia, pois o planejamento define a rota otimizada que será percorrida. O objetivo da pesquisa em questão foi a otimização das rotas de transporte de RCC pela empresa denominada “Coletora X” no município de Uberlândia – MG, afim de aumentar o faturamento da mesma. Concluiu-se que o método e as ferramentas utilizadas nessa pesquisa contribuíram positivamente para o resultado final, uma vez que apresentou aumento de faturamento de pelo menos R\$ 72000,00 mensais para a empresa responsável pelo transporte dos resíduos.

**Palavras-chave:** *Resíduos sólidos, Resíduos de construção civil, Otimização de Rotas, Sistema de Informações Geográficas, Problema do Caixeiro Viajante, QGis, ORSTools, Uberlândia.*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	6
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	7
<b>1.1.1 Objetivo geral</b> .....	7
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	8
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	9
<b>2.1 Resíduos sólidos</b> .....	9
<b>2.2 Programa de gerenciamento de resíduos sólidos</b> .....	11
<b>2.3 Legislação de resíduos do município de Uberlândia</b> .....	15
<b>2.4 Logística de transporte</b> .....	17
<b>2.5 Problema do Caixeiro Viajante (PCV)</b> .....	18
<b>2.6 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)</b> .....	19
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	21
<b>3.1 Área de estudo</b> .....	22
<b>3.2 Informações coletadas</b> .....	22
<b>3.3 Ferramentas utilizadas</b> .....	23
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	25
<b>4.1 Matriz Tempo-Distância</b> .....	25
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	37
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	39

## 1 INTRODUÇÃO

O século XX foi marcado por diversos momentos que impulsionaram a industrialização e promoveram o êxodo rural. No Brasil, os movimentos migratórios da população rural para os centros urbanos iniciaram na década de 50 e, a partir de então, o campo vem sofrendo um declínio populacional. A sociedade optou por ter residência nos centros urbanos, principalmente nas décadas de 70 e 80, devido a oferta de melhores ganhos e possibilidade de uma vida com mais oportunidades (CAMARANO, ABRAMOWAY, 1999).

Com o crescimento demográfico sem freio, nota-se um crescimento do setor de construção civil. Isto porque, ao ter um elevado número de pessoas migrando para as zonas urbanas, é necessário prover moradias e estabelecimentos comerciais, desta forma, este ramo teve suas atividades intensificadas (GONÇALVES, 2011). Por outro lado, a construção é algo que causa impacto socioeconômico e ambiental, e este nem sempre é positivo, visto que é responsável pela produção de uma grande quantidade de resíduos.

Blumenschein (2004) afirma que há um grande efeito causado pela cadeia de produção das construções sobre o meio ambiente, desde seu estágio inicial, na ocupação de terras, até o estágio final, no descarte dos resíduos gerados. Karpinsk (2009) ressalta que os resíduos de construção civil (RCC) são de baixa periculosidade, porém o volume produzido é elevado, o que pode trazer consequências negativas para a sociedade e ao meio ambiente.

Porto e Silva (2008) complementam que os resíduos de construção civil são um grande grupo heterogêneo. Isto porque, durante o período de obra, há uma quantidade de materiais que não são utilizados, seja por defeito vindo de fábrica, quanto a quantidade pedida ser em excesso, má qualidade do material entregue, manejo inadequado dos materiais (LIMA; LIMA, 2009). Associado a isto, ainda temos as intercorrências e má projeção de obra e plano de execução, que conseqüentemente geram alterações no projeto inicial à medida que a obra evolui, resultando em uma elevação no número de resíduos descartados (PORTO; SILVA, 2008).

É comum haver dificuldades no alinhamento do processo de construção com o desenvolvimento sustentável do ambiente, pois apesar de seus benefícios para a sociedade, tem grande responsabilidade com a utilização dos recursos ambientais e a devolução dos resíduos para o mesmo (NOBERTO et al., 2021). Segundo Valença

(2008), o manejo inadequado dos RCCs causa uma série de impactos negativos, como a degradação ambiental, danificando os sistemas de drenagem, poluindo corpos hídricos e compromete a paisagem urbana, causando poluição visual.

A Associação de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE), em panorama divulgado em 2021, ressalta que no ano de 2020, foram coletados em todo o Brasil cerca de 47 milhões de resíduos de construção civil. A região Sudeste é que mais produz resíduos, sendo responsável por 52% do total coletado no país, sendo 24,5 milhões de toneladas em apenas um ano (ABRELPE, 2021).

Diante de números tão expressivos, entende-se que um dos desafios da engenharia civil está relacionado aos resíduos gerados em obras. O gerenciamento de RCCs começa com profissionais capacitados para promover uma obra com maior eficiência, evitando gastos desnecessários de materiais e custos operacionais. Em seguida, viabilizar rotas para as coletas de resíduos é uma estratégia para reduzir o impacto financeiro causado pelo mesmo, pois, segundo Monteiro et al. (2001), até a disposição final dos RCCs, pode ocorrer o comprometimento de 50% do orçamento para limpeza urbana do município.

Sendo assim, com uma rota eficiente, há redução no tempo de percurso, menor distância percorrida e com menos veículos em trânsito, além da otimização das rotas de transporte, afim de evitar maior tempo em circulação, promovendo a redução dos custos (BORGES, 2021). Desta forma, este estudo tem como objetivo compreender sobre o descarte correto dos resíduos gerados em uma construção civil e buscar por formas de otimizar as rotas de transporte dos resíduos gerados em algumas obras na cidade de Uberlândia – Minas Gerais.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O objetivo principal do presente trabalho é analisar o descarte correto dos RCCs a partir da otimização de rotas para os veículos que os transportam, no município de Uberlândia, localizado no estado de Minas Gerais.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Definir a área de estudo (ponto inicial, de parada e final);
- Levantar dados a respeito da coleta dos RCC's;
- Determinar a rota otimizada para coleta e transporte dos resíduos, através do uso de SIG;
- Definir um método para otimizar a rota dos caminhões (caixeiro viajante);
- Realizar comparações entre os cenários da rota atual e otimizada;
- Analisar as rotas propostas pelo *software* relacionando-as com os custos de coleta.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Resíduos sólidos

Um dos grandes problemas enfrentados nos dias recentes é a crescente geração de resíduos sólidos, que são provenientes de diferentes frentes, como a produção industrial, atividades domésticas, comércio, saúde e afins. Toda a movimentação causada entre a sociedade e o meio ambiente gera atrito e promove a criação de resquícios, que causam prejuízos (LOURENÇO et al., 2016).

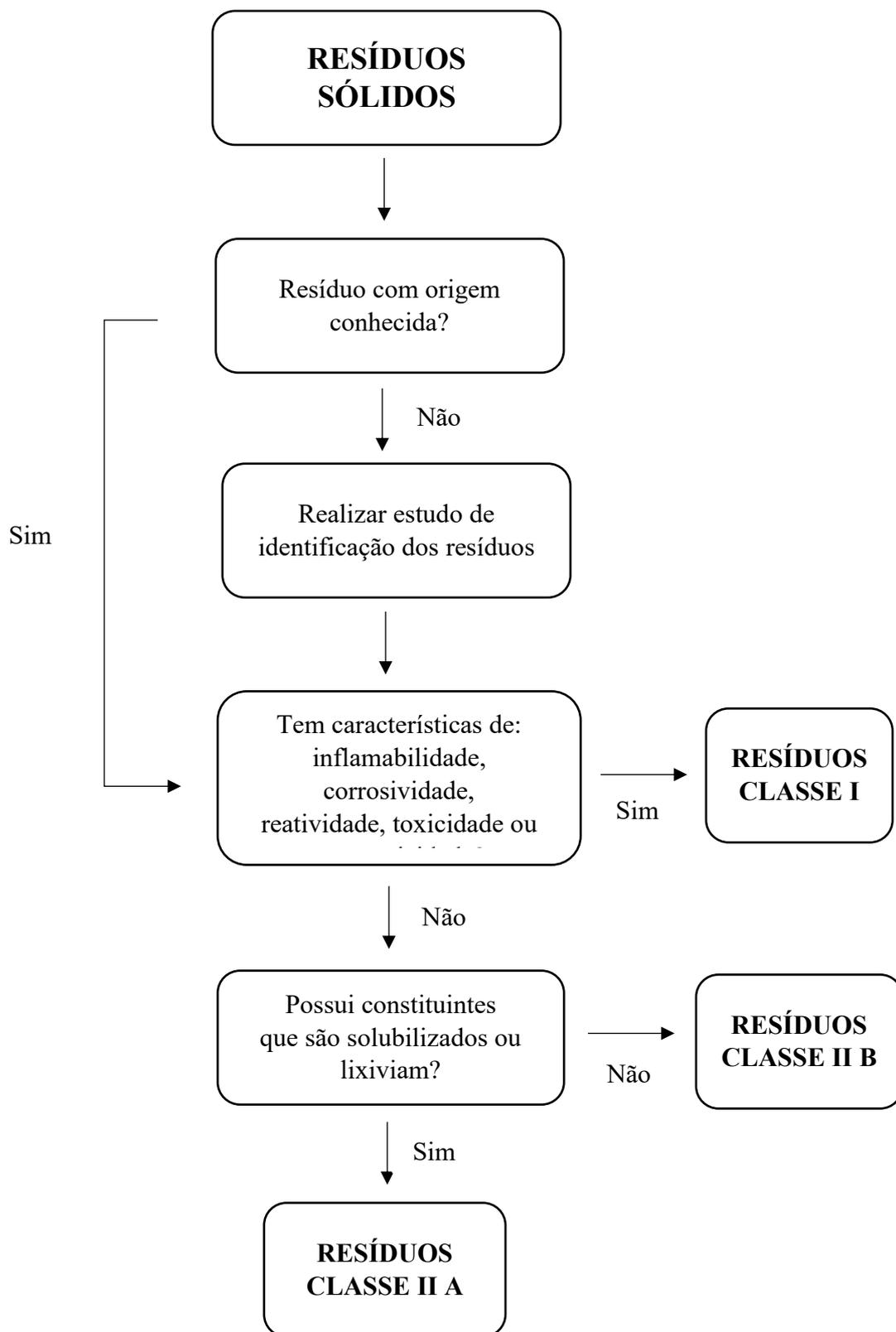
A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305, define resíduos sólidos como:

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.” (BRASIL, 2010, p. 3).

A definição é ampla e visando uma melhor forma de classifica-los, foram divididos em três categorias. A Classe I, conhecida como resíduos perigosos, aqueles que tem características inflamáveis, corrosivas, reativas e tóxicas, podendo ser responsáveis por um aumento da mortalidade ou indução de diversas doenças. A Classe II A, com resíduos não inertes, englobam o grupo que não faz oferecem perigo direto, como na Classe I, porém não são inofensivos. Estes possuem características de combustão, biodegradação e solubilidade em água, afetando a sociedade e ao meio ambiente. A Classe II B é a de resíduos inertes, que são aqueles resíduos submetidos ao teste de solubilidade e a amostragem de resíduos, não apresentam solubilização em padrões superiores ao da potabilidade da água (BRASIL, 2010).

Para a classificação dos resíduos sólidos, há um processo de identificação, e esta é totalmente necessária para compreender os potenciais riscos que oferecem a saúde e ao meio ambiente. Na Figura 1, é possível visualizar as etapas necessárias para concluir a qual classe este é pertencente.

Figura 1 - Caracterização da classificação de resíduos sólidos.



Fonte: Adaptado de Brasil (2010, p. 6).

## **2.2 Programa de gerenciamento de resíduos sólidos**

Os resíduos sólidos gerados dependem de uma série de fatores para serem gerenciados e gerenciados, como a forma de geração, a fonte geradora, a forma de coleta, processamento, recuperação, transporte e o destino final. Os efeitos adversos provenientes destes são inúmeros, portanto, torna-se imprescindível a criação de um sistema que sejam capazes de certificar a segurança de todos e o tratamento correto para descarte dos restos.

Leme (1984) ressalta que um planejamento adequado para os resíduos envolve uma multidisciplinaridade de áreas, como a engenharia, economia, serviços sociais, mas que, quando trabalhados em conjunto, promovem benefícios para a sociedade. Em outra ótica, Oliveira et al. (2014) mostram em seu estudo que as projeções indicam que, até 2050, cerca de 90% da população ocupará os centros urbanos, elevando o número de resíduos gerados e tornando extremamente desafiador a gestão dos mesmos. Portanto, instituir uma forma eficaz de gestão é indispensável, para garantir que haja uma sociedade sustentável e os danos ao meio ambiente sejam mínimos e, em determinados casos, reversíveis (SEADON, 2010).

No Brasil, confirmando a importância do assunto e buscando uma maior mobilização da sociedade, criou-se legislações específicas para o tema de resíduos. Um dos grandes marcos é a Norma Brasileira 10.004, da Associação brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com objetivo de fornecer auxílio no gerenciamento dos resíduos, prestando informações sobre os aspectos biológicos, físicos e químicos, além dos principais danos ambientais causados na forma de descarte dos resíduos sólidos. Entre a década de 2000 a 2010 surgiram algumas regulamentações que dispõem sobre resíduos sólidos no que tange ao tratamento, incineração e afins.

Nota-se que as grandes mudanças com foco em processos gerenciais tiveram início em 2010. Neste ano, a Lei nº 12.305 e o Decreto nº 7.404, instituíram a Política Nacional de Resíduos Sólidos e algumas modificações, trabalhando em consonância para que, tanto pessoas quanto empresas, sejam responsáveis pela geração dos seus resíduos sólidos e tenham responsabilidade com a gestão dos mesmos.

Esta política tem como princípios proporcionar uma visão sistêmica que considere diferentes frentes, como as variáveis ambiental, social, tecnológica e de saúde pública, visando prevenção e precaução, o desenvolvimento sustentável, a responsabilidade pela vida útil dos produtos utilizados e a cooperação entre as esferas do poder público

(BRASIL, 2010). Frente à tamanha responsabilidade e importância de gerenciar os resíduos, há uma ordem de prioridade que deve ser seguida, sendo a principal diretriz do PGRS, sinalizando que é preciso buscar opções que viabilizem a não geração dos resíduos, e que, caso ocorra, devem buscar a redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final dos rejeitos, de forma adequada, respectivamente (BRASIL, 2010).

Com base na legislação vigente em 2010, institui-se o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS). Este é um documento jurídico, com uma série de especificidades, que buscam atestar que uma companhia ou empreendimento são capazes de se responsabilizar por todos os resíduos gerados a partir da execução de suas atividades, consonantemente com as normas ambientais atuais, comprovando as capacidades de gestão ambiental, sendo realizado por um profissional com devido conhecimento técnico.

Ao se ter um PGRS, fica proposto uma busca por reduzir a quantidade de resíduos produzidos todos os dias e garantir que aqueles que foram gerados, tenham tratamento e a destinação correta, garantindo a segurança social e ambiental. É importante relatar que, apesar de estar em evidência o cuidado com o meio ambiente e a saúde da fauna e flora, o plano traz benefícios para os empreendimentos. Ao se ter uma gestão que segue a prioridade das normas, com a não geração, redução e reciclagem, a quantidade de resíduos tende a ser menor, o que traz a redução de custos tanto com obra prima quanto com a destinação final dos mesmos. Por fim, há também uma redução do número de pessoal responsável por orquestrar esta demanda e com armazenamentos (DE MOURA FREITAS; DA SILVA, 2012; COELHO et al., 2018).

O processo de construção civil traz inúmeros impactos, para a sociedade e para o meio ambiente, sendo uma das atividades que mais gera resultados negativos para a natureza (FERNANDES, 2018). Todas as obras, independente de localização, projeto e profissionais executores, tem uma questão em comum: a geração de resíduos.

Com foco na construção civil, a Resolução nº 307, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), especifica quais são os resíduos de construção civil e demolição (RCD)

“são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.” (BRASIL, 2002, p. 1).

Segundo dados da ABRELPE (2014), a construção é responsável por gerar cerca de 122 toneladas de resíduos por dia, sendo que neste número, há uma série de itens, como tintas e solventes, que são prejudiciais à saúde, tijolos, concreto, telhas, entre outros objetos. A intensificação dos danos causados ao meio ambiente é de grande escala, e diante de números tão expressivos, torna-se necessário que haja uma gestão eficiente do que é gerado, de forma a preservar o meio ambiente e fazer a destinação correta, para que tenham o final adequado. Para isto, o primeiro passo é classificar os tipos de resíduos gerados, que estão no Quadro 1.

**Quadro 1 - Classificação dos resíduos de construção civil.**

<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>
Classe A	a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto produzidas nos canteiros de obras;
Classe B	são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
Classe C	são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
Classe D	são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Conama 357 (BRASIL, 2002).

Após compreender as classes dos RCCs, é necessário definir um plano para gerenciar tais resíduos. O planejamento é um desafio e exige profissionais capacitados cuidando desta área nos canteiros de obras, pois existem muitas possibilidades para reutilizar o que é produzido, buscar por formas de reciclagem, investir em formas de tratamento, causando impactos mínimos (COELHO et al., 2018). Toda a equipe que está envolvida na construção tem grande importância no gerenciamento, pois os canteiros de

obra têm diversos processos para garantir um trabalho final, além de cuidar da estocagem e destinação final de tudo que não tem mais utilidade (SILVA et al., 2015).

Mioto (2013) afirma que existem diversos motivos para que haja um número expressivo de RCC, mas principalmente a qualificação de mão de obra e as falhas nos métodos de transporte dos resíduos. Para solucionar o primeiro, é necessário que a equipe entenda sobre cada classe de resíduos, buscando seguir os princípios básicos do programa de gerenciamento, que visa a não geração e a reutilização, para que possam viabilizar um número menor de RCCs e, em um segundo momento, compreender a destinação de cada classe. De acordo com Lima e Lima (2009), ter entendimento da caracterização possibilita a identificação e quantificação dos resíduos, contribuindo para o planejamento correto, permitindo aplicar os 3 R, redução, reutilização e reciclagem, e facilitando a destinação final.

Com as informações dispostas na Tabelas 1, é possível reconhecer e fazer a triagem dos resíduos, permitindo a segregação correta de cada um, o que traz um impacto na destinação final. Os RCC devem ser segregados corretamente e posteriormente armazenados nos canteiros de obras, para que possam ser transportados para receber tratamento, por isto, o acondicionamento é uma etapa importante de todo o processo nos resíduos gerados nas obras, para garantir a não proliferação de vetores, odores e reduzir a poluição visual.

O transporte é uma das etapas dos resíduos de construção civil, que ocorre interna e externamente à obra. O que é gerado pode ser locomovido para estações de tratamento ou diretamente para os locais finais, desta forma, é imprescindível que a equipe tenha um conhecimento logístico e o aplique no processo de gestão de resíduos, evitando o acúmulo de RCCs, disponibilizando locais de armazenamento, e realizando todo o processo de forma segura para os trabalhadores da obra e a sociedade (MASSUKADO, 2004; DA SILVA et al., 2015).

Da Silva et al. (2015), se posiciona sobre os benefícios do tratamento de resíduos, pois muitos podem ser reinseridos na cadeia de produção, permitindo uma redução na compra de materiais, reduzindo o espaço de estocagem e permitindo ganhos ambientais com menor utilização dos recursos naturais. Sendo assim, a última etapa, que é de tratamento, impede o descarte dos rejeitos de forma incorreta, transformando-os em material inerte e inofensivos a sociedade e ao meio ambiente. Por fim, há uma disposição correta da ótica ambiental dos resíduos, que está descrito no Quadro 2.

**Quadro 2 - Destinação dos resíduos de construção civil.**

<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>
Classe A	Reutilização ou reciclagem na forma de agregados, ou encaminhados às áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe B	Reutilização/reciclagem ou encaminhamento às áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura
Classe C	Armazenamento, transporte e destinação final conforme normas técnicas específicas.
Classe D	Armazenamento, transporte, reutilização e destinação final conforme normas técnicas específicas.

Fonte: Resolução nº 307 (BRASIL, 2002).

### **2.3 Legislação de resíduos do município de Uberlândia**

A cidade de Uberlândia, localizada no estado de Minas Gerais, no Triângulo Mineiro, está desde a década de 90 buscando formas de cuidar dos RCC. Nestes anos, houve a criação da Lei Complementar nº 17, de 1991, que dispõe sobre a política de proteção, controle e conservação do meio ambiente e dá outras providências, e traz referências específicas para a construção civil. Em 1994, instituiu-se a Lei Complementar nº 078, conhecida como o Plano Diretor, que dispõe de estudos para a coleta e reciclagem dos resíduos sólidos e preparação dos locais, como os aterros sanitários, para receber todos os tipos de resíduos.

Segundo a Resolução nº 307, os municípios e o Distrito Federal foram encarregados de executar o plano de gerenciamento de resíduos de construção civil, de forma que o poder municipal se torna responsável por procurar formas de garantir o gerenciamento dos resíduos de obras (BRASIL, 2002).

Com isto, em 2009, instituiu-se a Lei nº 10.280, que institui o sistema municipal para a gestão sustentável de resíduos da construção civil e resíduos volumosos, visando a destinação adequada dos RCC gerados no município. Em seu segundo artigo, esta lei define sobre as ações e áreas integradas no sistema, que são:

“I - uma rede de centrais de entulho para pequenos volumes de resíduos da construção civil e resíduos volumosos, implantada em bacias de captação de resíduos;

II - sistema disque coleta de acesso telefônico a pequenos transportadores privados de resíduos da construção civil e resíduos volumosos;

III - uma rede de áreas para recepção de grandes volumes constituída por áreas de transbordo e triagem de resíduos - ATT, áreas de reciclagem e aterros de resíduos da construção civil ;

IV - ação de gestão integrada a ser desenvolvida pelo Núcleo Permanente de Gestão que garanta a unicidade das ações e exerça o papel gestor de competência do Poder Público Municipal;

V - ações para a informação e educação ambiental dos munícipes, dos transportadores de resíduos e das instituições sociais multiplicadoras, definidas em programa específico; e

VI - ações para o controle e fiscalização do conjunto de agentes envolvidos, definidas em programa específico.” (BRASIL, 2009, p.1).

A cidade possui áreas para a recepção dos volumes de resíduos gerados, em duas frentes, privadas e públicas. Os empreendimentos privados devem possuir licenças e serem regulamentados para oferecer o gerenciamento correto, com triagem, armazenamento e disposição final dos entulhos, enquanto as áreas públicas cuidam da parte de reciclagem, além dos aterros que recebem tais resíduos (BRASIL, 2009).

As empresas são obrigadas a desenvolver um plano de gerenciamento de resíduos, que sigam as legislações vigentes em âmbito federal e municipal, com condicionante para emissão do alvará de reforma e construção. O transporte é uma das etapas com grande importância na gestão dos resíduos de construção civil e, na cidade de Uberlândia, seus geradores são responsáveis por garantir a veiculação destes. Para isto, é obrigatório que as empresas do setor de construção utilizem os serviços de transporte licenciados pelo Poder Municipal.

Os responsáveis pelo transporte de RCC devem ser cadastrados no Núcleo Permanente de Gestão do município, e estes devem seguir algumas condutas, dispostas nos Artigos 16 e 17, como

“Art. 16 Aos transportadores ficam vedadas as seguintes condutas:

I - deixar de utilizar dispositivos de cobertura de carga em caçambas metálicas estacionárias ou outros equipamentos de coleta, durante o transporte dos resíduos;

II - sujar as vias públicas durante a carga ou transporte dos resíduos;

III - fazer o deslocamento de resíduos sem o respectivo Controle de Destinação e Transporte de Resíduos - CDTR;

IV - deixar de fornecer aos geradores atendidos e aos destinatários uma via do CDTR, nele indicando a correta destinação dada aos resíduos coletados;

V - transportar resíduos da construção civil e volumosos sem o devido licenciamento;

VI - utilizar irregularmente as áreas de destinação e os equipamentos de coleta.

Art. 17 Os transportadores que operem com caçambas metálicas estacionárias ou outros tipos de recipientes removidos por veículos automotores ficam obrigados a fornecer documento informativo simplificado de orientação aos usuários de seus equipamentos, com instruções sobre posicionamento da caçamba e volume a ser respeitado, tipos de resíduos admissíveis, prazo para preenchimento, proibição da utilização de transportadores não cadastrados, penalidades previstas em lei e outras instruções necessárias.” (BRASIL, 2009, p. 6).

## 2.4 Logística de transporte

Segundo relatos, a logística teve início na Segunda Guerra Mundial, viabilizando a movimentação de suprimentos dos centros para os locais em guerrilha (REZENDE et al., 2013). De acordo com Gomes e Ribeiro (2011), esta pode ser definida como “o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, a movimentação e o armazenamento de materiais, peças e produtos acabados”. Dias (2005) expõe o conceito de logística

“A logística é o processo de planejar, implementar e controlar, de forma eficiente e econômica o fluxo de suprimentos e produtos, a armazenagem e o fluxo de informações correspondentes a todo o sistema desde a origem ao destino final, objetivando o atendimento às necessidades dos clientes.” (DIAS, 2005, p. 35).

Pozo (2010) relata que o transporte é a atividade dentro da logística que tem maior importância, é essencial para que haja a movimentação das matérias primas e dos produtos, garantindo que haja uma cadeia de produção.

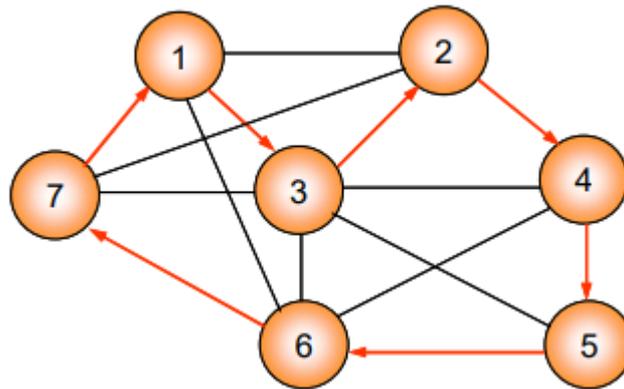
## 2.5 Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

Uma das aplicações mais conhecidas de otimização de rotas é o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), que consiste em definir a menor rota entre  $n$  pontos. De acordo com Zamboni (1997), a primeira vez que o termo “Problema do Caixeiro Viajante” foi utilizado nos meios matemáticos foi entre 1931 e 1932. Zamboni (1997) ainda cita que o primeiro artigo que propôs uma “Solução de Larga Escala para o Problema do Caixeiro Viajante” foi publicado por Dantzig, Fulkerson e Johnson em 1954, no *Jornal da Sociedade de Pesquisa Operacional da América*, podendo ser considerado um dos principais eventos da história da otimização combinatória.

A lógica do PCV é uma metodologia desenvolvida por William Rowan Hamilton, onde se busca encontrar o caminho hamiltoniano, definido como a rota mais curta para que um caixeiro possa atender a um grupo de cidades, partindo de um depósito, para visitar todas as cidades somente uma vez e retorna à cidade base (ARENALES et al., 2007). Ballou (2006) cita que o problema do caixeiro viajante consiste em traçar uma rota que retorne o menor percurso, partindo de um ponto, visitando todos os outros somente uma vez e retornando ao ponto de origem.

O PCV trata-se de um problema de fácil compreensão e descrição, contudo, de grande dificuldade de solução, uma vez que, pertence à categoria dos NP-difícil, ou seja, a sua dificuldade em solução aumenta exponencialmente quanto maior for o tamanho do problema (KARP, 1975). A Figura 2 representa um grafo Hamiltoniano, formado por vértices e arestas, onde as setas em vermelho representam o menor percurso percorrido pelo Caixeiro Viajante, passando uma única vez em cada vértice e retornando para o vértice inicial no fim do percurso.

Figura 2 - Roteiro Hamiltoniano.



Fonte: Benevides (2011)

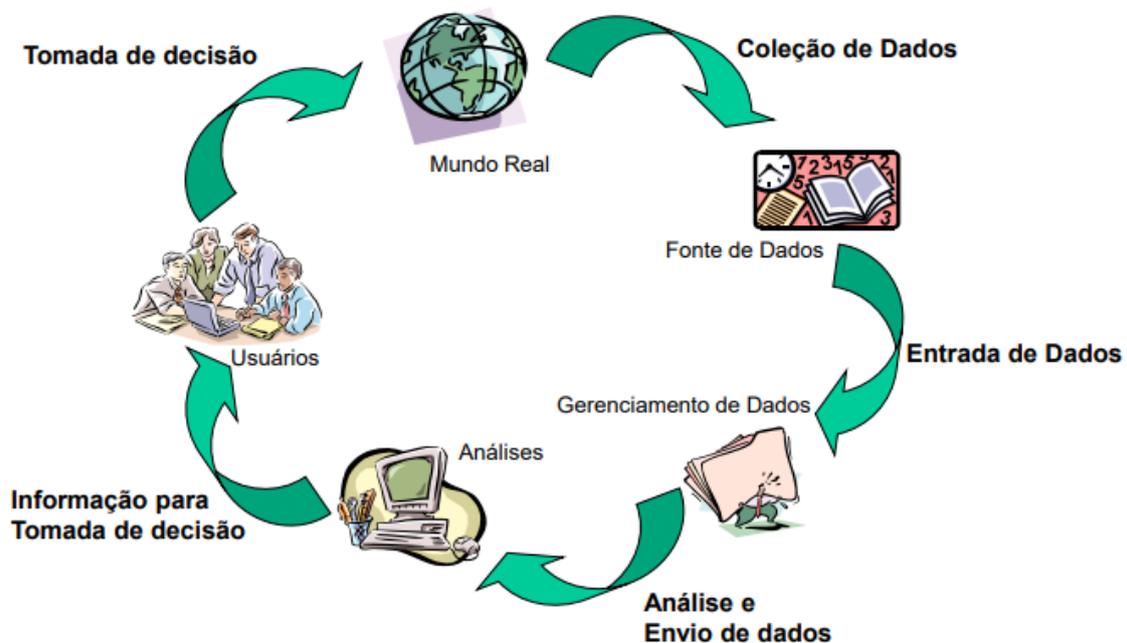
## 2.6 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas que realizam o tratamento de dados geográficos de forma computacional. Esses sistemas possuem uma ampla gama de aplicações e podem ser utilizados como ferramenta para produção de mapas, suporte para análise espacial de fenômenos ocorridos, banco de dados geográficos, entre outros. Devido a sua ampla gama de informações, o SIG é muito utilizado nas áreas da agricultura, cartografia, cadastro urbano, concessionárias de água, energia e telefonia, tal como por empresas para melhor atendimento ao cliente e participação no mercado.

Os SIGs permitem a análise espacial dos dados, possibilitando a identificação de padrões e tendências geográficas, a realização de simulações e modelagens espaciais, e a criação de mapas temáticos para a tomada de decisões. Há várias definições para o termo, como a de Aronoff (1989) que diz ser um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georeferenciados, e para Burrough (1996), um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real. Na visão de Cowen (1988), este é um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas, e para Smith et al. (1987), um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais.

Segundo Câmara (2014), as principais características de SIG's são integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélites, redes e modelos numéricos de terreno e oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise e para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados. O autor ainda cita que os componentes de um SIG são a interface com usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem e armazenamento e recuperação de dados. A figura 3 representa o ciclo SIG com os componentes citados anteriormente.

Figura 3 - Ciclo SIG.



Fonte: Souza (2017).

Na área de transportes o SIG é de extrema importância no controle de tráfego, na otimização de rotas e nas situações que se encontram as rodovias e ferrovias. Os aplicativos Waze e GoogleMaps são exemplos de SIG's muito utilizados no mundo inteiro. Por fim, entende-se que o SIG é uma ferramenta que integra diversas combinações de informações em uma única base de dados e auxilia o usuário em diferentes tomadas de decisões.

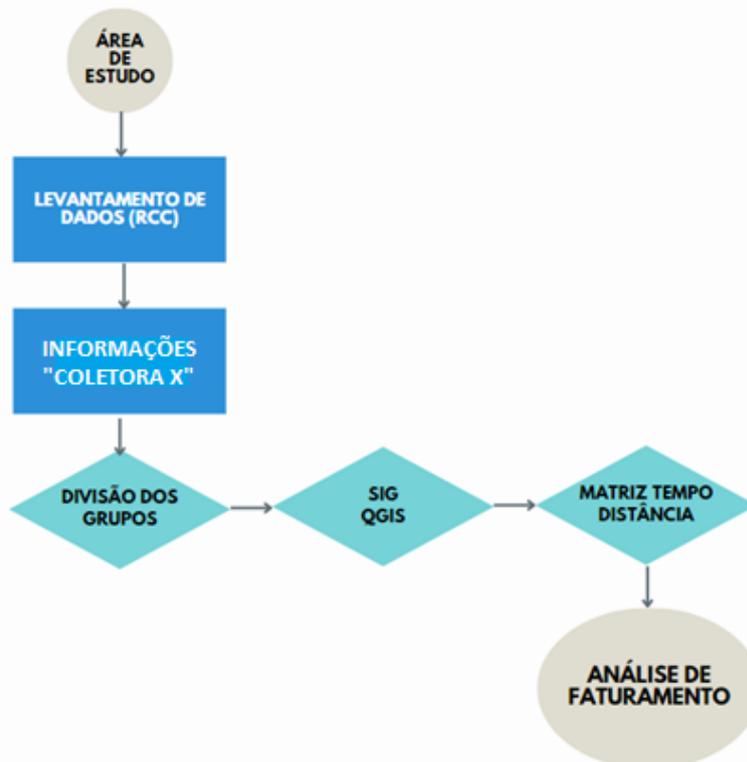
### 3 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa foi composta pela escolha dos pontos de estudo, sendo eles, a empresa responsável pela coleta dos resíduos, denominada “Coletora X”, as obras atendidas por ela e o aterro sanitário onde ocorre o descarte dos RCC’s. Ambas as empresas estão localizadas no município de Uberlândia – MG.

A “Coletora X” é uma empresa que foi fundada em 1992 por um mestre de obras, que iniciou as atividades com apenas um caminhão basculante. Atualmente a empresa que possui 9 caminhões e aproximadamente 400 caçambas é responsável por grande parte da coleta de resíduos no município de Uberlândia. Além dos nove motoristas, a empresa conta ainda com um gerente de logística, um gerente de frota, um operador de pá carregadeira e duas funcionárias de serviços gerais.

A partir dos dados coletados, utilizou-se o *software* gratuito QGIS, afim de otimizar as rotas das coletas e apresentar os resultados, gerando uma melhora na gestão da logística da empresa. As etapas da pesquisa podem ser vistas na Figura 4.

Figura 4 - Etapas da Pesquisa.

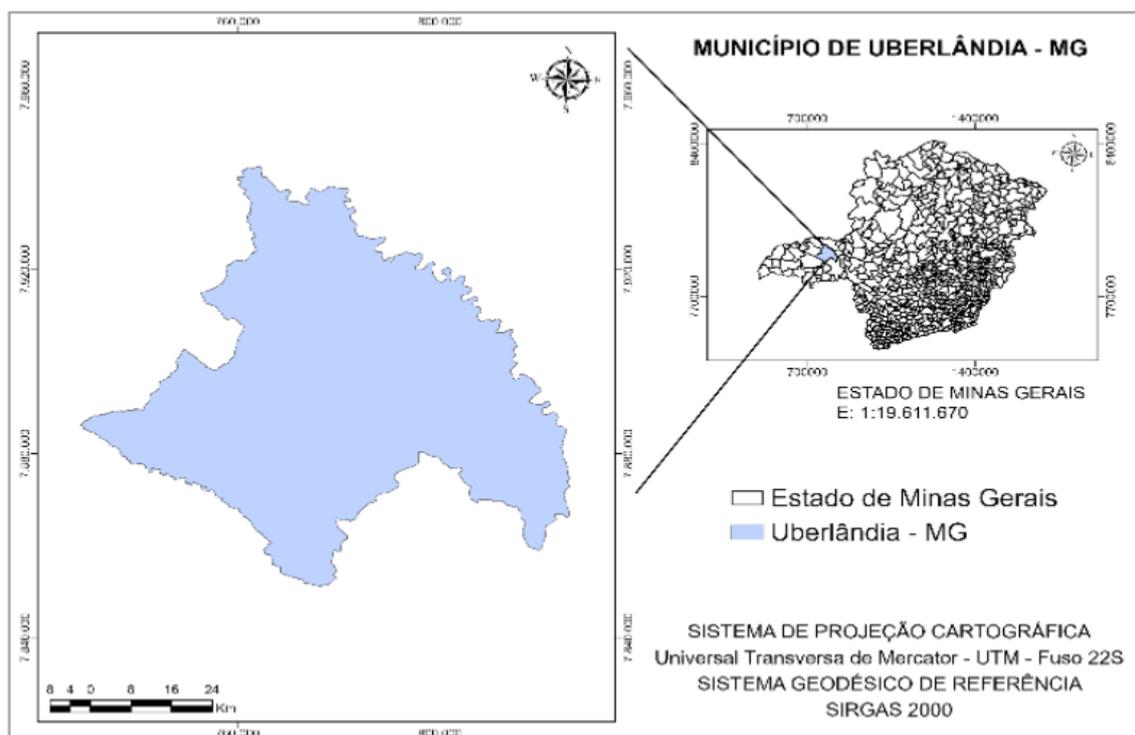


Fonte: Autoria própria (2023).

### 3.1 Área de estudo

O município de Uberlândia está situado na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais, limitado pelo sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) 7906752,608m e 788392,778m, com altitude de 843m, posicionado no fuso 22S, representado pela Figura 5.

Figura 5 - Localização do município de Uberlândia – MG.



Fonte: Amaral (2021).

Para melhor acompanhamento das coletas e inserção dos dados no *software* QGis, coletou-se algumas informações com o Gerente de Logística da “Coletora X”.

### 3.2 Informações coletadas

No dia 21 de Junho de 2022, houve uma visita na sede da empresa denominada “Coletora X”, onde o Gerente de Logística apresentou a empresa e respondeu a algumas perguntas, fornecendo assim informações importantes para o desenvolvimento da pesquisa. A partir dessa visita obteve-se a localização das 15 principais obras atendidas pela empresa que são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Localização das obras atendidas.

	EMPRESA	OBRA	BAIRRO	ENDEREÇO
1	M.R.V ENGENHARIA	UNIVERDI	SHOPPING PARK	AV. DOUTOR MUNIR ABDALA, S/N
2	HLTS ENGENHARIA E CONST LTDA	VILA REAL	SHOPPING PARK	RUA MARIO FARIA, 1528
3	REGIONAL VITTA	ORIGON	SHOPPING PARK	AV. ANA CAROLINA MACHADO, 101
4	UDI BILD	DOMUN	JARDIM SUL	AV. PASTOR POMPEO ZANATA, 10
5	UDI BILD	AUTEN	JARDIM SUL	AV. LANDSCAPE, 2295
6	BRASAL INCORPORAÇÕES	INC 23 - CHESS	JARDIM SUL	AL. PASTOR JOSE DOMINGOS DE OLIVEIRA, 90
7	REGIONAL VITTA	MIRANTE DOS VENTOS	GRAN VILLE	RUA CIANO, 385
8	REGIONAL VITTA	MIRANTE DAS BRISAS	GRAN VILLE	RUA CIANO, 185
9	INTER CONSTRUTORA	PARK MARTINS	MARTINS	RUA FELIPE JOAO, S/N
10	CONEL CONSTRUTORA LTDA	CONDOMÍNIO LIBERDADE	PATRIMÔNIO	AV. LIBERDADE, 1302
11	INTER CONSTRUTORA	PARK KARAIBA	JD BOTÂNICO	AV. VEREADOR CARLITO CORDEIRO, S/N
12	CONEL CONSTRUTORA LTDA	ZONA SUL HOTEIS	GAVEA	AV. PAULO GRACINDO, 15
13	CONEL CONSTRUTORA LTDA	OBRA MARTINS	DISTRITO INDUSTRIAL	AV. JOSE ANDRAUS GASSANI, 5400
14	M.R.V ENGENHARIA	TOP LIFE ACAPULCO	CHACARAS TUBALINA	RUA ORIXAS, 500
15	MOR CONSTRUTORA	LOT. MANSOUR III	MANSOUR III	RUA MARCILIA FRANCISCA DE OLIVEIRA, S/N

Fonte: A autoria própria (2023).

De acordo com o responsável da empresa cada caminhão caçamba consegue atender no máximo três obras por rota. Existem alguns softwares pagos que se consegue inserir esse fator limitante, porém o QGis não é um deles. Como o objetivo do trabalho é planejar rotas sem gerar custos à empresa, tomou-se como opção a divisão das obras atendidas. Com isso, para esta pesquisa foram criados cinco grupos com três obras em cada grupo e sua divisão pode ser analisada no **Quadro 4**. Essa divisão levou em consideração a proximidade de cada obra dentro do grupo.

Quadro 3 - Divisão das obras em grupos.

	EMPRESA	OBRA	BAIRRO	ENDEREÇO
GRUPO 01	M.R.V ENGENHARIA	UNIVERDI	SHOPPING PARK	AV. DOUTOR MUNIR ABDALA, S/N
	HLTS ENGENHARIA E CONST LTDA	VILA REAL	SHOPPING PARK	RUA MÁRCIO TOSTÃO, 106
	REGIONAL VITTA	ORIGON	SHOPPING PARK	RUA DO FERROVIÁRIO, 45
GRUPO 02	UDI BILD	DOMUN	JARDIM SUL	AL. PASTOR POMPEO ZANATA, 10
	UDI BILD	AUTEN	JARDIM SUL	AV. LANDSCAPE, 2295
	BRASAL INCORPORAÇÕES	INC 23 - CHESS	JARDIM SUL	AL. PASTOR JOSE DOMINGOS DE OLIVEIRA, 90
GRUPO 03	REGIONAL VITTA	MIRANTE DOS VENTOS	GRAN VILLE	RUA CIANO, 385
	REGIONAL VITTA	MIRANTE DAS BRISAS	GRAN VILLE	RUA CIANO, 185
	CONEL CONSTRUTORA LTDA	OBRA MARTINS	DISTRITO INDUSTRIAL	AV. JOSE ANDRAUS GASSANI, 5400
GRUPO 04	INTER CONSTRUTORA	PARK MARTINS	MARTINS	RUA FELIPE JOAO, S/N
	CONEL CONSTRUTORA LTDA	CONDOMÍNIO LIBERDADE	PATRIMÔNIO	AV. LIBERDADE, 1302
	M.R.V ENGENHARIA	TOP LIFE ACAPULCO	CHACARAS TUBALINA	RUA ORIXAS, 500
GRUPO 05	INTER CONSTRUTORA	PARK KARAIBA	JD BOTÂNICO	AV. VEREADOR CARLITO CORDEIRO, S/N
	CONEL CONSTRUTORA LTDA	ZONA SUL HOTEIS	GAVEA	AV. PAULO GRACINDO, 15
	MOR CONSTRUTORA	LOT. MANSOUR III	MANSOUR III	RUA MARCILIA FRANCISCA DE OLIVEIRA, S/N

Fonte: A autoria própria (2023).

### 3.3 Ferramentas utilizadas

Como ferramenta de auxílio para este trabalho, foi utilizado o *software* QGis 3.28.1, que de acordo com a Licença Pública Geral GNU é um SIG de Código Aberto Licenciado. Ele funciona em vários sistemas operacionais, suportando inúmeros formatos de vetores, bases de dados e funcionalidades.

Existem diversos plugins dentro do QGis para diferentes atividades. Nesse trabalho em questão foram utilizados dois plugins. Inicialmente utilizou-se o OpenStreetMap, que é uma ferramenta que cria um mapa editável do mundo inteiro, possibilitando assim a inserção dos pontos de estudo para análise.

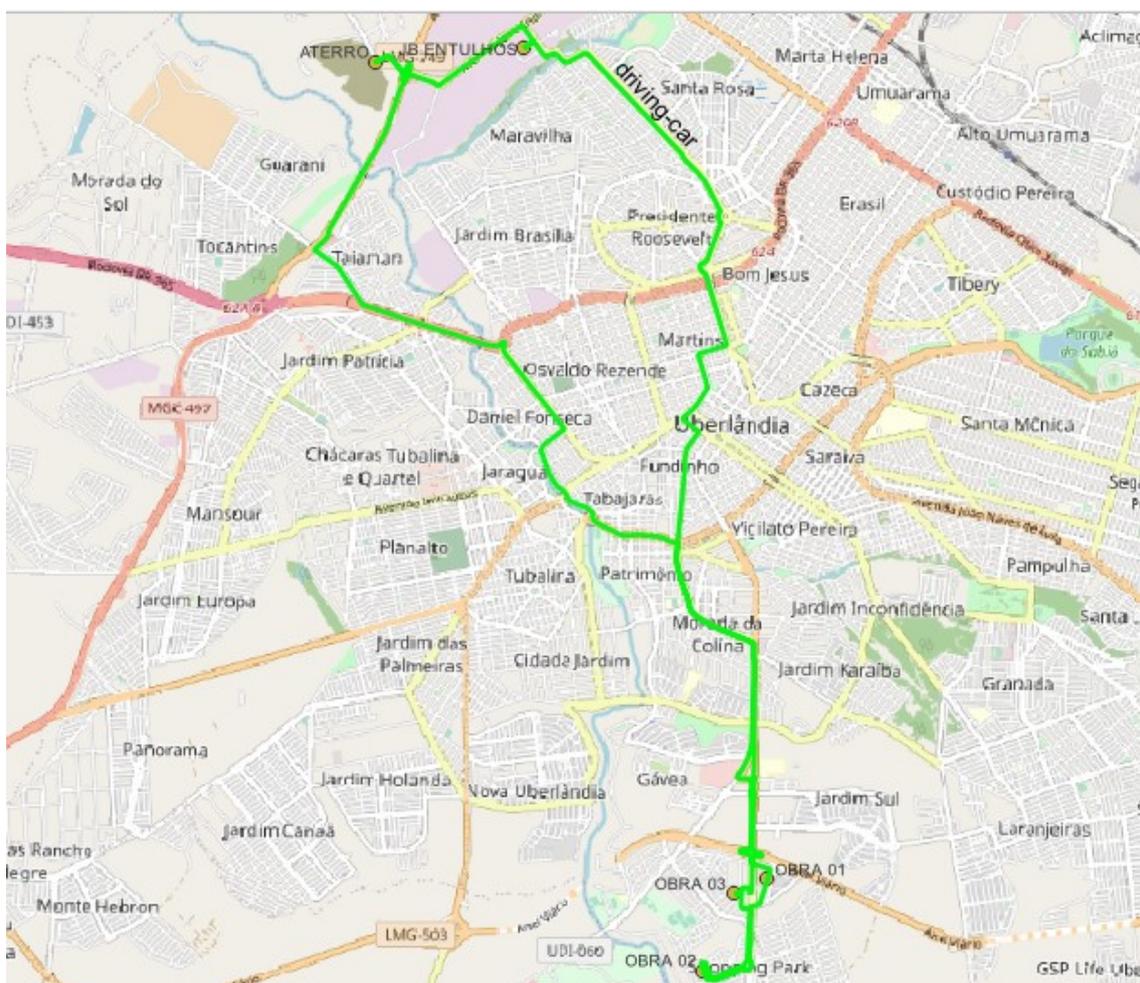
Para obter-se as melhores rotas, foi utilizado o plugin ORSTools. Para ter acesso a esse plugin foi necessário criar um login no site governamental openroutservice. Esse login dá acesso a uma chave exclusiva para cada usuário do *software* utilizar gratuitamente as ferramentas nele existentes. Dentro do ORSTools, utilizou-se a função Round Trip, que determina a menor rota iniciando em um ponto, passando por todos os outros pontos apenas uma vez e finalizando no ponto inicial, resolvendo assim o “Problema do Caixeiro Viajante”. Por fim, obteve-se a matriz Tempo-Distância, onde foi possível identificar a melhor proposta de roteirização.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Matriz Tempo-Distância

Após inserir os grupos de obras no programa e manipulá-los obteve-se a matriz “Tempo-Distância” para análise da melhor rota possível para cada grupo preestabelecido. Na Figura 6 foi possível visualizar a rota destacada na cor verde fornecida pelo ORSTools saindo da “Coletora X”, passando pelas três obras do grupo 01, indo até o aterro sanitário e retornando para a “Coletora X”.

Figura 6 - Rota do grupo 01 (ORSTools).



Fonte: Autoria própria (2023).

A partir dessa rota foi gerada a Matriz Tempo-Distância representada na Figura 7. Essa matriz apresenta todas as combinações de trajetos existentes. Porém, o *software* não

fornece a rota otimizada e com isso o autor da pesquisa fez a análise e apresentou a rota otimizada, representada pelas setas em vermelho. Para todos os grupos, o índice 1 refere-se à “Coletora X”, o índice 5 refere-se ao aterro e os índices 3, 4 e 5 referem-se às obras atendidas.

Figura 7 - Matriz para o Grupo 01.

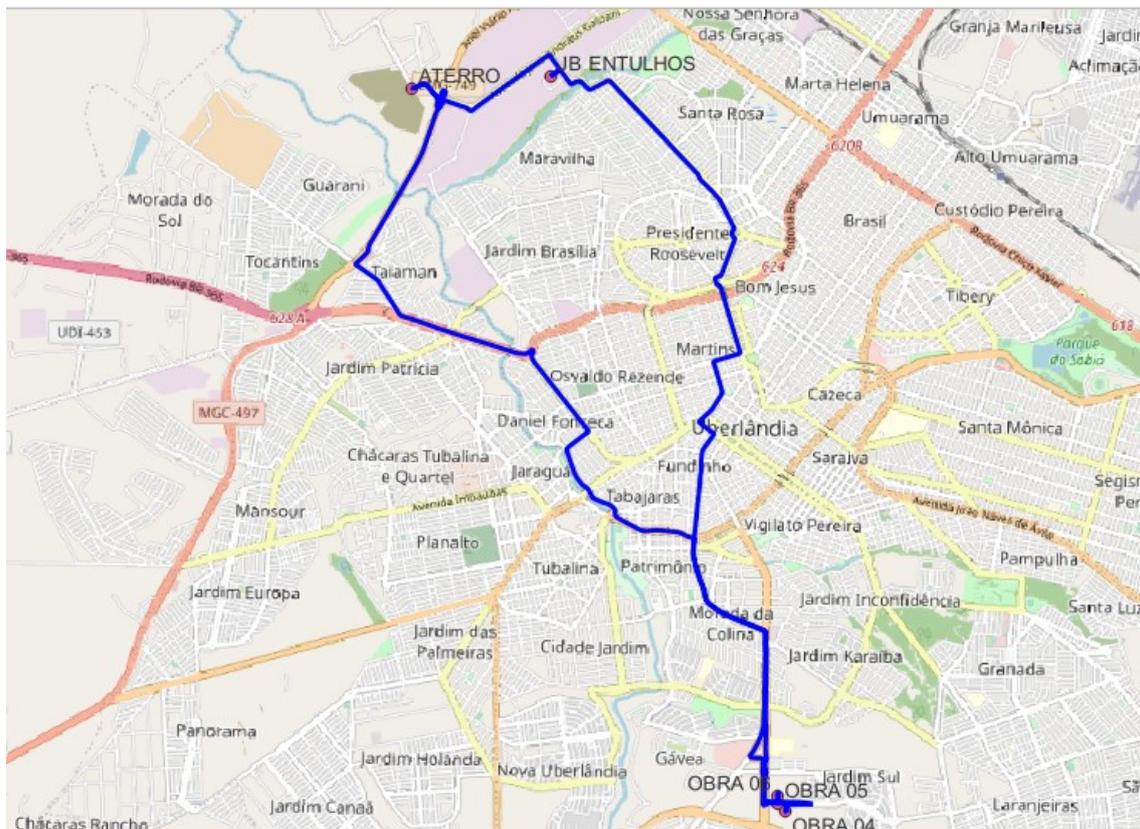
	FROM_ID	TO_ID	DURATION_H	DIST_KM
1	1	1	0	0
2	1	2	0,317280555555...	13,65137
3	1	3	0,3457	15,14358
4	1	4	0,336227777777...	13,94103000000...
5	1	5	0,067291666666...	2,73997
6	2	1	0,336330555555...	13,95088
7	2	2	0	0
8	2	3	0,038669444444...	1,78041
9	2	4	0,033166666666...	0,82885
10	2	5	0,343583333333...	15,19038
11	3	1	0,372486111111...	15,62431
12	3	2	0,064861111111...	2,61734
13	3	3	0	0
14	3	4	0,068961111111...	2,11125
15	3	5	0,379738888888...	16,86382
16	4	1	0,346830555555...	14,14782
17	4	2	0,039747222222...	1,12971
18	4	3	0,051891666666...	2,02021
19	4	4	0	0
20	4	5	0,354083333333...	15,38733
21	5	1	0,070205555555...	2,73728

Fonte: Autoria própria (2023).

Após analisar a Matriz verificou-se que a rota otimizada para esse grupo foi o caminho saindo da “Coletora X”, passando pela obra 01, obra 03 e obra 02, indo até o aterro e retornando para a “Coletora X”, percorrendo uma distância de 36 km com uma duração de aproximadamente 51 minutos. O mesmo procedimento realizado para o grupo

01 foi replicado para os outros quatro grupos e os resultados apresentados a seguir, como mostram as figuras de 8 a 15 a seguir.

Figura 8 - Rota do grupo 02 (ORSTools).



Fonte: Autoria própria (2023).

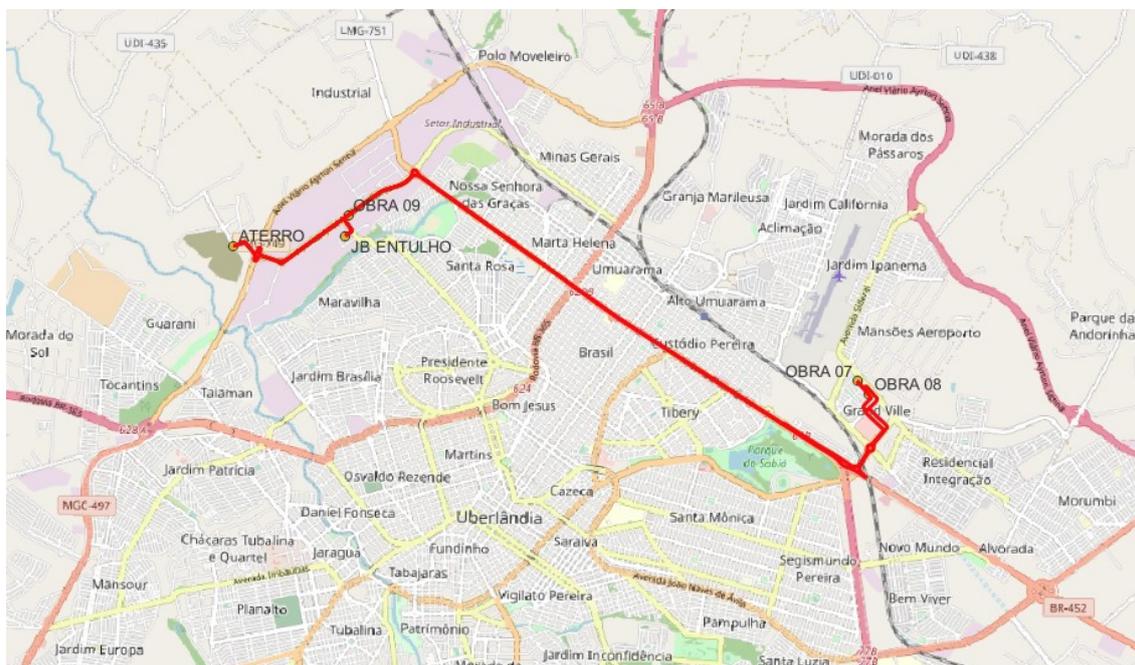
Figura 9 - Matriz do Grupo 02.

	FROM_ID	TO_ID	DURATION_H	DIST_KM
1	1	1	0	0
2	1	2	0,305772222222...	13,05589
3	1	3	0,296461111111...	12,83663
4	1	4	0,328800000000...	13,94745
5	1	5	0,067397222222...	2,73973
6	2	1	0,334980555555...	13,83275
7	2	2	0	0
8	2	3	0,045263888888...	1,74399
9	2	4	0,039666666666...	1,12344
10	2	5	0,342022222222...	15,06723
11	3	1	0,327652777777...	13,82012999999...
12	3	2	0,009311111111...	0,21925999999...
13	3	3	0	0
14	3	4	0,032341666666...	1,11082
15	3	5	0,334694444444...	15,05462000000...
16	4	1	0,312730555555...	12,96134
17	4	2	0,032327777777...	1,09184
18	4	3	0,023016666666...	0,87258
19	4	4	0	0
20	4	5	0,319775000000...	14,19582
21	5	1	0,070416666666...	2,74231

Fonte: Autoria própria (2023).

Após analisar a Matriz verificou-se que a rota otimizada para esse grupo foi o caminho saindo da “Coletora X”, passando pela obra 05, obra 04 e obra 06, indo até o aterro e retornando para a “Coletora X”, percorrendo uma distância de 31,11 km com uma duração de aproximadamente 44 minutos.

Figura 10 - Rota do Grupo 03 (ORSTools).



Fonte: Autoria própria (2023).

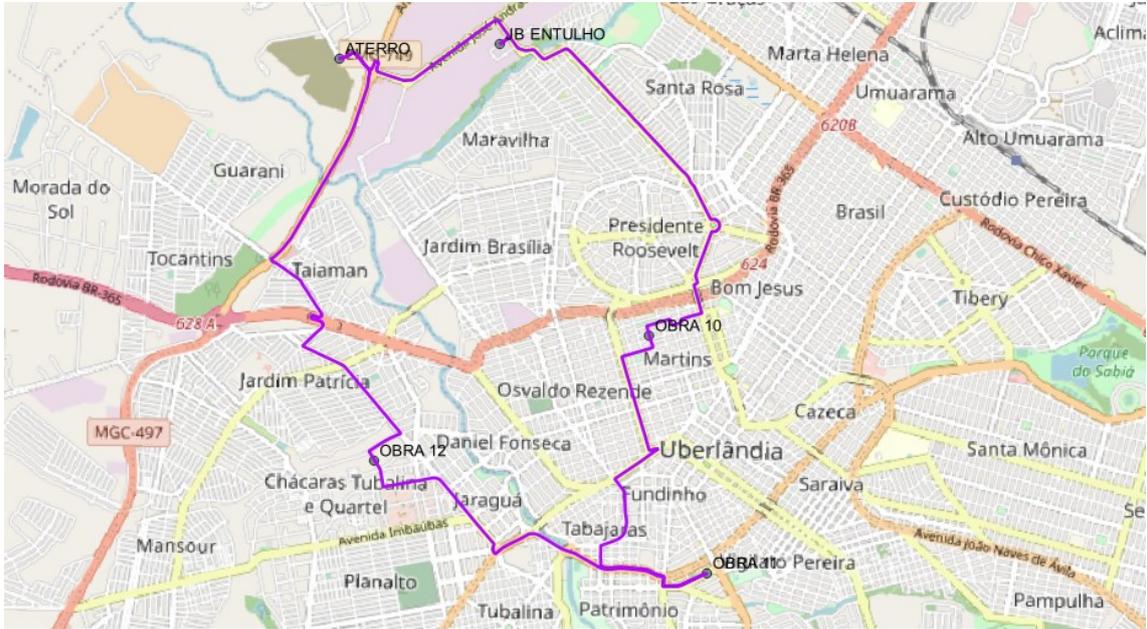
Figura 11 - Matriz do Grupo 03.

	FROM_ID	TO_ID	DURATION_H	DIST_KM
1	1	1	0	0
2	1	2	0,236305555555...	12,89479
3	1	3	0,223563888888...	12,59662000000...
4	1	4	0,015888888888...	0,47525
5	1	5	0,066797222222...	2,73157
6	2	1	0,226977777777...	12,58467000000...
7	2	2	0	0
8	2	3	0,019347222222...	0,2902
9	2	4	0,214083333333...	12,28908
10	2	5	0,2646	14,52570999999...
11	3	1	0,225855555555...	12,56785
12	3	2	0,019347222222...	0,2902
13	3	3	0	0
14	3	4	0,212961111111...	12,27226000000...
15	3	5	0,263480555555...	14,50889
16	4	1	0,021069444444...	0,7589
17	4	2	0,220419444444...	12,41954000000...
18	4	3	0,207675	12,12137
19	4	4	0	0
20	4	5	0,058691666666...	2,699940000000...
21	5	1	0,069769444444...	2,73173

Fonte: Autoria própria (2023).

Após analisar a Matriz verificou-se que a rota otimizada para esse grupo foi o caminho saindo da “Coletora X”, passando pela obra 09, obra 08 e obra 07, indo até o aterro e retornando para a “Coletora X”, percorrendo uma distância de 30,14 km com uma duração de aproximadamente 35 minutos.

Figura 12 - Rota do grupo 04 (ORSTools).



Fonte: Autoria própria (2023).

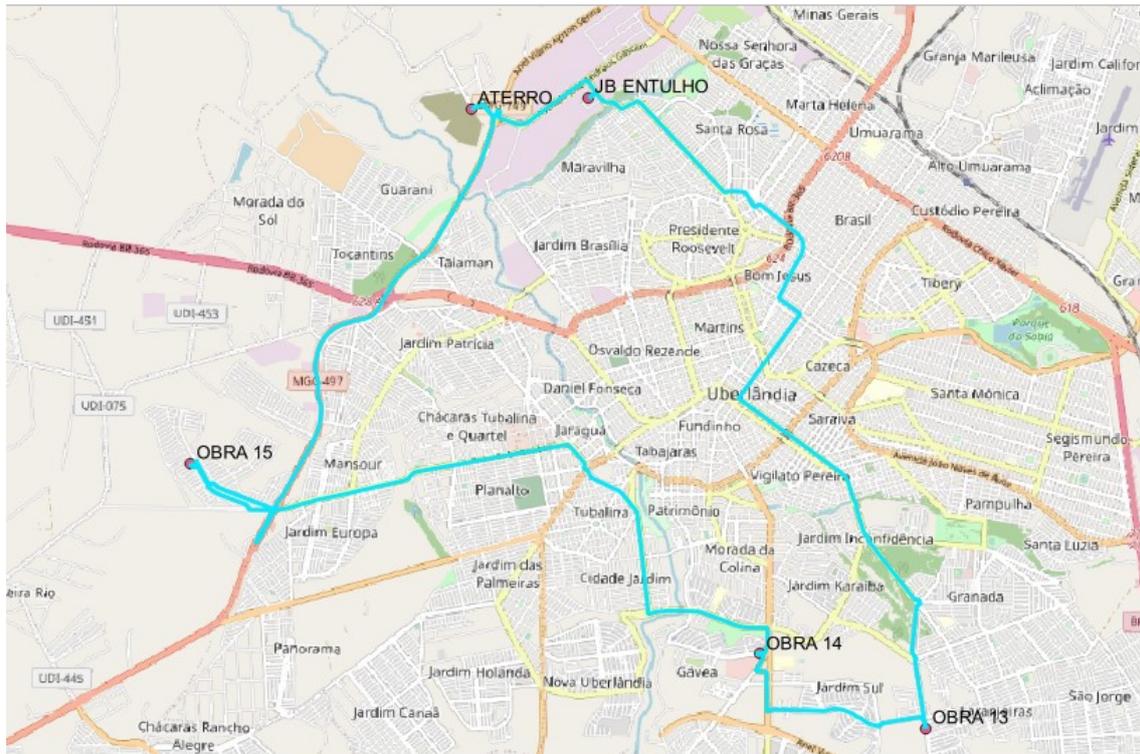
Figura 13 - Matriz grupo 04.

	FROM_ID	TO_ID	DURATION_H	DIST_KM
1	1	1	0	0
2	1	2	0,162119444444...	6,56843
3	1	3	0,220925	9,05826
4	1	4	0,197205555555...	8,38196
5	1	5	0,066647222222...	2,728469999999...
6	2	1	0,171852777777...	5,65484
7	2	2	0	0
8	2	3	0,120080555555...	3,973239999999...
9	2	4	0,131688888888...	4,612970000000...
10	2	5	0,215194444444...	8,73311
11	3	1	0,246127777777...	10,25535
12	3	2	0,127855555555...	4,96217
13	3	3	0	0
14	3	4	0,134094444444...	5,34957
15	3	5	0,240324999999...	10,60821
16	4	1	0,196083333333...	8,3698
17	4	2	0,128586111111...	4,8808
18	4	3	0,121202777777...	4,815060000000...
19	4	4	0	0
20	4	5	0,175027777777...	7,078729999999...
21	5	1	0,069666666666...	2,731070000000...

Fonte: Autoria própria (2023).

Após analisar a Matriz verificou-se que a rota otimizada para esse grupo foi o caminho saindo da “Coletora X”, passando pela obra 01, obra 02 e obra 03, indo até o aterro e retornando para a “Coletora X”, percorrendo uma distância de 25,7 km com uma duração de aproximadamente 40 minutos.

Figura 14 - Rota do grupo 05 (ORSTools).



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 15 - Matriz grupo 05.

	FROM_ID	TO_ID	DURATION_H	DIST_KM
1	1	1	0	0
2	1	2	0,317408333333...	13,5326
3	1	3	0,269088888888...	11,71905
4	1	4	0,289472222222...	11,55268
5	1	5	0,066619444444...	2,72779
6	2	1	0,3209	14,07425
7	2	2	0	0
8	2	3	0,090352777777...	4,10637
9	2	4	0,385436111111...	16,02008
10	2	5	0,341925000000...	16,06629000000...
11	3	1	0,307847222222...	12,74033
12	3	2	0,087802777777...	3,904260000000...
13	3	3	0	0
14	3	4	0,341958333333...	13,44201
15	3	5	0,315655555555...	13,98602
16	4	1	0,291238888888...	12,32432
17	4	2	0,379780555555...	15,79437
18	4	3	0,324002777777...	13,30009
19	4	4	0	0
20	4	5	0,270197222222...	11,03322
21	5	1	0,069652777777...	2,7311

Fonte: Autoria própria (2023).

Após analisar a Matriz verificou-se que a rota otimizada para esse grupo foi o caminho saindo da “Coletora X”, passando pela obra 01, obra 02 e obra 03, indo até o aterro e retornando para a “Coletora X”, percorrendo uma distância de 45,4 km com uma duração de aproximadamente 65 minutos.

Para melhor visualização, as rotas otimizadas dos cinco grupos são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 4 - Rotas Otimizadas.

GRUPO	DISTÂNCIA (Km)	TEMPO (Min)	VELOCIDADE MÉDIA (Km/min)
1	36,10	51,00	0,708
2	31,11	44,00	0,707
3	30,14	35,00	0,861
4	25,70	40,00	0,643
5	45,40	64,93	0,699

Fonte: Autoria própria (2023).

Para todas as rotas otimizadas, ficou evidente a preferência do QGis por vias primárias de mão dupla e tráfego rápido que ligam vários pontos da cidade. Avenidas como a Nicomedes Alves dos Santos, Aspirante Mega, Cleanto Vieira Gonçalves juntamente com o Anel Viário Ayrton Senna e a BR-365 foram utilizadas na maioria dos processos de otimização.

Entre os cinco grupos analisados, verificou-se que o Grupo 03 apresentou maior velocidade média, uma vez que seu trajeto foi percorrido majoritariamente pela BR-365. Em contrapartida, o Grupo 04 apresentou menor velocidade média, pois as obras são mais distantes umas das outras e seu trajeto foi feito por vias mais lentas.

De acordo com o gerente de logística, para realizar uma viagem de 30 km, leva-se aproximadamente 120 minutos, sendo que 60 minutos são para percorrer o trajeto e os outros 60 minutos para carga, descarga e emissão de MTR (Manifesto de Transporte de Resíduo) e Notas Fiscais. Comparou-se os cinco grupos e os resultados são apresentados no Quadro 6.

Quadro 5 – Comparativo Real versus Otimização

Grupo	Distância Real (Km)	Tempo Real (Min)	Distância Otimizada (Km)	Tempo Otimizado (Min)	Ganho De Tempo (Min)
1	30	120	36,10	51,00	17,62
2	30	120	31,11	44,00	16,00
3	30	120	30,14	35,00	25,00
4	30	120	25,70	40,00	13,30
5	30	120	45,40	64,93	17,10

Fonte: Autoria própria (2023).

Considerando uma carga horária trabalhada de 8 horas diárias, cada caminhão poderia realizar pelo menos mais uma viagem por dia nos grupos 01, 02, 03 e 05. O grupo 04 apresentou tempo insuficiente para mais uma viagem. Segundo o gerente de logística, cada viagem apresenta um faturamento variável de R\$ 900,00 a R\$ 1 110,00, dependendo do resíduo coletado. **Esses valores são referentes ao mês de junho de 2022.** Com isso, a otimização de rotas para estes quatro grupos apresenta um aumento de faturamento de R\$ 3600,00 a R\$ 4440,00 diário. Se essas rotas forem seguidas de segunda a sexta-feira, esse aumento de faturamento pode variar de R\$ 72000,00 a R\$ 88800,00 mensais, considerando um mesmo veículo com as mesmas condições iniciais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o trabalho, foi possível observar que o estudo realizado utilizou o *software* QGis para otimização de rotas de transporte de RCC no município de Uberlândia. O *software* apresentou preferência por vias primárias de mão dupla e tráfego rápido para conectar diferentes pontos da cidade, como avenidas e o anel viário. Tornou-se evidente que na medida que uma região vai aumentando, aumenta também a quantidade de empreendimentos de construção civil e com isso um maior número de resíduos é gerado. Devido esse aumento de resíduos, seu manuseio e descarte são assuntos que ganharam grande importância com o passar do tempo, visando minimizar os danos causados ao meio ambiente e criando uma sociedade cada vez mais sustentável.

Desde os anos 90 o município de Uberlândia busca formas para cuidar dos RCC's, criando leis que onde os setores público e privado devam gerenciar da forma mais sustentável possível esses resíduos e os locais de descarte. O transporte desses resíduos é de responsabilidade dos geradores e as empresas contratadas devem estar devidamente legalizadas para esse tipo de transporte.

O uso de Sistemas de Informações Geográficas é de ampla importância e podem contribuir de forma positiva para a otimização de rotas. Ainda que seja difícil inserir essas ferramentas em empresas mais tradicionais, softwares gratuitos como o usado na pesquisa podem ser atraentes para o início desse tipo de implementação.

Notou-se que a empresa analisada, apesar de se preocupar com a otimização de rotas, apresenta um controle bem pequeno sobre elas, utilizando apenas o GoogleMaps e conhecimento histórico. Nesse caso, ficou evidente as vantagens que o *software* QGis pode oferecer, uma vez que, além de otimizar as rotas dos cinco grupos, apresentou um aumento de faturamento expressivo em dois deles. Verificou-se que o grupo três apresentou a maior velocidade média de transporte, pois percorreu a maioria do trajeto pela BR-365. O grupo quatro teve a menor velocidade média, pois suas obras eram mais distantes umas das outras e o trajeto foi feito por vias mais lentas. Essas informações destacam a importância da utilização de ferramentas como o QGis para a otimização de rotas de transporte de RCC, visando a redução de tempo e custos operacionais, além de contribuir para a melhoria da gestão ambiental do setor da construção civil.

Por fim, verificou-se que a área de estudo definida, juntamente com o método de otimização PCV escolhido foram atendidos, possibilitando assim a obtenção dos resultados esperados inicialmente.

Como recomendação para pesquisas futuras, sugere-se a relocação das obras para o grupo que não houve aumento de faturamento, tal como a otimização das rotas dos grupos que não foram informados. A utilização de novos *softwares* que relacionam outros parâmetros como emissão de gases e gastos com combustível também são recomendados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRELPE – Associação de Empresas de Limpeza Pública. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021. São Paulo, 2021, 54p. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 23 ago. 2022.
- ABRELPE – Associação de Empresas de Limpeza Pública. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014. São Paulo, 2014, 120p. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4389267/mod\\_resource/content/1/panorama2014.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4389267/mod_resource/content/1/panorama2014.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2022.
- BENEVIDES, Paula Francis. Aplicação heurística e metaheurística para o Problema do Caixeiro Viajante em um problema real de roteirização de veículos. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.
- BLUMENSCHNEIN, R. N. A sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção. Brasília, 2004, 249 p. Tese (Doutorado). Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília.
- BORGES, Janiele Andrade. Otimização operacional das etapas de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- BRASIL, Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no Diário Oficial da União, Brasília, Distrito Federal. 2002.
- BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010.
- BRASIL. PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Ministério da Infraestrutura. 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/01GERENCIAMENTODERESDUOSLIDOS.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2022.
- BENEVIDES, Paula Francis. Aplicação de heurísticas e metaheurísticas para o problema do caixeiro viajante em um problema real de roteirização de veículos. 2011. Disponível em: <[http://paginapessoal.utfpr.edu.br/paulabenevides/publicacoes/publicacoes/PaulaBenevides\\_Dissertao.pdf](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/paulabenevides/publicacoes/publicacoes/PaulaBenevides_Dissertao.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- CAMARANO, Ana Amélia; ABRAMOVAY, Ricardo. Êxodo rural, envelhecimento e masculinização no Brasil: panorama dos últimos 50 anos. . Rio de Janeiro: IPEA. . Acesso em: 27 ago. 2022. 1999.
- COELHO, Adilson Rodrigues et al. Importância do gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. Research, Society and Development, v. 7, n. 10, p. 10, 2018.

- COELHO, Adilson Rodrigues et al. Importância do gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. *Research, Society and Development*, v. 7, n. 10, p. 10, 2018.
- DA SILVA, Viviane Rodrigues; BARCELOS, Bráulio Frances. Aplicação do problema do caixeiro viajante para otimizar rota de entrega em uma distribuidora. 2019.
- DE MOURA FREITAS, Iara; DA SILVA, Maria Aparecida. A importância do gerenciamento de resíduos do serviço de saúde na proteção do meio ambiente. *Revista EVS-Revista de Ciências Ambientais e Saúde*, v. 39, n. 4, p. 493-505, 2012.
- DIAS, M. A. P. Administração de materiais: princípios, conceitos e gestão. São Paulo: Atlas, 2005.
- FERNANDES, Graziella Quint. Resíduos de construção e demolição: uma abordagem do assunto e a situação do município de Florianópolis. MBA Gestão de Obras e Projetos-Florianópolis, 2018.
- GOMES. C. F. S.; RIBEIRO. P. C. C. Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação. 1. reimp. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- GONÇALVES, R. R. Tratamento dos resíduos sólidos da construção civil no município de Ibitaré – MG. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.
- KARPPINSK, A.L. et al. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. EDIPUCRS, Porto Alegre: 2009.
- LEME, Francilio Paes. Engenharia do saneamento ambiental. Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- LIMA, Rosimeire S.; LIMA, Ruy Reynaldo R. Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil. Série de Publicações Temáticas do Crea-PR. Curitiba: Crea, 2009.
- LIMA, Rosimeire S.; LIMA, Ruy Reynaldo R. Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil. Série de Publicações Temáticas do Crea-PR. Curitiba: Crea, 2009.
- LOURENÇO, Dyego Assis et al. Otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos em uma área urbana: o caso da cidade de Campina Grande-PB. 2016.
- MASSUKADO, Luciana Miyoko. Sistema de apoio à decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos. 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4292>>. Acesso em: 02 set. 2022.
- MONTEIRO, J. H. P. et al. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos / José Henrique Penido Monteiro...[et al.]; coordenação técnica Victor ZularZveibil; elaborado pelo IBAM- Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NORBERTO, ALISON DE SOUZA et al. APLICAÇÃO DO E-KANBAN NO TRANSPORTE DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. *Revista Semiárido De Visu*, v. 9, n. 2, p. 143-158, 2021.

OLIVEIRA, Edenis Cesar et al. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS: perspectivas de cumprimento da Lei 12.305/2010 nos municípios brasileiros, municípios paulistas e municípios da região do ABC. *Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria*, v. 7, p. 93-109, 2014.

PORTO, M. E.; SILVA, Simone Vasconcelos. Reaproveitamento dos entulhos de concreto na construção de casas populares. Rio de Janeiro: ENEGEP, 2008.

POZO, H. Administração de recursos materiais e patrimoniais: uma abordagem logística. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

REZENDE, Hélder Andrade et al. A logística no contexto da construção civil. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE*, v. 1, n. 2, p. 135-146, 2013.

SEADON, J. K. Sustainable waste management systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 16-17, p. 1639-1651, 2010.

SILVA, Otavio Henrique et al. Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, p. 39-48, 2015.

VALENÇA, Mariluce Zepter. Resíduos da construção civil: O papel das empresas de coleta e transporte de entulho de obras para uma gestão integrada e sustentável na cidade do Recife, a partir da resolução CONAMA 307/2002. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.