MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Vinícius do Sacramento Gallisa

OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS DA COLETA SELETIVA DO MUNICÍPIO SEDE DE OURO PRETO/MG

Ouro Preto

2024

VINÍCIUS DO SACRAMENTO GALLISA

OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS DA COLETA SELETIVA DO MUNICÍPIO SEDE DE OURO PRETO/MG

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de concentração: Logística de Resíduos/ Engenharia Ambiental

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Marina de Medeiros Machado (UFOP)

Coorientadora: Prof.ª Dr.ª Daniela Antunes Lessa (UFOP)

Ouro Preto

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G171o Gallisa, Vinicius do Sacramento.
Otimização das rotas da coleta seletiva do município sede de Ouro Preto/MG. [manuscrito] / Vinicius do Sacramento Gallisa. - 2024.
91 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Marina de Medeiros Machado.
Coorientadora: Profa. Dra. Daniela Antunes Lessa.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Coleta de Resíduos Sólidos. 2. Coleta Seletiva. 3. Planejamento. I. Machado, Marina de Medeiros. II. Lessa, Daniela Antunes. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 628.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

Vinícius do Sacramento Gallisa

Otimização das rotas da coleta seletiva do município sede de Ouro Preto/MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Aprovada em 08 de fevereiro de 2024.

Membros da banca

Profa. Dra. Marina de Medeiros Machado - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Profa. Dra. Daniela Antunes Lessa - Corientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Profa. Dra. Tamara Daiane de Souza - Universidade Federal de Ouro Preto
Engº Ambiental Pedro Lisboa - Prefeitura Municipal de Ouro Preto

Marina de Medeiros Machado, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/02/2024.

Documento assinado eletronicamente por **Marina de Medeiros Machado**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/02/2024, às 19:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 , informando o código verificador **0669227** e o código CRC **0346D829**.

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: 3135591496 - www.ufop.br

Dedico este trabalho aos meus pais Rubens e Mônica,

Ao meu irmão Victor, que sempre contribuíram para

que eu chegasse a este momento tão especial.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus pela oportunidade de realizar um curso de Engenharia na Universidade Federal de Ouro Preto.

Agradeço também aos meus pais Rubens e Mônica, por não medirem esforços para que eu pudesse continuar a estar estudando e todo o apoio durante o período dentro da faculdade. A todos os meus tios, meu avô Maurício e em especial a minha tia Tânia por me apoiar na realização da graduação.

Agradeço ao meu irmão Victor e ao meu primo André, por estarem sempre comigo e serem amigos de todos os momentos. Aos meus amigos Gabriel, Pedro Andrade, Pedro Nogueira, Marco e Gabriela por estarem me apoiando durante a minha trajetória.

Gratidão aos professores do DEAMB e a Professora Daniela por todos os conhecimentos transmitidos. Em especial, gratidão a professora Marina por ter me dado a oportunidade de crescer profissionalmente durante todo o período da graduação e também por todos os ensinamentos.

Gratidão aos amigos que fiz durante o curso, Amanda, Carine, Deiverson, Ítalo, Maria Clara e Richard que foram importantes para que eu conseguisse alcançar os meus objetivos durante todo o período da UFOP. Vocês foram fundamentais com os apoios, os incentivos, os momentos de humor e com a ajuda durante todos esses anos.

Agradeço também à Secretaria de Meio Ambiente, pela oportunidade da realização do estágio supervisionado e que foi importantíssimo para que eu pudesse desenvolver o presente trabalho.

RESUMO

O aumento crescente da população ao longo dos anos, traz consigo também a ampliação da geração dos resíduos sólidos urbanos. Desta forma, um instrumento importante para a não inserção em massa dos resíduos em aterros e da proteção ao meio ambiente são através das práticas de coleta seletiva. O presente estudo teve por seu objetivo propor estratégias de otimizações das rotas de coleta seletiva do município sede de Ouro Preto/MG. Sendo assim, realizou-se um levantamento das condições em que as mesmas são executadas, diagnosticando assim, o atual modelo dos percursos efetuados e o atendimento à população da cidade. Verificou-se também, não conformidades existentes e foram propostas rotas para as duas Associações de Catadores de Materiais Recicláveis do município ACMAR e ACPF. Através do *software ARCGIS*, foram executadas rotas otimizadas a partir de critérios pré-estabelecidos, onde buscou-se uma divisão mais igualitária na guarnição dos resíduos recicláveis para cada Associação. Desse modo, pode-se afirmar que uma reformulação nas rotas tornando-as mais eficientes, pode reduzir as emissões de CO_2 e apresentam ganhos econômicos. Ao todo, conclui-se que município sede de Ouro Preto/MG possuí um potencial de produzir cerca de 13.590 kg de materiais recicláveis diariamente. Portanto, para que o serviço de coleta seja otimizado é primordial o apoio municipal e a execução de campanhas de educação ambiental para incentivar a participação de toda a população na coleta seletiva municipal.

Palavras-chave: Coleta de Resíduos Sólidos. Planejamento. Roteirização. Coleta Seletiva. Ouro Preto/MG.

ABSTRACT

The increasing increase in population over the years also brings with it an increase in the generation of urban solid waste. Therefore, an important instrument for preventing mass waste from entering landfills and protecting the environment is through selective collection practices. The objective of this study was to propose optimization strategies for selective collection routes in the main municipality of Ouro Preto/MG. Therefore, a survey was carried out of the conditions under which they are carried out, thus diagnosing the current model of the routes carried out and the service provided to the city's population. Existing non-conformities were also verified and routes were proposed for the two Recyclable Material Collectors Associations of municipality ACMAR and ACPF. Using the ARCGIS software, optimized routes were executed based on pre-established criterion, seeking a more equal division in the distribution of recyclable waste for each Association. Therefore, it can be said that a reformulation of routes, making them more efficient, can reduce CO_2 emissions and present economic gains. In total, it is concluded that the city of Ouro Preto/MG has the potential to produce around 13,590 kg of recyclable materials daily. Therefore, for the collection service to be be optimized, municipal support and the execution of environmental education campaigns are essential to encourage the participation of the entire population in municipal selective collection.

Keywords: Solid Waste. Planning. Scripting. Selective Collect. Ouro Preto/MG.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gravimetria dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. 19
Figura 2 – Gravimetria da coleta seletiva. 21
Figura 3 – Panorama das regiões do Brasil com coleta seletiva. 22
Figura 4 – Aplicação de um SIG. 33
Figura 5 – Esquema do PCV. 38
Figura 6 – Grafos. 39
Figura 7 – Limite do Município de Ouro Preto/MG. 41
Figura 8 – Malha viária do município sede de Ouro Preto/MG. 44
Figura 9 – Ferramenta Análise de Rede. 45
Figura 10– Fluxograma até a obtenção das Rotas. 46
Figura 11 – Caminhão da coleta seletiva. 47
Figura 12 – Taxa de cobertura do serviço de coleta seletiva porta-a-porta (%). 48
Figura 13 – Ruas de Coleta Porta a Porta e PEV's do município sede de Ouro Preto/MG. 50
Figura 14 – Contêiner da coleta seletiva do município. 51
Figura 15 – Contêiner dos resíduos recicláveis na UFOP. 52
Figura 16 – Coleta Seletiva no Bairro da Bauxita. 55
Figura 17 – Galpão da ACMAR. 56
Figura 18 – Galpão da ACPF. 57
Figura 19 – Resíduos da Coleta Convencional e Seletiva misturados. 57
Figura 20 – Materiais Recicláveis separados. 58
Figura 21– PEV do município. 59
Figura 22 – Caçamba de vidros do Ecoponto Municipal. 60
Figura 23 – Caminhão da SLU de Belo Horizonte de Materiais Recicláveis. 62
Figura 24 – PEV de materiais recicláveis da Prefeitura de Belo Horizonte. 63

Figura 25 – Mapa da proposta de Divisão da coleta seletiva no município. 66

Figura 26 – Contabilização das residências no município sede de Ouro Preto/MG. .68

Figura 27 – Mapa da proposta de agrupamento dos bairros da Coleta Seletiva. 69

Figura 28 – Mapa proposto das rotas otimizadas. 70

Figura 29 – Quilometragem das rotas otimizadas da Coleta Seletiva. 72

Figura 30 – Caminhões da Coleta Seletiva no município de Mariana/MG. 73

Figura 31 – Custo do valor do combustível por rota realizada. 74

Figura 32 – Massa per capita de resíduos recicláveis coletados na região dos Inconfidentes. 75

Figura 33 – Massa Total recuperada de Materiais Recicláveis em Toneladas/ano em Ouro Preto/MG do ano de 2021. 76

Figura 34 – Quantitativo de resíduos recebidos nas referidas unidades. 76

Figura 35 – Emissões totais de CO_2 das rotas otimizadas. 78

Figura 36 – Emissões totais de CO das rotas otimizadas. 79

Figura 37 – Mapa Hipsométrico do município de Ouro Preto/MG 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Legislações coleta seletiva município de Ouro Preto/MG. 24

Tabela 2 – Bairros e rotas atendidas pela coleta seletiva. 49

Tabela 3 – Acompanhamento das rotas do bairro da Bauxita. 52

Tabela 4 – Não conformidades visualizadas. 64

Tabela 5 – Rotas dos Bairros.....70

LISTA DE SIGLAS

CBO – Classificação Brasileira de Ocupações

MNCR – Movimento Nacionais dos Catadores de Materiais Recicláveis

PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

WFS – Web Feature Service

WCS – Web Coverage Service

WMS – Web Map Service

OGC – Open Geospatial Consortium

PMRS – Plano Municipal de Resíduos Sólidos

ACMAR – Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Rancharia

ACPF – Associação de Beneficiamento e Reciclagem do Lixo e Meio Ambiente e Preservação Ambiental da Cidade de Ouro Preto

PMOP – Prefeitura Municipal de Ouro Preto

PCV – Problema do Caixeiro Viajante

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

PEV'S – Pontos de Entregas Voluntárias

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 OBJETIVO GERAL 15

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS 16

3.1.1 Política Nacional dos Resíduos Sólidos 17

3.2 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS 19

3.2.1 Geração e segregação 19

3.2.2 Coleta e Transporte 20

3.2.3 Associações de Catadores de Materiais Recicláveis 26

3.2.4 Disposição dos Resíduos Sólidos 27

3.3 SISTEMAS DE TRANSPORTES 29

3.3.1 Logística de Transportes 29

3.3.2 Questões ambientais dos transportes 31

3.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS 32

3.4.1 Propriedades dos SIG 32

3.4.2 Sistemas de Referências 35

3.4.3 Rotas de Coletas de Resíduos e modelos de roteirização 36

4 MATERIAIS E MÉTODOS 40

4.1 MATERIAIS 40

4.2 MÉTODOS 40

4.2.1 Local de Estudo 40

4.2.2 Diagnóstico das rotas atuais de coleta seletiva do município sede de Ouro Preto/MG 41

4.2.3 Identificação das potencialidades de melhorias das coletas seletivas existentes 42

4.2.4 Estimativa dos parâmetros de influência na otimização das rotas 42

4.2.5 Emissão de carbono em g de CO_2 46

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 47

5.1 ROTAS ATUAIS DA COLETA SELETIVA NO MUNICÍPIO 47

5.2 DESCRIÇÃO DAS NÃO CONFORMIDADES E PROPOSTAS DE MELHORIAS NO GERENCIAMENTO DA COLETA SELETIVA 56

5.3 PROPOSTA DE ROTAS OTIMIZADAS PARA O MUNICÍPIO SEDE 65

5.4 EMISSÕES DE CO_2 e CO DAS ROTAS OTIMIZADAS 77

6 CONCLUSÃO 81

REFERÊNCIAS 83

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos são resultantes das diversas atividades humanas. Dessa forma, esses resíduos englobam uma infinidade de materiais, uma vez que restos de comida, garrafas, computadores, lodos de estações de tratamento de água e esgoto, sucatas, baterias, dentre outros, estão introduzidos no meio ambiente. Ademais, as mudanças comportamentais dos humanos, além do crescimento populacional corroboram para uma maior geração dos resíduos anualmente (CALLIJURI & CUNHA, 2013).

Atualmente o Brasil se configura como o quarto maior gerador de resíduos sólidos do mundo. Cerca de 12 milhões de toneladas são gerados atualmente e em torno de 4,8 milhões de toneladas são dispostos em lixões, espalhados entre os diferentes núcleos urbanos (TELLES, 2022).

Progressivamente, a legislação acerca da gestão e do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos evolui buscando viabilizar a mitigação tanto dos impactos ambientais, como dos sociais, derivados, especialmente da disposição final dos resíduos sólidos urbanos. Além disso, as diretrizes da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) já evidenciam a necessidade de uma compreensão maior dos resíduos sólidos gerados, além da busca por soluções e alternativas para cada tipo de resíduo gerado (FEAM, 2017).

Dentre os problemas atuais enfrentados pela gestão dos resíduos sólidos, estão a falta de cobertura e/ou adesão às iniciativas de coleta seletiva pelos municípios. Devido à falta de conhecimento, falta de responsabilidade ou à inadequada gestão pública de saneamento básico. Mesmo com a implementação de políticas ambientais e regulamentos para o descarte e controle de materiais poluentes, os progressos na gestão dos resíduos sólidos ainda são limitados e não atendem completamente às necessidades (BARBOSA; IBRAHIN, 2014).

A coleta seletiva é considerada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) como a coleta de resíduos previamente segregados conforme sua composição ou constituição, passíveis de serem submetidos ao processo de reciclagem, possibilitando a reintrodução na cadeia produtiva como matéria-prima (PNRS, 2010).

No Brasil, a coleta seletiva se instituí por um forte componente social, através das associações e/ou cooperativas de catadores de materiais recicláveis (JARDIM, 2012). Com o passar do tempo, os catadores autônomos começaram a perceber a importância de se unirem e surgiram os movimentos nacionais de catadores de materiais recicláveis (MNCR). Essas iniciativas foram um marco significativo para os catadores, pois lhes trouxeram reconhecimento através da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), que foi estabelecida com um forte viés social (FONTÃO; OLIVEIRA, 2020).

O município sede de Ouro Preto/MG, objeto de estudo deste presente trabalho, possui duas Associações de Catadores, a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Rancharia (ACMAR) e Associação de Beneficiamento e Reciclagem do Lixo e Meio Ambiente e Preservação Ambiental (ACPF), que desempenham suas atividades através de um termo assinado entre as partes visando a coleta e triagem dos materiais recicláveis na cidade.

De acordo com os dados do SNIS de 2021, os Resíduos Sólidos Domiciliares conjuntamente com os Resíduos Sólidos Públicos, direcionaram para o aterro 16.186, 5 toneladas/ano e 222,9 toneladas/ano para as Associações de Catadores (SNIS, 2021). No entanto, a taxa de cobertura da coleta seletiva realizada não é significativa positivamente. De acordo com o Sistema Nacional de Saneamento (SNIS), o ano de 2021 representou apenas 9,99 % de atendimento porta – a – porta. Como enfatizado, a PNRS versa a respeito da responsabilidade dos municípios em relação à coleta dos materiais recicláveis (PNRS, 2010).

De maneira a possibilitar a ampliação da adesão à coleta seletiva, bem como a otimização das rotas de coleta, são necessárias a introdução de ferramentas que visam reduzir custos, seja por meio da otimização do tempo de coleta realizado ou por distâncias menores percorridas (VARANDA, 2015).

Sabe-se que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG’s) executam um papel essencial na otimização de rotas dos veículos, viabilizando as alternativas de rotas e buscando percursos eficientes (VARANDA, 2015). Sendo assim, frente à problemática apresentada, este estudo propõe a aprimorar as rotas da coleta seletiva no município de Ouro Preto/MG, utilizando os *softwares* ARCGIS/QGIS, de forma a otimizar o serviço de coleta porta-a-porta para que alcance um maior número de moradores na cidade sede.

2 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem por objetivo propor estratégias de otimização das rotas de coleta seletiva no município sede de Ouro Preto/MG.

2.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- ✓ Diagnosticar as atuais rotas de coleta seletiva do município;
- ✓ Identificar potencialidades de melhorias na coleta seletiva e em suas rotas existentes;
- ✓ Estimar parâmetros representativos das rotas de coleta seletiva otimizadas do município sede;
- ✓ Determinar a emissão de carbono em g de CO_2 e CO através do estabelecimento das rotas de coleta seletiva otimizadas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Conforme estabelecido pela norma brasileira NBR 10004 de 2004, a definição de resíduos sólidos é descrita a seguir (ABNT, 2004):

> resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004, p. 7).

Segundo Demajorovic (1995) os resíduos sólidos são materiais que ainda podem ser aproveitados, enquanto o lixo é tudo aquilo que não tem mais utilidade. A diferença entre os dois está no valor agregado que possuem. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos através de seu artigo 13 classifica os resíduos sólidos como:

> I - quanto à origem:
>
> a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
>
> b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
>
> c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
>
> d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
>
> e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
>
> f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
>
> g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
>
> h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
>
> i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
>
> j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

> k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;
>
> II - quanto à periculosidade:
>
> a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
>
> b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.
>
> Parágrafo único. Respeitado o disposto no art. 20, os resíduos referidos na alínea “d” do inciso I do caput, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.

Já os Resíduos Sólidos Urbanos são definidos, conforme a NBR 15849 (ABNT, 2010), como:

> resíduos que, em conformidade com o estabelecido na Resolução CONAMA no 404/2008, sejam provenientes de domicílios, serviços de limpeza urbana, pequenos estabelecimentos comerciais, industriais e de prestação de serviços, que estejam incluídos no serviço de coleta regular de resíduos e, que tenham características similares aos resíduos sólidos domiciliares. (ABNT, 2010, p. 16).

Decerto, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são divididos em dois tipos: resíduos domésticos e resíduos de limpeza urbana. Os resíduos domésticos são gerados nas residências, enquanto os resíduos de limpeza urbana são gerados na limpeza das ruas e calçadas (SNIR, 2020).

3.1.1 Política Nacional dos Resíduos Sólidos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) possui como propósito a gestão dos resíduos de suas formas sólidas ou semissólidas, bem como dos gases contidos em recipientes além de líquidos com características que se tornam um dificultador na sua disposição em redes de esgoto público ou corpos d'água devido às propriedades físicas e químicas podendo assim, gerar tais materiais potenciais riscos para ao solo, recursos hídricos e a atmosfera (BARBOSA; IBRAIN, 2014). Neste sentido, a referida Lei foi instituída pela Lei Federal nº 12.305, no dia 2 de agosto de 2010. De acordo com Soler e Filho (2019), essas leis trouxeram uma nova abordagem para a gestão ambientalmente responsável de resíduos sólidos, afetando de certa forma tanto o setor privado quanto o público, além da sociedade em geral. Embora as implicações

legais, técnicas e institucionais relacionadas à gestão de resíduos já sejam preexistentes recentes, não recentes, está se delineando, para esta década, uma transformação significativa nos métodos de produção, na administração pública e também na consciência dos cidadãos em prol do desenvolvimento sustentável.

Decerto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) está diretamente associada a um conjunto de princípios, sendo o princípio do "poluidor-pagador" e o princípio do "protetor-recebedor". Além disso, a PNRS promove valores de razoabilidade e proporcionalidade nas ações, motiva o direcionamento para a ecoeficiência, pela pauta ambiental e adota uma abordagem sistêmica na gestão.

Deve-se frisar que a PNRS fomenta a cooperação entre diversas esferas do poder público, de certa forma o setor privado, como o setor empresarial além de outros segmentos da sociedade. Essa Lei também destaca a importância da responsabilidade compartilhada ao longo do ciclo de vida dos produtos e enfatiza a hierarquia na gestão de resíduos. Ademais, a Lei respeita as diversidades, dentre outros princípios fundamentais que orientam sua aplicação (SOLER; FILHO, 2019).

Deve-se destacar a definição da hierarquia e da ordem de prioridade na administração além da supervisão dos resíduos sólidos. Desta forma, essa abordagem acarretou em trazer inovações significativas ao introduzir a não geração como o principal tópico, ultrapassando a abordagem tradicional dos 3R (Redução, Reutilização e Reciclagem). No que diz respeito ao processo final, em relação à disposição final, foi adicionado o conceito do "rejeito", conforme os princípios previamente definidos através da PNRS (JARDIM *et al*., 2012).

De acordo com o artigo 9º da PNRS, na "administração e supervisão de resíduos sólidos, deve-se observar a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos". Isso resulta na disposição organizada dos rejeitos em aterros, seguindo as normas operacionais específicas para prevenção dos danos ou riscos à saúde pública e à segurança, ao mesmo tempo em que ocorre a minimização dos impactos ambientais adversos (JARDIM *et al*., 2012).

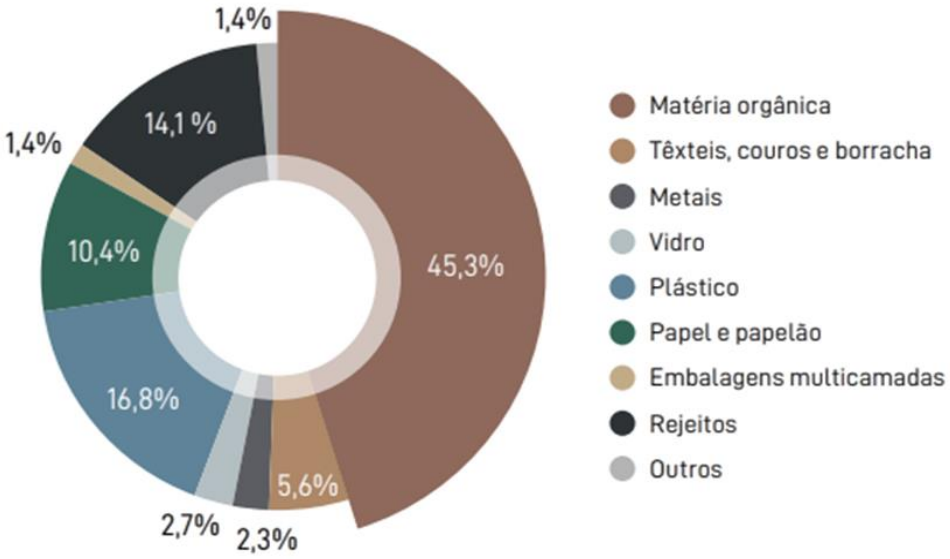
3.2 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

3.2.1 Geração e segregação

De acordo com o Panorama da ABRELPE de 2022, cada brasileiro produziu em torno de 1,043 kg de resíduos por dia, ou seja, ao longo do ano de 2023 um total de aproximadamente 81,8 milhões de toneladas de resíduos. Entretanto, após a pandemia, com o progresso da imunização da população contra a COVID-19, e o retorno da grande parte das atividades presenciais, houveram mudanças substanciais nas dinâmicas sociais, o que teve um impacto direto nos serviços de limpeza urbana e principalmente na gestão de resíduos sólidos.

Com essa retomada das atividades que certamente predominavam antes da pandemia do COVID-19, os locais de geração de resíduos se deslocaram novamente dos domicílios residenciais para escritórios, escolas, centros comerciais e outros estabelecimentos. Além disso, o modelo de trabalho híbrido se tornou mais comum, resultando em mais locais para a disposição de resíduos, mas as residências ainda continuam desempenhando um papel significativo na geração de resíduos. O Panorama da ABRELPE de 2020, demonstra a gravimetria dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil (Figura 1).

Figura 1 – Gravimetria dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2020).

3.2.2 Coleta e Transporte

A coleta desempenha um papel fundamental na gestão de resíduos sólidos, sendo o estágio em que os resíduos são recolhidos no ponto de origem e encaminhados para seu destino final. Quando a coleta é realizada pelo município ou por uma empresa concessionária para os resíduos sólidos urbanos, é denominada "coleta regular". Por outro lado, a coleta de outros tipos de resíduos é conhecida como "Coleta Especial" (Cempre, 2010 *apud* CALLIJURI; CUNHA, 2013).

Após a coleta, os resíduos necessitam ser transportados para locais de destino final, que podem ser centros de reciclagem, galpões de tratamento ou aterros. Em situações em que as distâncias a percorrer são curtas com volumes pequenos, os próprios veículos de coleta podem realizar o transporte. No entanto, em áreas urbanas extensas ou quando os locais de disposição final estão distantes, destaca-se a utilização de Estações de Transbordo (CALLIJURI; CUNHA 2013).

3.2.2.1 Coleta Seletiva

A Coleta Seletiva, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelecida pela Lei Federal nº 12.305/2010, é definida como o processo de recolhimento de resíduos sólidos que foram previamente separados com base em sua composição ou constituição. Para promover a gestão ambientalmente sustentável dos resíduos, essa referida prática mencionada visa facilitar a reciclagem e a reutilização dos materiais recicláveis (BRASIL, 2010).

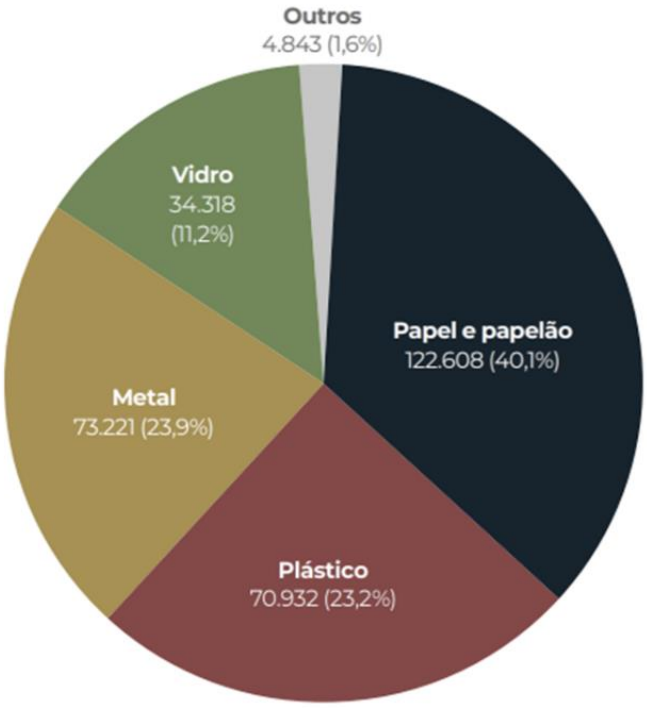
A coleta mencionada é tida como o recolhimento de materiais que são passíveis de serem reciclados como os papéis, metais, plásticos, vidros. Para elevar o valor, reduzindo os custos associados à reciclagem, a prática da separação de resíduos desempenha um papel crucial na prevenção da contaminação de resíduos, que serão os materiais reutilizáveis (TELLES, 2022).

Para iniciar efetivamente um sistema de coleta seletiva, é essencial realizar uma avaliação do perfil dos resíduos sólidos, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos, dos produzidos em uma área específica, sendo em um município específico ou localidade. Essa análise detalhada ajuda a estruturar além de desenvolver de modo mais eficiente o processo de coleta seletiva, fazendo com que

o ponto central reside na ação da população em separar os materiais recicláveis, do restante dos resíduos, contribuindo assim para a reciclagem eficaz (TELLES, 2022).

A prática da coleta seletiva é uma abordagem ambientalmente favorável para as comunidades, cooperando para com a saúde pública além do ramo do saneamento (TELLES, 2022). Na Figura 2 a seguir, é apresentada a média da composição gravimétrica da coleta seletiva no Brasil.

Figura 2 – Gravimetria da coleta seletiva.



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2022).

Salienta-se, que o sistema municipal de Coleta Seletiva abrange fatores como:

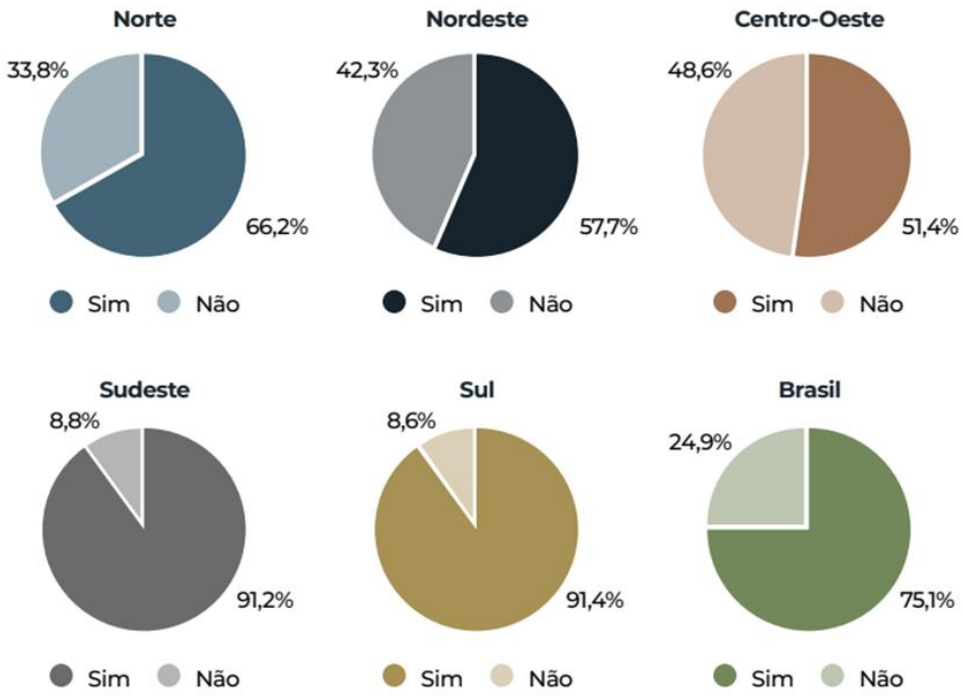
- Coleta em domicílio em pontos de entrega voluntárias de diversos tipos de materiais recicláveis, ou porta a porta provenientes do consumo, além de separados nas fontes geradoras.
- Beneficiamento e triagem dos materiais recicláveis separáveis.
- Comercialização dos materiais recicláveis separados para indústrias de reciclagem.

Contudo, certos municípios implementam os pontos de entregas voluntárias para os munícipes e entendem que a cobertura da coleta seletiva é total. Todavia, a separação e coleta dos materiais recicláveis neste modelo costuma ser reduzida

(JÚNIOR *et al*., 2014). Entretanto a implantação de PEV's em locais públicos estratégicos melhoram a execução da coleta seletiva (TELLES, 2022).

De acordo com dados do Panorama ABRELPE de 2022, o ano de 2021 apresentou em torno de 4371 municípios com iniciativas de coleta seletiva em seus territórios. Neste sentido, 75% das cidades brasileiras apresentam medidas relativas à coleta dos materiais recicláveis, sendo que as regiões Sul e Sudeste do país possuem resultados mais notórios (Figura 3).

Figura 3 – Panorama das regiões do Brasil com coleta seletiva.



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2022).

Sob esta ótica, é relevante enfatizar que de acordo com a PNRS a importância dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos. Estes, tem o seguinte conteúdo mínimo: metas de redução, reutilização, coleta seletiva além da reciclagem, dentre outros objetivos, com o intuito de diminuir a quantidade de resíduos enviados para a disposição final que atenda os padrões ambientais (JARDIM *et al*., 2012).

Conforme BEZEN *et al*., (2021), acerca dos 10 anos da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, afirma que menos de 60% dos 5570 municípios brasileiros possuem Planos de Gestão de Resíduos. Porém, as cidades que apresentam os referidos Planos, ainda não se sabe as suas efetividades uma vez que implementados.

3.2.2.2 Principais Legislações Estaduais da Coleta Seletiva

A Lei Estadual nº 18.031, promulgada em 12 de janeiro de 2009, estabeleceu a política de resíduos sólidos em Minas Gerais. Essa legislação definiu princípios orientadores para a política estadual de resíduos sólidos, incluindo seus objetivos, restrições, planos de gestão integrada de resíduos, logística reversa, obrigações e responsabilidades, bem como os procedimentos relacionados aos resíduos.

Anteriormente no ano de 2000, foi instituída a Lei nº 13.766 que estabelece sobre a política estadual de apoio e incentivo à coleta seletiva de resíduos. No que tange ao Plano Estadual de Coleta Seletiva, o mesmo delibera no primeiro artigo:

> Art. 1º - Esta Deliberação Normativa institui o Plano Estadual de Coleta Seletiva - PECS, que estabelece os princípios, diretrizes, estratégias e critérios que orientarão a atuação do Estado no apoio à implantação ou ampliação da coleta seletiva nos municípios, de forma alinhada com as diretrizes do Plano de Regionalização para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais, incentivando a inclusão sócio produtiva dos catadores de materiais recicláveis e o fortalecimento dos instrumentos determinados pelas políticas de resíduos sólidos. (MINAS GERAIS, 2011).

Contudo, o Plano Estadual de Coleta Seletiva de Minas Gerais, enfatiza o incentivo às Associações de Catadores de Materiais Recicláveis (MINAS GERAIS, 2011). Adicionalmente, o Programa Bolsa Reciclagem, também do governo do Estado de Minas Gerais, foi instituído pela Lei nº 19.823, de 22 de novembro de 2011. Trimestralmente, as associações de catadores de materiais recicláveis, através da Secretaria de Meio Ambiente do município de Ouro Preto, necessitam de lançar quantitativos acerca da produção e coleta dos materiais recicláveis, certidões negativas, dentre outros documentos para a SEMAD (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável) por meio da FEAM (Fundação Estadual de Meio Ambiente). Recurso importante para fomentação das Associações de Catadores.

Vale mencionar, que o Programa Bolsa Reciclagem está presente até o momento no estado de Minas Gerais. Neste sentido, visando reduzir os impactos ocasionados pelo aumento do quantitativo de resíduos no estado de Minas Gerais, de acordo com a Política Estadual de Resíduos Sólidos estabelecida na Lei nº 18.031 de 12 de janeiro de 2009, foi implementado um incentivo financeiro para a prestação destes serviços

ambientais, como a realização das coletas dos materiais recicláveis. Estes incentivos são importantes para a minimização dos impactos negativos no meio ambiente.

3.2.2.3 Legislações do município de Ouro Preto/MG da Coleta Seletiva

As principais regulamentações relacionadas aos materiais recicláveis no município de Ouro Preto começaram a ser estabelecidas a partir de 2003. Consequentemente, ao longo dos anos, outras propostas e leis foram desenvolvidas, seja pelo poder executivo municipal ou pela câmara de vereadores (Tabela 1).

Tabela 1 – Legislações coleta seletiva município de Ouro Preto/MG.

Instrumento	Ano	Objeto
Lei n.º 171	2005	Autoriza o executivo a instituir o programa de coleta seletiva de lixo, a ser implantado nas escolas públicas do município.
Lei n.º 529	2009	Declara de Utilidade Pública a Associação de Beneficiamento e Reciclagem do Lixo e Meio Ambiente e Preservação Ambiental da Cidade de Ouro Preto.
Lei n.º 684	2011	Institui o Programa Municipal de Coleta Seletiva de Lixo e dá outras providências.
Lei n.º 743	2011	Obriga os estabelecimentos comerciais que vendem bebidas engarrafadas em vidro não retornáveis a disponibilizarem recipientes para reciclagem destes materiais.
Lei n.º 113	2011	Cria o Programa Quem Preserva Paga Menos, com isenção de 10% no valor da

		TCR para o residente que pratica a Coleta Seletiva.
Lei n.º 760	2012	Autoriza o Poder Executivo a conceder contribuição à Associação de Beneficiamento e Reciclagem do Lixo e Meio Ambiente e Preservação Ambiental.
Lei n.º 790	2012	Autoriza o Poder Executivo a conceder contribuição à Associação de Beneficiamento e Reciclagem do Lixo e Meio Ambiente e Preservação Ambiental.
Lei n.º 851	2013	Autoriza o Poder Executivo a doar bens e contratar serviços em favor da Associação de Beneficiamento e Reciclagem do Lixo Ambiental e Preservação Ambiental da Cidade de Ouro Preto.
Lei n.º 1.309	2022	Instituí o dia Municipal de Luta dos Agentes de Reciclagem de Materiais no Município de Ouro Preto e dá outras providências.
Lei n.º 1.373	2023	Instituí o Auxílio Catador, que objetiva a concessão de incentivo financeiro aos catadores de materiais recicláveis do Município de Ouro Preto.

Fonte: Adaptado de Pereira (2019) e Município de Ouro Preto/MG (2023).

3.2.3 Associações de Catadores de Materiais Recicláveis

A PNRS versa a respeito da responsabilidade dos municípios acerca do Plano Municipal de Resíduos Sólidos (PMRS). Neste contexto, as cidades devem estabelecer critérios para a realização da coleta seletiva, sendo que de maneira preferencial devem ser executadas por Associações de Catadores de Materiais Recicláveis (TELLES, 2022).

As cooperativas de reciclagem também contribuem para a economia local, gerando renda para os cooperados e empregos indiretos, fazendo com que reduza os custos de produção, levando a preços mais baixos para os consumidores. Indiretamente, as cooperativas também contribuem para a saúde pública, para o saneamento e para a redução da necessidade de construção de mais aterros sanitários, ajudando a reduzir os impactos ambientais negativos da disposição inadequada dos resíduos sólidos, assim acarretando no prolongamento do ciclo de vida dos diversos produtos (TELLES, 2022).

Nas cidades do interior paulista como Orlândia e Ourinhos, já se notam iniciativas de contratações de Associações de Catadores. De modo geral as contratações das Associações de Catadores de Materiais Recicláveis diversificam seus modelos com quantidades coletadas ou comercializadas, distâncias percorridas e também residências atendidas (JÚNIOR *et al.,* 2014).

Determinado modelos focados em distância percorrida, variando seus termos de condições, incluindo o método de cálculo de valor do contrato são executados. Outros contratos baseados nas quantidades de resíduos coletados ou comercializados. Contudo, os convênios que apontam fragilidade legal são a maioria dos modelos de coleta seletiva de poderes executivos com associações e são habituais no âmbito social e ambiental, (JÚNIOR *et al*., 2014).

Na cidade de Ouro Preto – MG, existe um termo de cooperação entre o município e as Associações de Catadores, Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Rancharia (ACMAR) e a Associação de Beneficiamento e Reciclagem do Lixo e Meio Ambiente (ACPF). De acordo com o Portal da Transparência da cidade, o executivo municipal é responsável por custear energia elétrica, galpões, motoristas e seus respectivos caminhões (OURO PRETO, 2023).

Desta forma em Ouro Preto – MG, a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Rancharia (ACMAR) fundada em 2005, teve origem como resultado da ação da realocação dos catadores do antigo lixão da cidade, com o suporte da Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Destaca-se que a ACMAR foi uma das primeiras Associações de Catadores do estado de Minas Gerais, a reciclarem o vidro, uma vez que prosseguem até hoje através do Projeto Reciclar.

Também no município de Ouro Preto – MG, a Associação de Beneficiamento e Reciclagem do Lixo e Meio Ambiente e Preservação Ambiental da cidade de Ouro Preto (ACPF), foi criada no ano de 2003, também com o propósito de retirada dos catadores do lixão (PEREIRA, 2019). Vale frisar, que a ACPF assim como a ACMAR é encarregada por realizar o “Programa Ouro Preto Recicla”. No início de 2018, a ACPF comercializou em torno de 70 toneladas de materiais recicláveis. Adicionalmente ao apoio da PMOP, a ACPF possui parcerias com a Samarco, a UFOP e outras instituições do município (OURO PRETO, 2018).

Assim sendo, as Associações de Catadores de Materiais Recicláveis são representadas pelo Movimento Nacional dos Catadores (MNCR), se estabelecendo como um movimento que resguardam os direitos dos trabalhadores como os principais realizadores da coleta seletiva nos municípios. Desta forma, as organizações compostas por catadores têm acessado recursos por meio de projetos desenvolvidos pelas administrações municipais ou por meio de projetos próprios submetidos em editais (JÚNIOR et al., 2014).

Esses recursos são direcionados para aquisição de equipamentos, construção de centrais de triagem, oferecimento de cursos de formação e capacitação para os catadores, melhoria das condições sanitárias e de trabalho nas centrais de triagem e fortalecimento das redes entre as organizações. Esse fortalecimento possibilita a coordenação da venda coletiva e a negociação de preços mais vantajosos na comercialização direta de materiais recicláveis para a indústria (JÚNIOR *et al*., 2014).

3.2.4 Disposição dos Resíduos Sólidos

As técnicas de disposição final devem ser executadas independentemente das outras técnicas, que são de tratamento dos resíduos sólidos. Mesmo sendo melhores, e estes tratamentos sendo considerados como alternativas, as constantes produções

e gerações de resíduos levam muita das vezes os resíduos aos aterros por diversos fatores (CALLIJURI; CUNHA, 2013).

A destinação habitual dos resíduos ao longo dos anos e com o passar do tempo em locais do convívio da população e distantes do ambiente eram os intitulados lixões. Estes, denominados também de vazadouros a céu aberto (CALLIJURI; CUNHA, 2013). De acordo com Amorim *et al*., (2011), os lixões podem ser considerados como áreas de descarte de resíduos onde o descarte dos resíduos sólidos é feito de modo desordenado, sem passar por processos adequados de tratamento, e sem medidas de proteção ambiental ou de saúde pública.

Essa prática de disposição de resíduos sem controle é comumente observada em muitos municípios. Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos de 2010, a disposição final adequada de resíduos deve ser ambientalmente aplicada em aterros. Nesta perspectiva, a NBR 15.849 (ABNT 2010) define aterro sanitário como:

> técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada na terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores se necessário. (ABNT, 2010, p. 15).

Deve-se mencionar que a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) impediu a prática de descartar resíduos nos locais não regulamentados pelas leis, como os lixões, ao mesmo tempo impondo restrições aos catadores que permaneciam nestes locais. Este esforço teve como objetivo principal a preservação do meio ambiente, ao garantir que os resíduos fossem gerenciados de forma mais sustentável.

Além disso, o poder público, em certos casos, parece negligenciar a influência dos impactos gerados pelos lixões, uma vez que numerosos municípios ainda continuam na persistência dessas áreas para a disposição de resíduos gerados nas cidades. Esta realidade tem começado a gerar debates intensos nos âmbitos sociais, ambientais e econômicos (RONEI *et al*., 2018). A maioria dos “lixões” é caracterizada por sua falta de conformidade, uma vez que operam sem a devida licença ambiental, e não constituem um sistema de gestão para monitoramento dos materiais depositados nestes locais (RONEI *et al.,* 2018).

Nesses locais, uma mistura indiscriminada de resíduos ocorre, incluindo resíduos orgânicos e inorgânicos domésticos, resíduos provenientes da limpeza de praças e

áreas públicas, materiais perigosos, resíduos hospitalares e entulho de construção civil, entre outros (RONEI *et al*., 2018). Desta forma, a NBR 15849 (ABNT 2010) estabelece os sistemas de proteção ambiental do aterro como:

> componentes do aterro sanitário de pequeno porte destinados a minimizar os impactos ambientais decorrentes da disposição dos resíduos sólidos urbanos no solo. Inclui a condição natural favorável do subsolo, a camada impermeabilizante do solo, sistema de recobrimento, sistema de manejo de águas pluviais, sistema de manejo de lixiviados, sistema de manejo de emissões gasosas e paisagismo. (ABNT, 2010, p. 10).

Desse modo, os outros aterros existentes como os de resíduos perigosos, resíduos inertes são construídos de modo mais criterioso a fim de proteger o meio ambiente.

3.3 SISTEMAS DE TRANSPORTES

3.3.1 Logística de Transportes

O transporte é fundamental para o desenvolvimento econômico dos países, além de ser essencial para o meio em que está situado visando o aproveitamento adequado das funcionalidades (VALENTE *et al*., 2011). As funcionalidades podem ser evidenciadas em temas substanciais para o transporte. Neste sentido, destaca-se o vetor do desenvolvimento social possibilitando a integração dos indivíduos para com as realizações das atividades. Além disso, as atividades econômicas em territórios para a produção, reprodução, são consideradas como um vetor significativo relativo ao transporte (VALENTE *et al*., 2011).

Dentre do contexto explicitado da logística de transporte, observa-se a organização dos vastos tipos de transporte. A coordenação de transportes tem como por determinação a facilitação de atribuições, buscando menores impactos. Desta forma, o transporte deve ser realizado por indivíduos preparados e supervisionados por uma administração eficaz (BARBOSA *et al*., 2022).

Neste cenário, vale ressaltar a questão do transporte rodoviário. O próprio apresenta vantagens e desvantagens. No que diz respeito às vantagens, pode-se mencionar a possibilidade da facilidade da flexibilização do serviço em locais situados em áreas dispersas, frequência elevada em suas operações, além da praticidade no transporte de mercadorias e derivados por ser adaptável.

Todavia, as desvantagens associadas ao transporte rodoviário podem ser ponderadas também. O volume de transporte de cargas é considerado menor do que os transportes marítimos e ferroviários. Ademais, é um tipo de transporte que pode ser mais afetado por condições climáticas o que pode acarretar em mais acidentes (BARBOSA *et al*., 2022).

Em vista disso, deve-se considerar os elementos substanciais para a promoção da integração da coordenação dos transportes que são:

- Via: local destinado para o translado de pessoas e cargas;
- Veículo: objeto que favorece o translado de pessoas e cargas;
- Terminal: espaço designado para as realizações de embarque e desembarque.

Assim sendo, é relevante relacionar com os variados modais usuais considerando as estratégias presentes. Desta maneira, pondera-se em qual modal será o mais adequado, podendo também ser agregado por modais da esfera a seguir: (ODGEN, 1992 *apud* RODRIGUES, 2007).

- Unimodal: considerado como a maneira mais simplificada de transporte. Normalmente ocorre por meio da utilização de apenas um único veículo e consequentemente com somente uma modalidade de transporte;
- Multimodal: transcorre em situações de carregamentos de cargas onde são aplicadas duas ou mais modalidades de transportes em apenas um único contrato;
- Segmentado: decorrem-se em situações em que são usufruídos veículos diferentes, de uma ou mais modalidades relativas ao transporte sendo contratados isoladamente junto à vários transportadores;
- Sucessivo: apontado como importante em situações de utilização de um ou mais veículos de mesma mobilidade de transporte para alcance do objetivo final, adicionalmente a mais um contrato de transporte.

Portanto, deve-se enfatizar que a escolha do modal pode ser estabelecida em razão de parâmetros de decisão como tempo médio de entrega, custo, tempo do trânsito além da análise de risco. Em vista disso, obtém-se benefícios relacionados a melhoria do serviço, redução do custo total, redução do impacto ambiental *apud* (ALVARENGA; NOVAES, 2011).

3.3.2 Questões ambientais dos transportes

Evidencia-se também nos últimos tempos, desafios sociais e ambientais relacionados aos transportes de modo geral. Com esta concepção, as atividades associadas aos transportes podem ocasionar a emissão de poluentes e levarem a efeitos de certos elementos (SENNA, 2014):

- Qualidade do ar: a piora da qualidade do ar pode ser notada visualmente em determinados casos. Salienta-se que este elemento alterado modifica o ambiente, afetando a vida de indivíduos e consequentemente levando ao desencadeamento de problemas respiratórios e doenças cardiovasculares;
- Ruído: os ruídos propiciados pelos sistemas de transportes podem impactar à saúde e o bem-estar da população, estimulando problemas psicológicos além de distúrbios funcionais;
- Qualidade da água: possíveis acidentes relacionados aos sistemas de transporte, tem o potencial de ocasionar a contaminação das águas subterrâneas, lagos e demais corpos hídricos;
- Uso de espaços: as infraestruturas dos transportes e seus referidos equipamentos necessitam de ambientes para estarem em seu devido funcionamento pleno. Neste sentido, a poluição visual pode ser indicada nesta pauta.

Em sequência, demonstram-se as referidas características dos principais tipos de poluentes propagados por veículos urbanos: (BARBOSA *et al*., 2022 *apud* ENGELMOER *et al*., 2012; NUNES *et al*., 2015).

- Monóxido de Carbono (CO): poluente gerado a partir da queima inadequada de combustíveis, ocasionando implicações nos locais, podendo influenciar a saúde humana como intoxicações e problemas de oxigenação;
- Dióxido de Carbono (CO_2): considerado o principal poluente de ocorrência na atmosfera, oriundo da queima de combustíveis. No entanto, o próprio se torna um passivo ambiental em razão da grande quantidade das emissões, sendo um gás de efeito estufa;
- Hidrocarbonetos: poluentes provenientes da queima incompleta dos combustíveis fósseis, podendo levar a impactos ambientais;

- Óxido de nitrogênio (NOX): consequência da combustão em elevadas temperaturas de combustíveis em propulsores. Está interligado com os eventos de chuva ácida;
- Óxidos de enxofre (SOX): provenientes da queima de combustíveis que dispõem de enxofre. Podem acarretar em doenças cardiorrespiratórias e estão associadas às chuvas ácidas.

Dentre os principais problemas interligados com a qualidade do ar, estão os poluentes lançados na atmosfera, destaca-se o Dióxido de Carbono. Os sistemas rodoviários representam uma das principais origens de poluição devido à combustão incompleta nos motores, resultando na emissão de gases, líquidos e partículas sólidas que se acumulam na atmosfera. O dióxido de carbono (CO_2) é o principal gás liberado durante o processo de combustão interna dos veículos (PINTO *et al*., 2004).

Com os poluentes destacados, pode-se mencionar também a respeito dos modelos de emissões. O *Assessment and Reliability of Transport Emission Modelling and Inventory Systems* (ARTEMIS), uma colaboração entre 37 laboratórios de 14 países europeus, teve seu início em 2000 e tem como objetivo principal o desenvolvimento de um modelo de emissões abrangendo os modos de transporte rodoviário, ferroviário, aéreo e hidroviário (ANDRÉ *et al*., 2009 *apud* PASCHOAL, 2015). O ARTEMIS resulta na capacidade de estimar emissões de poluentes como CO, HC, NOx, entre outros importantes, contribuindo assim para uma compreensão do impacto ambiental relacionado aos modos de transporte existentes.

3.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

3.4.1 Propriedades dos SIG

Atualmente, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) vão muito além de serem apenas programas de computadores e ferramentas de mapeamento. Eles desempenham um papel essencial no gerenciamento e análise de informações que têm uma forte dependência de suas localizações, também conhecidas como informações espaciais ou geográficas. Os SIG representam uma tecnologia fundamental para desenvolver abordagens críticas na compreensão, representação, gestão e comunicação de diversos aspectos das paisagens naturais e humanas.

Eles também têm um papel crucial na melhoria da compreensão da Terra como um sistema ambiental complexo. Além disso, os SIG facilitam a disseminação e o compartilhamento do conhecimento relacionado a informações de natureza espacial, permitindo que os conceitos sobre nosso mundo sejam comunicados de maneiras abstratas e variadas (CALLIJURI; CUNHA, 2013).

Assim, um desenvolvimento de um determinado trabalho com equipamentos, dados, usuários auxiliam nas tomadas de decisões e planejamentos resultando em resoluções de problemas se tornando um exemplo de uma prática em um cenário real de aplicação de um SIG (Figura 4).

Figura 4 – Aplicação de um SIG.

Fonte: Adaptado de Ferreira (2006).

Importante notar que os Sistemas de Informações Geográficas empregam dados específicos acerca das características e eventos que ocorrem na superfície terrestre. Sob essa ótica, os computadores são habilitados para processar uma quantidade significativa de informações, dentre elas:

- Números: através de operações matemáticas como adição, divisão, multiplicação, entre outras;
- Sons: com o auxílio de dispositivos periféricos e de processadores específicos que podem gravar, reproduzir e processarem sons;
- Textos: possibilitando a edição, envio, criação e recebimentos de mensagens além de documentos;

- Imagens: viabilizando a edição e processamento de fotos, gráficos, formas de imagens e ilustrações;
- Tabelas e Listas: disponibilizando instrumentos para a organização, interpretação de dados em planilhas eletrônicas e análise das mesmas;
- Mapas e imagens da superfície terrestre: empregados em programas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para análise e visualização de dados espaciais.

A realização de armazenamento, pesquisa, recepção, envio de informações manualmente pode ser um processo extremamente lento, com grande probabilidade de ocorrência de erros. Somado a isso, os trabalhos com mapas em papéis hoje em dia são desafiadores para manuseá-los, armazená-los. Por esta razão, a aplicação de computadores guarnecidos de programas computacionais de SIG, levam a operações mais fáceis além de produtivas (FERREIRA, 2006).

Ademais, enfatiza-se que a apresentação visual de formato gráfico torna mais fácil a interpretação de gestores públicos, governantes, gerentes (RAINER JR e CEGIELSKI, 2016). Dispositivos utilizam o sistema de posicionamento global (GPS, do inglês *global positionning system*). Através desta compreensão, ressalta-se que o GPS é reconhecido como a mais atual maneira de encontro de um determinado ponto na superfície terrestre. Variadas esferas das atividades humanas utilizam o GPS, seja para aviações, expedições e localizações avulsas dentro do cotidiano diário das pessoas (STEIN, 2021).

Assim sendo, a grande parte das aplicações SIG constantemente, retratam uma estrutura geral com interface de interação e comunicação com o utilizador, conjuntamente com base de dados e uma gestão da própria da base de dados com suas devidas funcionalidades para entrada e edição de dados. Os avanços da Internet possibilitam o acesso a bases de dados geográficas remotas, certa vez que as estruturas internas de programas admitem publicar dados remotamente por meio de serviços WFS (*Web Feature Service*), WCS (*Web Coverage Service*), WMS (*Web Map Service*) em consentimento com as determinações do OGC – *Open Geospatial Consortium* (CAVALCANTE, 2015).

De igual modo, as informações contidas nas representações dos elementos geográficos podem ter formato de matricial (*raster)* ou vetorial (vetor). No modelo de

dados vetorial, o espaço é ocupado por uma gama de pontos, linhas, polígonos especificados por suas propriedades e georreferenciadas por um sistema de coordenadas geométricas. O modelo vetorial é caracterizado por possuir objetos estáticos além de fronteiras bem definidas podendo ter associação de tipologias.

Em contrapartida, o modelo de dados matricial ou *raster* é composto por pixels ou células associadas a um determinado valor, caracterizando uma superfície contínua de variação de um dado. Algumas exemplificações dos dois modelos podem ser indicadas a seguir. Os modelos de vetoriais são apontados com distribuição mais exatas, como localização de pontos de usos de solos, estradas. No entanto, os modelos matriciais (*raster*) são adequados para distribuição espacial contínua como temperatura, pressão atmosférica (CAVALCANTE, 2015).

3.4.2 Sistemas de Referências

Portanto, as localizações são reproduzidas numa aplicação SIG e referenciadas em concordância com a sua posição no mundo real. Na superfície esférica da Terra as posições são medidas por meio das coordenadas geográficas com latitude e longitude. No entanto, em aplicações SIG são mensuradas através de um sistema de coordenadas plano e bidimensional, delineando a distância a partir da origem (0,0) ao longo dos eixos: horizontal (X) e vertical (Y) representando os eixos Leste/Oeste e Norte/Sul, respectivamente (CAVALCANTE, 2015). Por conseguinte, convém enfatizar definições relevantes relativas aos sistemas de referências. Aqui estão:

- Paralelos: Dentro do Globo terrestre e considerando linhas imaginárias, o paralelo mais importante é a Linha do Equador. Este paralelo divide o mundo em partes iguais, que são o hemisfério Sul e o hemisfério Norte (setentrional) e o hemisfério Sul (meridional). A começar da Linha do Equador, é plausível traçar os outros paralelos. É relevante sublinhar que os paralelos evidenciam a latitude de um polo a outro;
- Latitude: É medida pelos paralelos e é considerada uma distância em graus de qualquer ponto da superfície da Terra ao Equador (correspondendo a 0°);
- Meridianos: São círculos imaginários que aferem a longitude delimitando os fusos horários e que cortam perpendicularmente os paralelos. Possuem como principal Meridiano o de Greenwich circundando o planeta Terra;

- Longitude: É considerada a extensão verificada em graus de um ponto qualquer ao Meridiano de Greenwich. Então, o ponto de partida para medir a longitude de um referido local é através do Meridiano de Greenwich e que possuí longitude de 0°.

3.4.3 Rotas de Coletas de Resíduos e modelos de roteirização

A NBR 13.221 de 2002 versa a respeito do Transporte Terrestre de Resíduos. Nesse sentido, deve-se apontar critérios significativos da norma, uma vez que a sua aplicação é de grande valia para as coletas dos resíduos. Sendo assim, faz-se necessário enfatizar da referida norma:

> O transporte deve ser feito por meio de equipamento adequado, obedecendo às regulamentações pertinentes. O resíduo, durante o transporte, deve estar protegido de intempéries, assim como deve estar devidamente acondicionado para evitar o seu espalhamento na via pública ou via férrea. Os resíduos não podem ser transportados juntamente com alimentos, medicamentos ou produtos destinados ao uso e/ou consumo humano ou animal, ou com embalagens destinados a estes fins. (ABNT, 2002, p. 2).

Contudo, os resíduos perigosos devem ser transportados respeitando a NBR 15.481: 2023, com o referido documento de controle de resíduo. A nova NBR 15.481: 2023, é importante para garantir a segurança de todos os envolvidos no transporte rodoviário de produtos perigosos, incluindo os motoristas, os trabalhadores das empresas envolvidas no transporte e a população em geral.

Logo, a geodificação vem sendo importante para a logística através da roteirização. O conceito de geocodificação compreende a junção das palavras: "geografia" e "codificação". A palavra "geografia" é aplicada por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que como mencionado, um sistema computacional usado para capturar, integrar, manipular e exibir dados através de mapas digitais.

A parte "codificação" se refere às coordenadas geográficas. Portanto, a geocodificação, também denotada como georreferenciamento, se destaca pela capacidade de atribuição de uma localização geográfica identificável a cada registro ou também um determinado objeto digital (STEIN, 2021).

Esse processo capacita os usuários a gerar informações úteis para planejamento, resolução de problemas e tomada de decisões. A empresa pode gerenciar de maneira

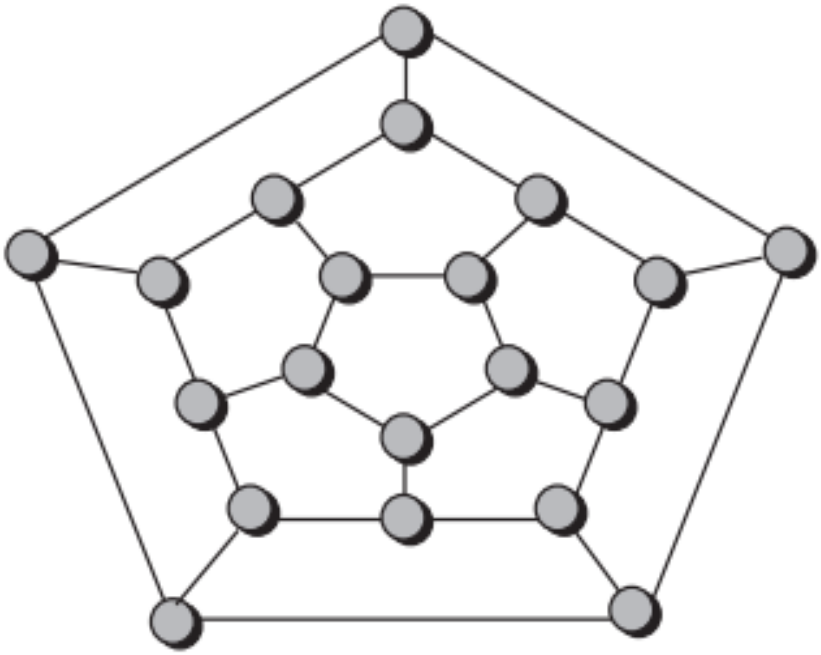
mais eficiente a escolha do percurso ideal para a entrega de produtos, especialmente quando o entregador tem que atender múltiplos clientes. Isso permite que a empresa planeje e organize de forma mais eficaz a logística de suas entregas (STEIN, 2021).

No que diz respeito às coletas de resíduos, segundo Dotoli *et al*., (2017) surge uma demanda crescente para o desenvolvimento de modelos de roteamento eficazes, visando otimizar as distâncias percorridas, minimizar o impacto ambiental e reduzir os custos de investimento na coleta de resíduos sólidos.

Neste sentido, um dos métodos mais utilizados é o do caixeiro viajante. O problema do caixeiro-viajante (PCV) é um dos desafios mais antigos e reconhecidos em matemática e programação (GOLDBARG, 2005) *apud* Campello e Maculan (1994). Geralmente, envolve roteamento, que abrange a visita a pontos de demanda ou oferta. Esses pontos podem representar cidades, locais de trabalho, postos de gasolina, armazéns, entre outros.

Dentro das categorias de circuitos, um dos mais notáveis é o chamado "hamiltoniano," em homenagem a Willian Rowan Hamilton, que, em 1857, concebeu um jogo chamado "*Around the World*" (Figura 5). Nesse jogo, jogado em um dodecaedro, cada vértice estava associado a uma cidade de importância daquela época (GOLDBARG, 2005).

Figura 5 – Esquema do PCV.



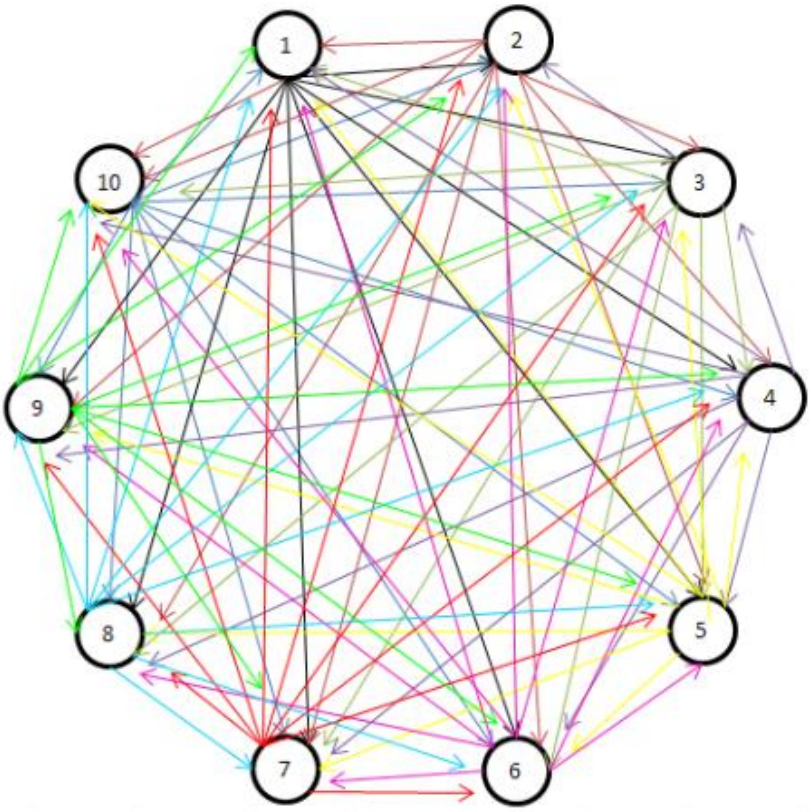
Fonte: Adaptado de Goldbarg (2005).

De acordo com Arenales *et al*., (2007) os PCV são enquadrados na classe de questões relacionadas ao roteamento de nós e são definidos em grafos, que podem ser tanto orientados quanto não orientados. Neste contexto, é importante pontuar que os grafos são formados pela combinação de dois conjuntos, representados por (V,A).

O conjunto V, composto por vértices ou nós, é considerado não vazio e descreve os elementos do grafo. Simultaneamente, o conjunto A é composto por pares ordenados, representando as arestas do grafo (FERREIRA, 2020).

Considera-se o grafo G (c, A), no qual c denota o conjunto de nós do grafo representando 10 cidades, e “A” expressa o conjunto de arcos, o grafo, que descreve as conexões entre as cidades. Os arcos na Figura 6 ilustram as possíveis rotas entre 10 cidades escolhidas, com o objetivo de encontrar a menor distância (Figura 6).

Figura 6 – Grafos.



Fonte: Adaptado de Ferreira (2022).

O PCV possui variações relacionadas ao seu objetivo de otimização, que podem incluir a minimização da distância percorrida, a redução de custos ou a aquisição eficiente de produtos (FERREIRA, 2022). Portanto, a relevância desse modelo é incontestável, tanto do ponto de vista prático quanto do teórico (GOLDBARG, 2005).

O método do Carteiro Chinês é estabelecido como um problema em que um determinado grafo (N,A), de arcos (i,j) possuindo certo cumprimento não negativo $l_{ij,}$ escolhendo um caminho que possuí um comprimento menor que se inicie em algum nó, passando pelos arcos da rede pelo menos uma vez e fazendo com que retorne ao nó inicial (GODINHO; JUNQUEIRA, 2006 *apud* AHUJA *et al*., 1993).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Para o presente estudo, utilizou-se mapas, diagnósticos, relatórios detalhados do município sede de Ouro Preto/MG com informações sobre ruas, estradas, bairros, áreas residenciais e dados do gerenciamento de resíduos sólidos do SNIS. Além disso, empregou-se ferramentas de *software* em geoprocessamento com o propósito de auxiliar na elaboração e análise de rotas otimizadas.

4.2 MÉTODOS

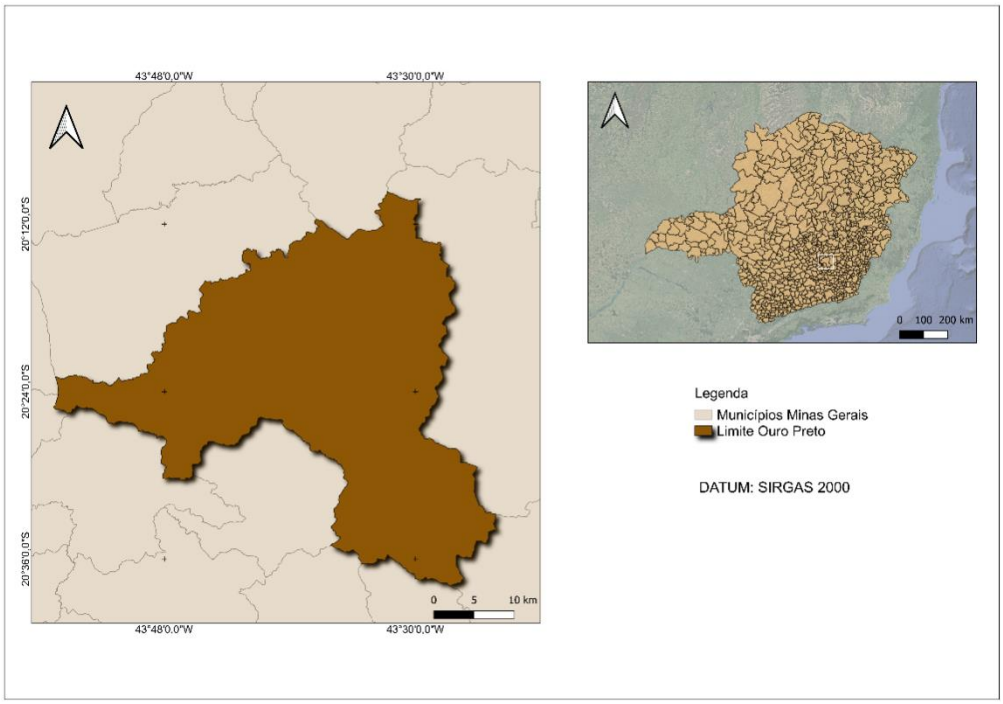
4.2.1 Local de Estudo

O município de Ouro Preto/MG está situado no Quadrilátero Ferrífero do Estado de Minas Gerais, localizado na região central do estado com uma área de 1.245, 865 km^2. Conforme o censo de 2022, a população na cidade em 2022 atingiu a faixa de 74.824 pessoas e a densidade demográfica de 60,06 hab/km^2. Segundo os dados do próprio IBGE de 2010, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) foi de 0,741. Já a escolarização de 6 a 14 anos atingiu o percentual de 98,8%.

A cidade de Ouro Preto/MG apresenta-se em uma situação que 75,6% dos domicílios possuem esgotamento sanitário adequado, 18,9% dos domicílios urbanos têm arborização em suas vias públicas, e 30,6% dos domicílios urbanos contam com urbanização apropriada, caracterizada pela presença de bueiros, calçadas, pavimentação e meio-fio (IBGE, 2010).

Em relação aos outros municípios do estado, ocupa a posição 270º de 853, 792º de 853 e 325º de 853, respectivamente. Quando é comparado com outras cidades do Brasil, sua classificação é a 1134º de 5570, 5144º de 5570 e 1196º de 5570, respectivamente, de acordo com dados do IBGE referentes ao penúltimo censo disponível de 2010 (IBGE, 2010).

Figura 7 – Limite do Município de Ouro Preto/MG.



Fonte: Elaboração própria (2023).

4.2.2 Diagnóstico das rotas atuais de coleta seletiva do município sede de Ouro Preto/MG

Para diagnosticar as atuais rotas da coleta seletiva, foram conduzidas pesquisas de informações em órgãos públicos do município, como a Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e a Secretaria de Obras e Urbanismo. Nos dias 15/09/2023 e 22/09/2023, foram consultadas as bases de dados das rotas em execução, os termos de cooperação entre o poder público municipal e as associações de catadores, além das características dos mecanismos e ferramentas que viabilizam a realização da coleta. Posteriormente, procedeu-se com o:

- Levantamento da frota: descreveu-se as características dos veículos utilizados no serviço de coleta seletiva;
- Identificação dos trabalhadores em veículos: coletou-se informações acerca do número de turnos e equipes de trabalho;

- Mapeamento dos locais e análise da frequência da coleta: verificou-se as regularidades da coleta seletiva em bairros do município sede.

4.2.3 Identificação das potencialidades de melhorias das coletas seletivas existentes

Para a identificação das potencialidades de melhorias, realizou-se acompanhamentos de determinadas rotas da coleta seletiva nos dias 11/01/2023, 12/01/2023, 13/01/2023, 16/01/2023, 17/01/2023, 18/01/2023 do município sede de Ouro Preto/MG e visitas às Associações de Catadores de Materiais Recicláveis nos dias 18/01/2023, 20/03/2023 e 21/03/2023.

Ademais, observou-se a coleta seletiva do dia 23/05/2023. Também, como já mencionado no método acima, registrou-se dados da coleta seletiva de informações apontadas nos dias 15/09/2023 e 22/09/2023, na Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável. Logo, efetuou-se o levantamento dos:

- Aspectos da Coleta: Detectou-se as não conformidades no modelo de coleta seletiva que interferem ou que são ocasionadas pela realização das rotas no município sede de Ouro Preto/MG, como o não atendimento a todos os bairros, mescla de materiais recicláveis e da coleta convencional. Neste sentido, pontuou-se informações dos requisitos que podem ser aprimorados, sugestões e as possíveis não conformidades existentes no gerenciamento da coleta seletiva atual.

Uma não conformidade, segundo a NBR ISO 9000/2015 pode ser definida como o não atendimento de um requisito (ABNT, 2015). NBR: 11.114/1990 e 13.221/2002.

4.2.4 Estimativa dos parâmetros de influência na otimização das rotas

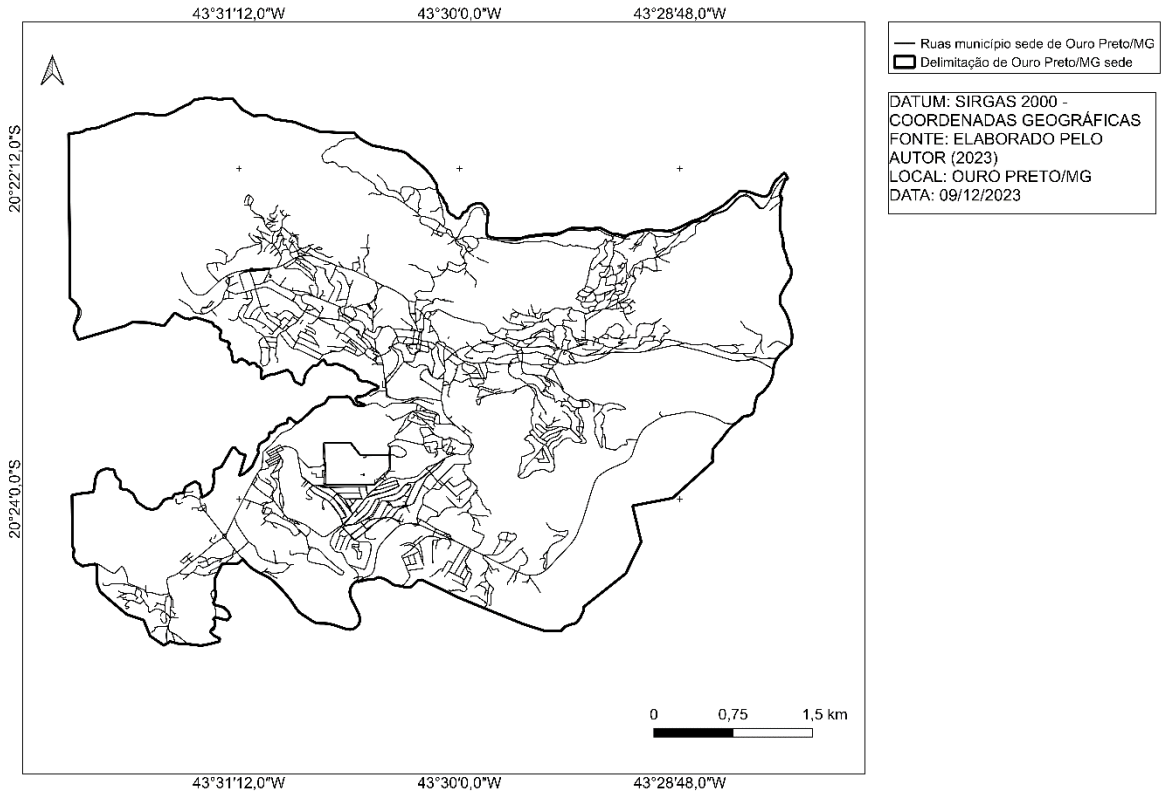
Os procedimentos a seguir foram essenciais para o alcance das estimativas com a otimização das rotas (Figura 10).

- Divisão dos bairros da cidade para a coleta das Associações de Catadores de Materiais Recicláveis: dividiu-se as rotas entre as duas Associações de Catadores de Materiais Recicláveis do município sede de Ouro Preto/MG,

levando em consideração a proximidades entre os bairros e associações, e o quantitativo de resíduos do modo mais proporcional possível. Neste contexto, apenas os bairros centrais Antônio Dias, Centro e Barra foram realocados para a ACPF, de maneira garantir a similaridade da coleta. Ademais, buscou-se através do *software QGIS 3.32.1*, o agrupamento de bairros próximos com o quantitativo de domicílios equivalentes, de modo que as associações consigam coletar uma quantidade aproximadamente similares de resíduos. Para a aquisição do número de residências, os mesmos foram obtidos por meio de contagens no próprio *QGIS*, onde foi sobreposta a imagem do *Google Satelite* e a contabilização realizada por pontos salvos em camada vetorial (.shp);

- Seleção do software: selecionou-se os softwares *ARCGIS 10.6* e *QGIS 3.32.1* empregando suas respectivas ferramentas para a obtenção das otimizações desejadas;
- Malha viária: adotou-se a plataforma do *OpenStreetMap –OSM* de 2023 (Figura 8) do município sede de Ouro Preto/MG, para a realização das análises. Desta forma, tratou-se a malha do OSM excluindo determinadas linhas representativas de travessas, becos, propriedades privadas, restando assim as ruas e avenidas.

Figura 8 – Malha viária do município sede de Ouro Preto/MG.

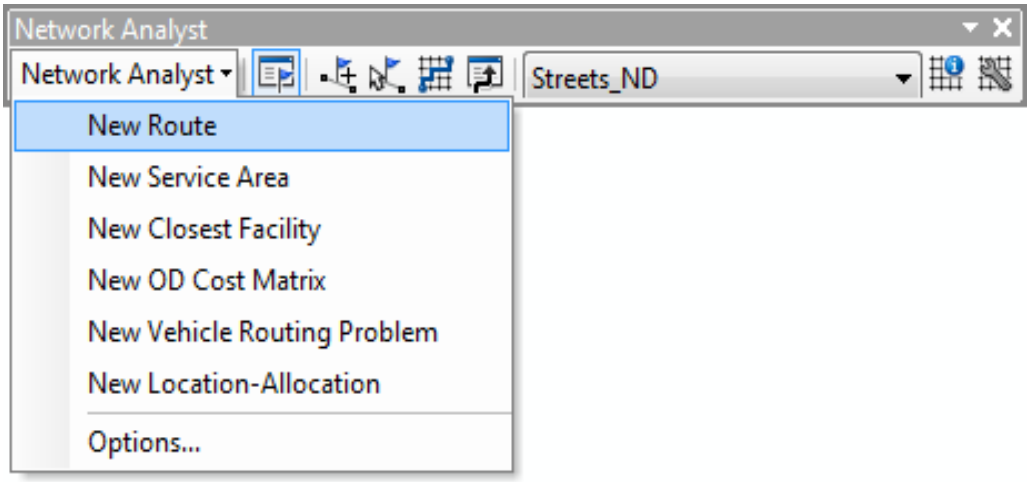


Fonte: Elaboração própria (2023).

- Estabelecimento dos critérios para as rotas: designou-se critérios de acordo com a NBR 13221:2003 e de acordo com Battistella et al., (2014) *apud* Castilhos Junior (2009) , que sugerem iniciar as rotas em locais mais próximas possíveis dos galpões de reciclagem, a finalização também em locais mais próximos dos galpões, gerando rotas com aspectos circulares. Priorizou-se também, ao máximo, a execução inicial das coletas em locais mais íngremes;
- Simulação das rotas: para a simulação das rotas foram utilizadas as ferramentas de análise de redes do *ARCGIS* (Figura 9). Neste sentido, utilizou-se a camada de vetor (.shp) de entrada da própria malha viária de rede do município sede, armazenando as camadas obtidas em (.shp) também, contendo as distâncias percorridas em km. No ícone do software ARCGIS, escolheu-se uma pasta para armazenamento, onde criou-se um

dado denominado de *Feature Dataset*, em que se elaborou o conjunto de dados de rede *New Network Dataset* para iniciação da roteirização. Em seguida, gerou-se os nós nas linhas da malha viária, incluindo as direções (*Directions*) que já estavam presentes nas tabelas de atributos. Posteriormente, acessou-se o complemento *Network Analyst*, onde criou-se as rotas com a função *New Route*. Por fim, executou-se as análises com a função Solve para obtenção das rotas.

Figura 9 – Ferramenta Análise de Rede.

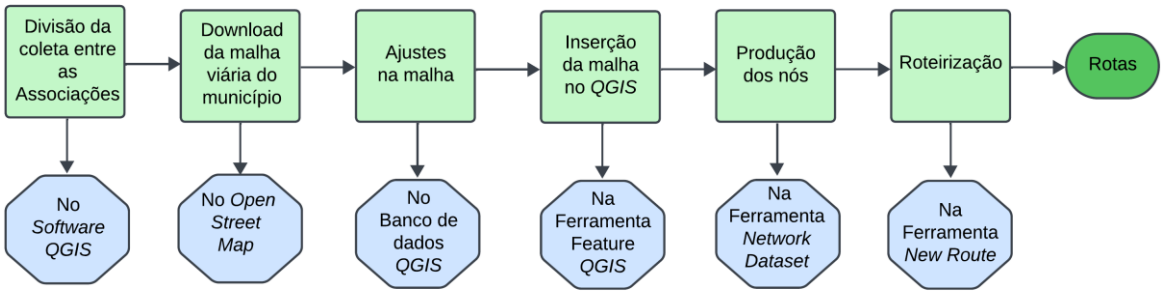


Fonte: ARQGIS, 2023.

- Quantitativo de resíduos: Determinou-se o quantitativo de resíduos recicláveis coletados, por meio da contagem por pontos dos domicílios atendidos pelas rotas no *software QGIS*, sobrepondo a imagem do *Google Satelite* de 2023 no referido *software*. Armazenou-se esses pontos na camada vetor em (.shp). Assim sendo, alcançou-se os o quantitativo de resíduos em kg através da população encontrada pelo software *QGIS* multiplicada pela composição gravimétrica dos RSU dos recicláveis de 32,2% mencionada no panorama da ABRELPE (2022) e pela produção per capita de RSU por habitante de 1,04 kg/hab/dia. Para os PEV's, foram estrategicamente posicionados levando em consideração os locais de difícil acesso;
- Custo dos combustíveis dos caminhões: Levantou-se os custos de combustíveis dos caminhões no Brasil de modo geral, multiplicando as distâncias das rotas otimizadas encontradas pelo valor médio estimado do

diesel de R$6,16 com base nos dados coletados pela Petrobras (2023) dos dias 26/11/2023 a 02/12/2023 e do consumo médio de 5,4 l/km de um caminhão baú da marca VW delivery Express.

Figura 10 – Fluxograma até a obtenção das Rotas.



Fonte: Elaboração própria (2023).

4.2.5 Emissão de carbono em g de CO_2

Por meio dos dados obtidos relativos à quilometragem das rotas otimizadas pelo *software ARCGIS*, alcançou-se por meio de informações em estudos acadêmicos e métodos, o valor médio das emissões de caminhões de resíduos. Neste contexto, multiplicou-se as distâncias encontradas nas otimizações pela emissão média em g de CO_2 por km rodado.

Desta forma, o dado serviu como parâmetro para a aquisição do valor médio das emissões de carbono das rotas otimizadas. Do método ARTEMIS, onde o Fator de Emissão (g/km), em que os caminhões pesados a diesel emitem são cerca de 770 g/km de acordo com IPCC (1996) e a equação 1 de emissão total em g de CO_2, referida no estudo de PASCHOAL (2015):

Eq 1: E = e.*T*, onde e: Fator de Emissão (g/km), T= Atividade do tráfego (km).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ROTAS ATUAIS DA COLETA SELETIVA NO MUNICÍPIO

Mediante a pesquisa efetuada nas Associações de Catadores de Materiais Recicláveis, na Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, além de buscas em bases de dados nacionais relacionadas aos resíduos sólidos, como o SNIS, notou-se aspectos importantes no que se diz respeito às rotas da coleta seletiva do município.

O município de Ouro Preto disponibiliza para as Associações de Catadores de Materiais Recicláveis, os aluguéis dos galpões, custeio da energia elétrica além das despesas relacionadas aos caminhões que realizam a coleta seletiva. Atualmente, em 2023, o município como um todo possui 4 Associações de Catadores de Materiais recicláveis.

Inauguradas no ano de 2023, a AMRAP (Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Antônio Pereira), e a ACARV (Associação dos Catadores Alto Rio das Velhas). Entretanto, como o objeto de estudo do presente trabalho foram as duas associações da sede ACMAR e ACPF, buscou-se informações significativas no que diz respeito a coleta seletiva da sede da cidade, por estas possuírem um termo de cooperação com o poder público municipal vigente a mais tempo. As associações ACMAR e ACPF utilizam caminhões ¾ e baús para a realização da coleta seletiva de materiais recicláveis (Figura 11).

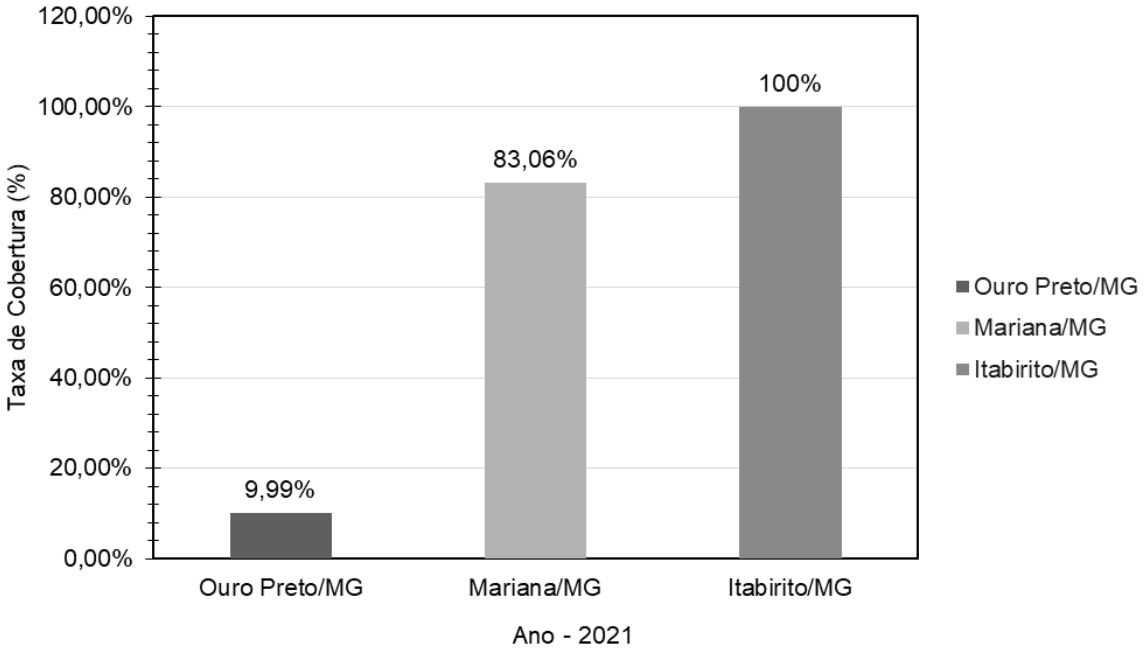
Figura 11 – Caminhão da coleta seletiva.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Ademais, as coletas são executadas por dois trabalhadores, em que os catadores das Associações, funcionários do quadro efetivo da PMOP realizam escalas alternadas. As jornadas de trabalho nas Associações são de 8 horas diárias, onde são efetivadas atividades de coleta, triagem e enfardamento.

De acordo com dados do SNIS de 2021 (Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento), o município de Ouro Preto/MG possui cobertura de coleta seletiva porta-a-porta de apenas 9,99%. No entanto, uma vez comparados os dados do SNIS de 2021 com as cidades vizinhas ao município de Ouro Preto (Figura 12), notou-se uma certa diferença na taxa de cobertura do serviço de coleta seletiva porta a porta.

Figura 12 – Taxa de cobertura do serviço de coleta seletiva porta-a-porta (%).



Fonte: Elaboração própria (2023).

Nos anos de 2019 e 2020, o município de Ouro Preto atendeu, respectivamente, 16,87% e 16,96%, também com a menor taxa de atendimento das cidades da região dos Inconfidentes, através de dados obtidos do SNIS.

De acordo com os dados disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente de Ouro Preto, no ano de 2023, as rotas de coleta seletiva atualmente realizadas no município estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Bairros e rotas atendidas pela coleta seletiva.

Dia	ACMAR	ACPF
Segunda-Feira	Saramenha/Tavares (Quinzenalmente)	Cooperouro/Supermercado Popular/Jumbo Placas/Gráfica/ Câmara Municipal de Ouro Preto (CMOP)/Sesc/Alto das Dores/ Supermercado Dois Irmãos/ Morro São Sebastião
Terça-Feira	Antônio Dias(Quinzenalmente)/Morro São Sebastião/Cond. Campo Grande/UFOP/ recebimento da rotas SEMMA das Cabeças/Água Limpa/ Pilar	Fundação Gorceix/Samarco/ Supermercado Dois Irmãos/CMOP
Quarta-Feira	Vila Operária/Vila dos Engenheiros/Unimed (Quinzenalmente); Jardim Alvorada/Nossa Senhora de Lourdes/ Vila São José/ (Quinzenalmente)	Samarco
Quinta-Feira	UFOP/Fórum	Samarco/Cooperouro Supermercado Dois Irmãos/CMOP/Morro Santana/Gráfica
Sexta-Feira	Bauxita (Quinzenalmente)	Alto da Cruz/Padre Faria/Câmara Municipal de Ouro Preto/ Ladeira de Santa Efigênia/SESC

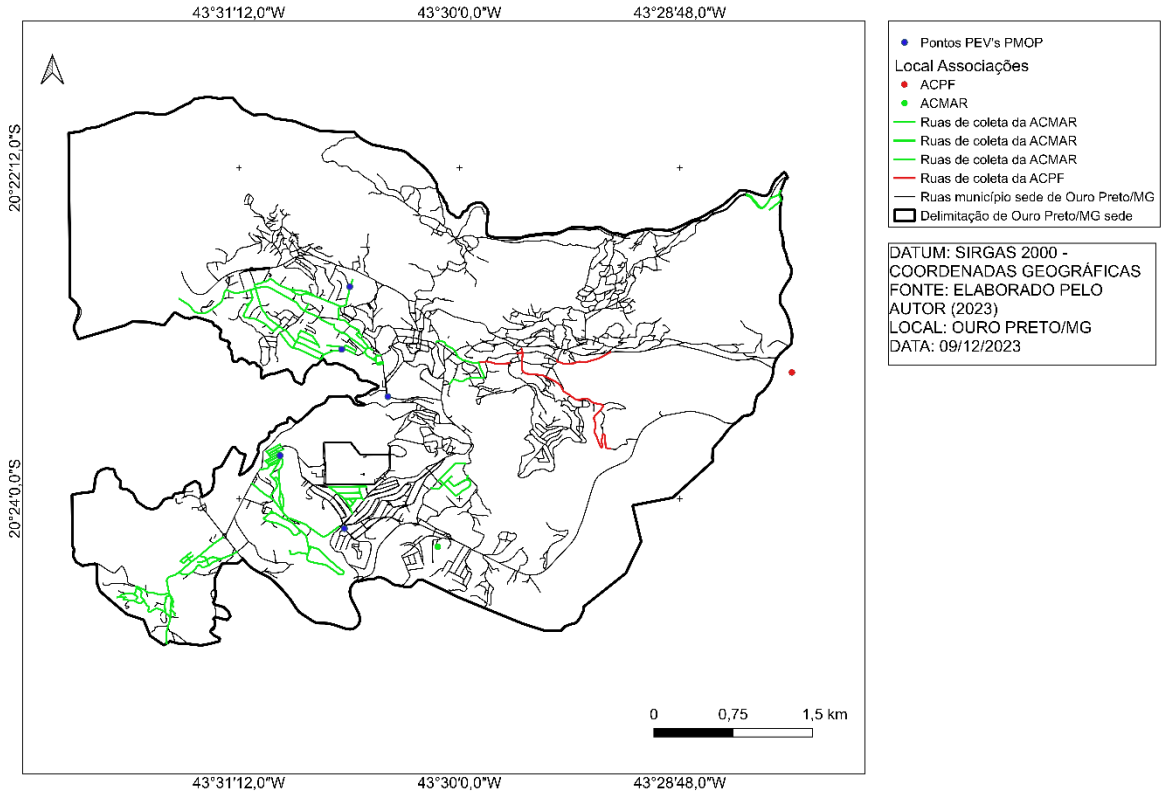
Fonte: Elaboração própria (2023).

Fica evidente que a coleta seletiva é bastante frequente em grandes geradores, como Samarco, Supermercado Cooperouro e Unimed. Grandes geradores são definidos como estabelecimentos com geração maior que 120 litros/dia de resíduos sólidos recicláveis CIMVALPI *apud* BARROS (2012). No entanto, é importante notar

que o serviço porta a porta, essencial para atender às necessidades das comunidades, não está sendo totalmente executado no município sede de Ouro Preto/MG.

De acordo com as informações obtidas, em torno de 47,5 % dos bairros são atendidos pela coleta seletiva, ou que possuem alguma iniciativa de coleta dos materiais recicláveis. Entretanto, nem todas as ruas dos bairros são contempladas com a própria coleta (Figura 13). Além disso, a coleta por demanda é uma prática comum realizada pelas próprias associações, mesmo a ACMAR se destacando por realizar coletas porta a porta em uma escala superior em comparação com a ACPF.

Figura 13 – Ruas de Coleta Porta a Porta e PEV's do município sede de Ouro Preto/MG.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Vale ressaltar que as Associações de Catadores também realizam a coleta em pontos de entregas voluntários (PEV's) de capacidade de até 1000 litros, instalados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e recolhidos em dias alternados pela ACMAR e ACPF, sendo estas iniciativas

importantes do ano de 2023, incluindo a divisão da coleta dos próprios PEV's entre as duas associações (Figura 14).

Os PEV's de responsabilidade da PMOP estão localizados nos Bairros da Bauxita, Vila São José, Vila Operária, Barra (Praça da Estação) e Água Limpa.

Figura 14 – Contêiner da coleta seletiva do município.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Já na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), a coleta fica sob responsabilidade da ACMAR, para contemplar a coleta seletiva no campus atendendo a comunidade acadêmica e comunidade dos bairros ao entorno. Vale destacar que os materiais coletados nos PEV's são exclusivamente recicláveis. É permitido depositar plástico, papel, papelão, vidro e metais. Quaisquer outros materiais que não sejam passíveis de reciclagem não são aceitos (Figura 15).

Figura 15 – Contêiner dos resíduos recicláveis na UFOP.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Além da coleta na UFOP, que fica localizada no bairro do Morro do Cruzeiro, a ACMAR realiza a coleta em algumas ruas do bairro da Bauxita. Para averiguar a execução da coleta seletiva, durante a manhã do dia 13/01/2023 no bairro da Bauxita, efetuou-se um acompanhamento de determinadas rotas da coleta seletiva do município de Ouro Preto – MG, em que se diagnosticou informações relevantes.

Tabela 3 – Acompanhamento das rotas do bairro da Bauxita.

Bairro	Locais e Ruas	Horário
Bauxita	Início no Bairro Santa Cruz, onde o motorista já veio com as colaboradoras da ACMAR	07:00 às 07:40 (40 minutos)
Bauxita	Saída da ACMAR na coordenada (20°24'15.31"S) (43°30'7.42"O) e chegada na Rua Professor Paulo Magalhães Gomes, na coordenada (20°24'2.34"S) (43°30'33.18"O).	08:40 às 08:47

Bauxita	Rua João Fernandes Vieira na coordenada (20°23'56.45"S) (43°30'35.74"O)	08:50 às 08:52
Bauxita	Rua João Fernandes Vieira, na coordenada (20°23'56.41"S) (43°30'36.66"O)	08:56 às 08:57
Bauxita	Rua João Fernandes Vieira na coordenada (20°23'56.54"S) (43°30'39.38"O)	08:57 às 09:00
Bauxita	Rua João Fernandes Vieira na coordenada (20°23'56.53"S) (43°30'40.76"O)	09:00 às 09:02
Bauxita	Rua José Aureliano Leocádio na coordenada (20°23'56.59"S) (43°30'42.82"O)	09:02 às 09:05
Bauxita	Rua José Aureliano Leocádio na coordenada (20°23'57.53"S) (43°30'41.25"O)	09:05 às 09:06
Bauxita	Rua José Aureliano Leocádio na coordenada (20°23'59.52"S) (43°30'38.89"O)	09:08 às 09:10
Bauxita	Rua Artur Vitorino Coelho na coordenada (20°23'57.60"S) (43°30'38.61"O)	09:11 às 09:24
Bauxita	Rua Hamilton Lázaro da Silva na coordenada (20°23'57.94"S) (43°30'32.29"O)	09:24 às 09:30
Bauxita	Praça Doutor Benedito Gonçalves Xavier na coordenada (20°24'0.55"S) (43°30'33.84"O)	09:31 às 09:34

Bauxita	Praça Doutor Benedito Gonçalves Xavier na coordenada (20°23'59.84"S) (43°30'35.82"O)	09:35 às 09:42
Bauxita	Rua José Aureliano Leocádio na coordenada (20°23'58.95"S) (43°30'39.49"O)	09:42 às 09:55
Bauxita	Praça Doutor Benedito Gonçalves Xavier na coordenada (20°23'59.64"S) (43°30'36.76"O)	09:55 às 09:59
Bauxita	Rua José Aureliano Leocádio na coordenada (20°24'1.26"S) (43°30'37.46"O)	10:00 às 10:05
Bauxita	Praça Doutor Benedito Gonçalves Xavier (20°24'2.51"S) (43°30'35.44"O)	10:07 às 10:09
Bauxita ao Centro	Saída da Rua Professor Paulo Gomes Magalhães na coordenada (20°24'0.53"S) (43°30'31.51"O) em direção à Rua Manoel Cabral na coordenada (20°23'15.51"S) (43°30'16.06"O)	10:15 às 10:28
Centro a ACMAR	Saída da Rua Manoel Cabral, na coordenada (20°23'15.51"S) (43°30'16.06"O) às 10:50 e chegada na ACMAR na coordenada (20°24'15.31"S) (43°30'7.42"O)	10:50 às 11:03

Fonte: Elaboração própria (2023).

Durante o percurso, registrou-se fotos das coletas realizadas no referido bairro (Figura 16).

Figura 16 – Coleta Seletiva no Bairro da Bauxita.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Contudo, observou-se que a coleta de materiais recicláveis nas ruas do bairro da Bauxita teve a prática de retornar às ruas que já tinham sido coletadas, para serem efetuados os recolhimentos dos resíduos. Isso ocorreu, devido ao fato de os moradores não terem visto o caminhão passar na hora, e acabaram disponibilizando os materiais recicláveis posteriormente.

Além disso, notou-se que as catadoras das associações necessitam chamar ao interfone, os responsáveis das residências para que estes entreguem os materiais recicláveis. O método ideal seria a coleta dos materiais diretamente na porta das casas, com a devida identificação adequada para não mesclar com a coleta convencional. A coleta diagnosticada na Bauxita, percorreu 3,83 km em seu trajeto dentro da própria rota.

5.2 DESCRIÇÃO DAS NÃO CONFORMIDADES E PROPOSTAS DE MELHORIAS NO GERENCIAMENTO DA COLETA SELETIVA

A partir das visitas realizadas às associações de catadores de materiais recicláveis, ACMAR e ACPF, notou-se um acúmulo de materiais recicláveis relativamente elevado dentro e fora dos galpões (Figuras 17 e 18).

Deve-se frisar que o acúmulo de resíduos pode expor os catadores a riscos à saúde, como a exposição a produtos químicos tóxicos quando misturados com outros resíduos não recicláveis, alguns tipos de materiais cortantes e até mesmo em casos isolados, de doenças transmissíveis (CAVALCANTE *et al*., 2014 *apud* SIQUEIRA; MORAIS, 2009). Além disso, o acúmulo de resíduos recicláveis e não recicláveis quando visível, pode causar uma aparência desagradável para visitantes e em possíveis inspeções.

Figura 17 – Galpão da ACMAR.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 18 – Galpão da ACPF.

Fonte: PMOP (2022).

Paralelamente, um problema diagnosticado recorrentemente, é a não separação dos materiais recicláveis e não recicláveis nos locais de coleta seletiva, como em Lavras Novas distrito de Ouro Preto/MG, que possui muitos visitantes ao longo do ano (Figura 19). Essa prática compromete a triagem e o processo de reciclagem, como observado no estudo de Calvis *et al*., (2020) que destacou a mistura entre resíduos orgânicos e recicláveis.

Figura 19 – Resíduos da Coleta Convencional e Seletiva misturados.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Por outro lado, os moradores do Bairro Cabeças já disponibilizam seus materiais recicláveis para a coleta seletiva identificados com etiquetas e separados, assim evitando o espalhamento dos resíduos e facilitando a coleta do serviço convencional de limpeza urbana e da própria coleta seletiva. Este modelo poderia ser mais replicado, uma vez que a comunidade é envolvida conscientizando os residentes vizinhos, servindo de exemplo tanto para os moradores, tanto para o poder público municipal, pois a identificação dos materiais recicláveis contribui bastante para os coletores (Figura 20).

Figura 20 – Materiais Recicláveis separados.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Outrossim, alguns PEV’s do município vêm contendo a mistura dos materiais recicláveis e não recicláveis, evidenciando a má utilização dos respectivos equipamentos disponíveis para a coleta de materiais recicláveis. Seria pertinente uma maior fiscalização dos PEV’s, para garantir a conformidade e possivelmente, a penalização das possíveis violações (Figura 21).

Figura 21 – PEV do município.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Neste contexto, a educação ambiental é importante para o desenvolvimento da coleta seletiva no município sede de Ouro Preto/MG e em todo local do país. Portanto, o investimento em programas de Educação Ambiental, por meio da conscientização é um passo fundamental também para a realização eficaz da coleta seletiva.

Outro tópico interessante de abordar, é no que diz respeito às solicitações dos moradores nos últimos anos, referentes à coleta seletiva nas comunidades ouro-pretanas. Desta maneira, os habitantes têm conhecimento da Lei Complementar do município nº113 de 27 de setembro de 2011, que versa a respeito do Programa Quem Preserva Paga Menos foi elaborada para oferecer benefícios fiscais a indivíduos que promovam iniciativas em prol da sustentabilidade.

De modo geral, os impactos negativos na qualidade de vida de uma cidade e no meio ambiente em um todo podem ser notados por residentes de um município, como a poluição dos acúmulos dos resíduos. Muitos cidadãos possuem uma conscientização que se faz pelo intermédio de uma compreensão da relação entre a gestão de resíduos e o meio ambiente. Portanto, as autoridades algumas das vezes são cobradas por estes cidadãos, que em sua maioria, são defensores da coleta seletiva, pressionando para que o sistema funcione de maneira mais eficaz.

Entretanto, observou-se que a educação ambiental ainda requer aprimoramento no município sede de Ouro Preto/MG. As práticas de descartes de resíduos recicláveis em locais inadequados ainda ocorrem, embora uma porcentagem da população ainda demonstre conscientização ao participar dos programas de Coleta Seletiva.

Somado a isso, detectou-se que as associações levam e descarregam os vidros coletados e triados para o Ecoponto Municipal. Os contêineres dos vidros permanecendo nas Associações poderiam ser interessantes do ponto de vista das triagens de outros materiais que ficam já nos galpões. O tempo gasto na logística de transporte de vidros para o Ecoponto Municipal, seria empregado em outras realizações de atividades dentro dos galpões. Sabe-se que o vidro não se tem um valor de mercado tão satisfatório, e sendo assim pode-se pensar em um espaço mais adequado para fosse viabilizada a venda deste material.

Em uma outra opção também, seria a realização do armazenamento de forma conjunta do vidro por parte das duas Associações, ACMAR e ACPF o que resultaria em uma venda mais valiosa, com um volume coletados de resíduos mais elevado, através de uma possível implementação de uma cooperação entre as Associações em relação à coleta e destinação dos vidros.

Figura 22 – Caçamba de vidros do Ecoponto Municipal.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Por meio da pesquisa realizada, verificou-se que as duas Associações não realizam a pesagem dos materiais recicláveis coletados. Estes materiais recicláveis,

são pesados pelo comprador. Pode-se pensar em um modelo de pesagem das próprias associações para que as mesmas tenham acesso frequente aos valores.

Consequentemente, uma vez que os catadores não realizam a pesagem dos materiais, o movimento acaba afetado e impactando negativamente os resíduos que são comercializados de modo global, uma vez que eles podem valorizar mais os materiais recicláveis através destas observações.

Através das abordagens enfatizadas, deve-se destacar que para a execução adequada das rotas de coleta seletiva, o monitoramento dos quantitativos que chegam nas Associações de Catadores de Materiais Recicláveis, é extremamente fundamental. Além disso, o conhecimento acerca do desvio de aterro, obtido pelas Associações, por intermédio das triagens de materiais recicláveis é um aspecto relevante a ser mencionado. Portanto, o investimento em capacitações aos catadores é essencial.

Muitas das vezes, as Associações de Catadores de Materiais Recicláveis necessitam de estar lidando com questões administrativas, as práticas da coleta, triagem e a administração da equipe. Dessa maneira, a divisão das tarefas específicas pode ser interessante. Treinamentos voltados para a gestão organizacional, planejamento das estratégias, gestão financeira e liderança são essenciais para garantir que as Associações funcionem de maneira organizada e eficiente.

Com as atividades dentro do galpão e coleta bem mais definidas, pode-se ser um facilitador para realizações de rotas mais eficientes. Atualmente, as Associações do município sede de Ouro Preto/MG possuem parcerias que os auxiliam bastante nos procedimentos e na própria gestão, como subvenções financeiras privadas e capacitações. No entanto, determinadas ações precisam ser colocadas mais em prática, para que os resultados sejam melhores alcançados.

De certa forma, uma maneira de aumentar a rapidez nas atividades de processamento dos materiais recicláveis, são através de equipamentos aprimorados, podendo aumentar a capacidade da coleta e triagem em um tempo mais adequado. Além disso, para reduzir o volume dos materiais recicláveis, os prensadores de melhores qualidades, poderiam ser mais bem empregados nas Associações. Além dos equipamentos, o tipo de caminhão para realização da coleta seletiva tem sua importância. Certamente, a qualidade do caminhão de coleta desempenha um papel

fundamental na eficiência da coleta destes materiais recicláveis. Um exemplo é o da SLU (Serviço de Limpeza Urbana) de Belo Horizonte, onde os transportes dos resíduos recicláveis são realizados por caminhões automatizados (Figura 23).

Figura 23 – Caminhão da SLU de Belo Horizonte de Materiais Recicláveis.

Fonte: Elaboração própria (2023).

A capital mineira possui os Pontos Verdes de coleta seletiva (Figura 24). A SLU efetiva a coleta em diversos pontos, com o auxílio do caminhão.

Figura 24 – PEV de materiais recicláveis da Prefeitura de Belo Horizonte.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Enquanto o município de Belo Horizonte/MG se destaca por seus pontos de entrega voluntária e pela presença de caminhões de coleta tecnológicos, para a realização também da coleta porta a porta, Ouro Preto/MG, por outro lado, enfrenta o desafio de ruas mais estreitas e algumas de difícil acesso, o que pode influenciar a logística da coleta seletiva na sede. É necessário, portanto, pensar em veículos de coleta seletiva condicionalmente a essas condições.

Em suma, após os aspectos relacionados diagnosticados atuais, deve-se refletir também o papel do poder público. De acordo com Baptista (2015), a coleta seletiva demanda apoio das autoridades públicas. Mesmo de maneira gradual, as cooperativas e Associações de Catadores enfrentam desafios estruturais significativos, ainda que estejam encaminhando em sua organização e estruturação. Elas requerem assistência contínua, incluindo suporte jurídico para garantirem seus direitos e executarem seus deveres, recursos financeiros para realizar melhorias nos galpões e adquirirem equipamentos, bem como o apoio educacional e cultural.

Elas enfrentam o constante desafio de conciliar os princípios cooperativos, como solidariedade, igualdade, liberdade com a competitividade do mercado da livre concorrência. Neste contexto, iniciativas como a da Lei nº 1.373 de 2023 são bastante interessantes. O estímulo mencionado nesta legislação é de R$500,00 (quinhentos

reais), valor fixo a ser entregue mensalmente a cada catador inserido em cada Associação de Ouro Preto/MG.

Assim sendo, o montante do Auxílio Catador determinado poderá ser alterado por meio de um Decreto instituído pelo Poder Executivo, desde que sejam levadas em consideração a disponibilidade orçamentária do município para o atendimento do auxílio previsto por esta Lei. As Associações ou cooperativas com cadastro no Auxílio Catador devem constatar sua produtividade, tanto na coleta de materiais recicláveis quanto na execução das rotas estipuladas em conjunto com a SEMMA, no termo de cooperação e/ou plano de trabalho estabelecido em concordância com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do município.

Essa comprovação é essencial para que os catadores, pessoas físicas de cada Associação, estejam elegíveis para receberem o auxílio estipulado pela Lei nº 1.373/2023. Entretanto, uma vez que a responsabilidade da coleta seletiva é do poder público municipal, é necessário efetivar mais a referida coleta para que seja possível aumentar o comprometimento das Associações.

Dentre todos os itens mencionados, destaca-se que de algum modo todos interferem nas rotas de coleta seletiva. Assim sendo, o quadro abaixo (Tabela 4), sugere o que pode ser realizado a fim de se resolver possíveis gargalos.

Tabela 4 – Não conformidades visualizadas.

Não-conformidade	Justificativa da não conformidade	Sugestão de melhoria	Como melhorar?	Responsáveis
Baixa cobertura da coleta seletiva no município	Lei n.º 12.305 de 2010, da Política Nacional dos Resíduos Sólidos	Investimentos na estrutura da coleta seletiva	Aquisição de caminhões, contratação de catadores	Poder público municipal
Não acondicionamento correto dos resíduos	NBR 11.174 Armazenamento dos Resíduos – Classe II (Não inertes)	Mais investimentos na estrutura da coleta seletiva	Contratação de mais catadores, aquisição de mais dispositivos para acondicionam	Associações de Catadores de Materiais Recicláveis e Poder público municipal

			ento dos resíduos	
Insuficiência de campanhas de Educação Ambiental	Lei n.º 9.795 de Educação Ambiental de 1999 e Lei n.º 14.393 de 2022 da Campanha verde	Campanhas intensivas de Educação Ambiental em todo município	Realização de mais parcerias público-privadas para divulgações em massa além de mais incentivos financeiros para os cidadãos que participarem da coleta seletiva	Poder público municipal e Associações de Catadores de Materiais Recicláveis

Fonte: Elaboração própria (2023).

5.3 PROPOSTA DE ROTAS OTIMIZADAS PARA O MUNICÍPIO SEDE

Com a finalidade de alcançar os dados da estimativa dos parâmetros representativos de influência na otimização das rotas de coleta seletiva do município, visualizou-se que ambas as associações já têm uma presença estabelecida em determinados bairros e um entendimento de onde elas encontram os melhores materiais recicláveis.

A alguns anos atrás as Associações (ACMAR e ACPF), conjuntamente com o poder público municipal de Ouro Preto/MG, elaboraram uma planilha acerca dos bairros que deviam ser coletados, dividindo para as Associações os locais de coletas em relação aos materiais recicláveis.

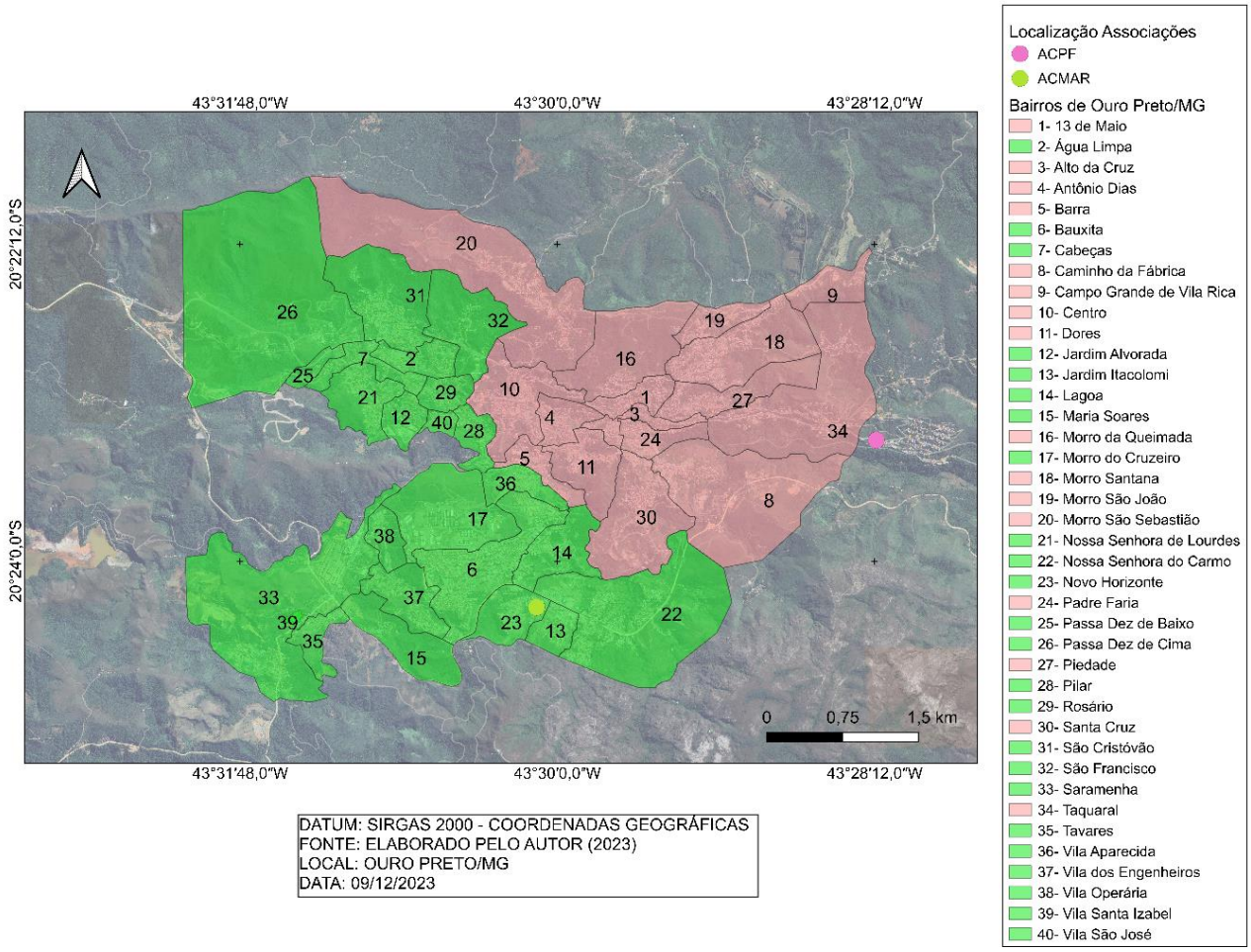
Assim sendo, para garantir uma boa expansão da coleta seletiva em bairros diagnosticados com o não atendimento, o presente trabalho optou-se por uma estratégia que leva em consideração a proximidade geográfica e a divisão por uma coleta mais igualitária do ponto de vista do contingente populacional do município sede para as duas Associações.

A realização da divisão das rotas com base na geografia, envolve atribuir para as Associações, os locais específicos das áreas que serão atendidas. Dessa maneira, os critérios como a distribuição de bairros com a proximidade aos galpões das Associações podem ser eficazes para otimizar as rotas de coleta e assim, reduzir o tempo dos caminhões em seu deslocamento.

Desse modo, as Associações podem adaptar suas estratégias de coleta seletiva com base nas demandas locais e aumentar o envolvimento da comunidade para fortalecer a colaboração entre as próprias Associações de Catadores e os moradores.

Considerando estes critérios mencionados, dividiu-se os 40 bairros contidos dentro de Ouro Preto para a coleta das duas Associações de Catadores do município sede (Figura 25).

Figura 25 – Mapa da proposta de Divisão da coleta seletiva no município.



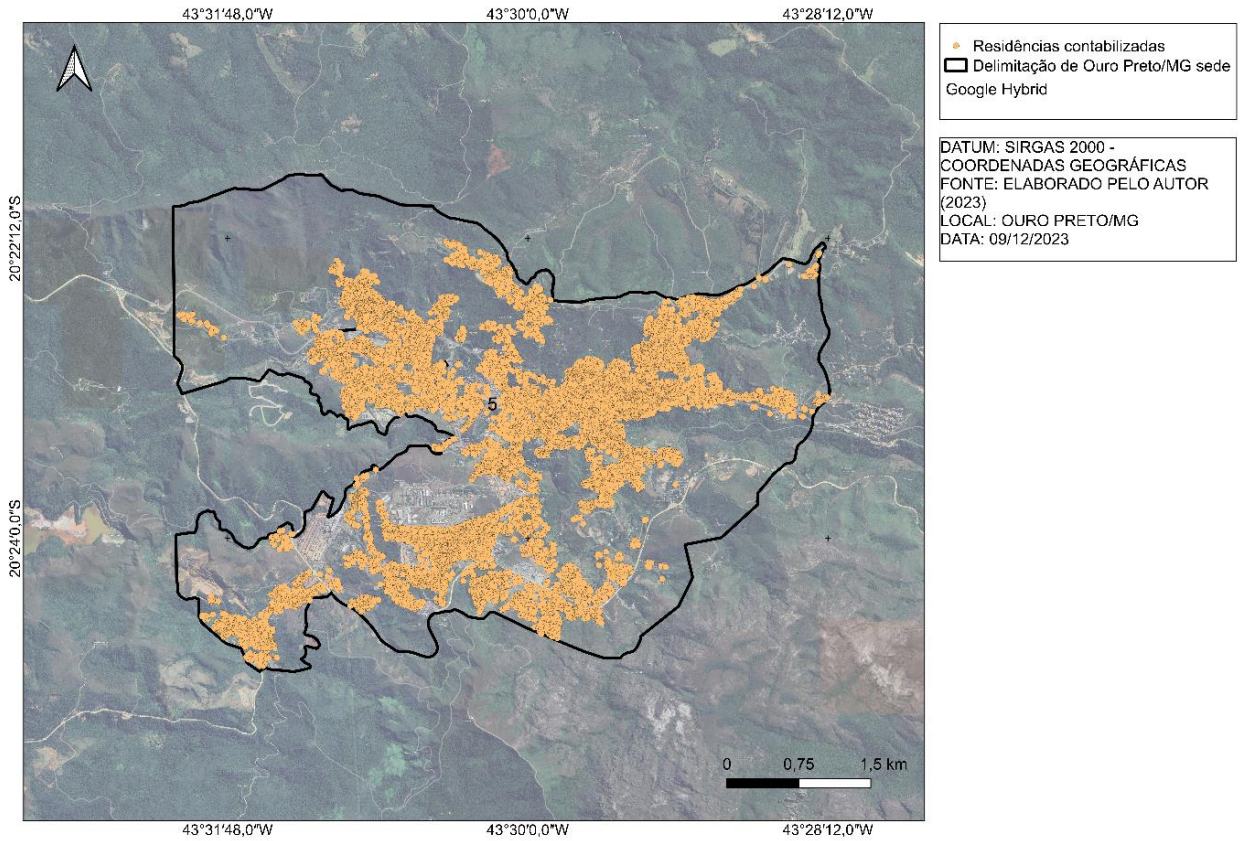
Fonte: Elaboração própria (2023).

Para determinação de certos critérios, por meio de Battistella *et al.,* (2014) *apud* Castilhos Junior (2009) a e NBR 13221:2002 de transporte terrestre de resíduos, admitiu-se o ideal da coleta iniciando e finalizando mais próximo possível do local dos galpões das associações onde são realizadas as triagens e também reduzindo trechos improdutivos do ponto do contingente populacional.

Do ponto de vista da roteirização entre os bairros, as rotas foram realizadas a partir do método do caixeiro viajante. Ou seja, iniciaram no ponto mais próximo dos galpões e foram finalizadas no local mais próximos dos galpões. Para a fim de obtenção da distância percorrida como um todo, calculou-se as distâncias das rotas iniciando nos galpões e finalizando nos próprios galpões, configurando assim configurando o problema do carteiro chinês.

Como já especificado, buscou-se também a realização de uma divisão mais igualitária na guarnição das coletas das Associações dos materiais recicláveis. Portanto, a ACMAR ficou com em torno de 7.527 e a ACPF em torno de 6.966 domicílios para serem atendidos. No entanto, é importante salientar que, ao realizar esse cálculo, deve-se levar em consideração que os dados utilizados para a roteirização foram obtidos por meio de satélites. Consequentemente, é possível que haja uma margem de erro relacionada a essas informações alcançadas (Figura 26).

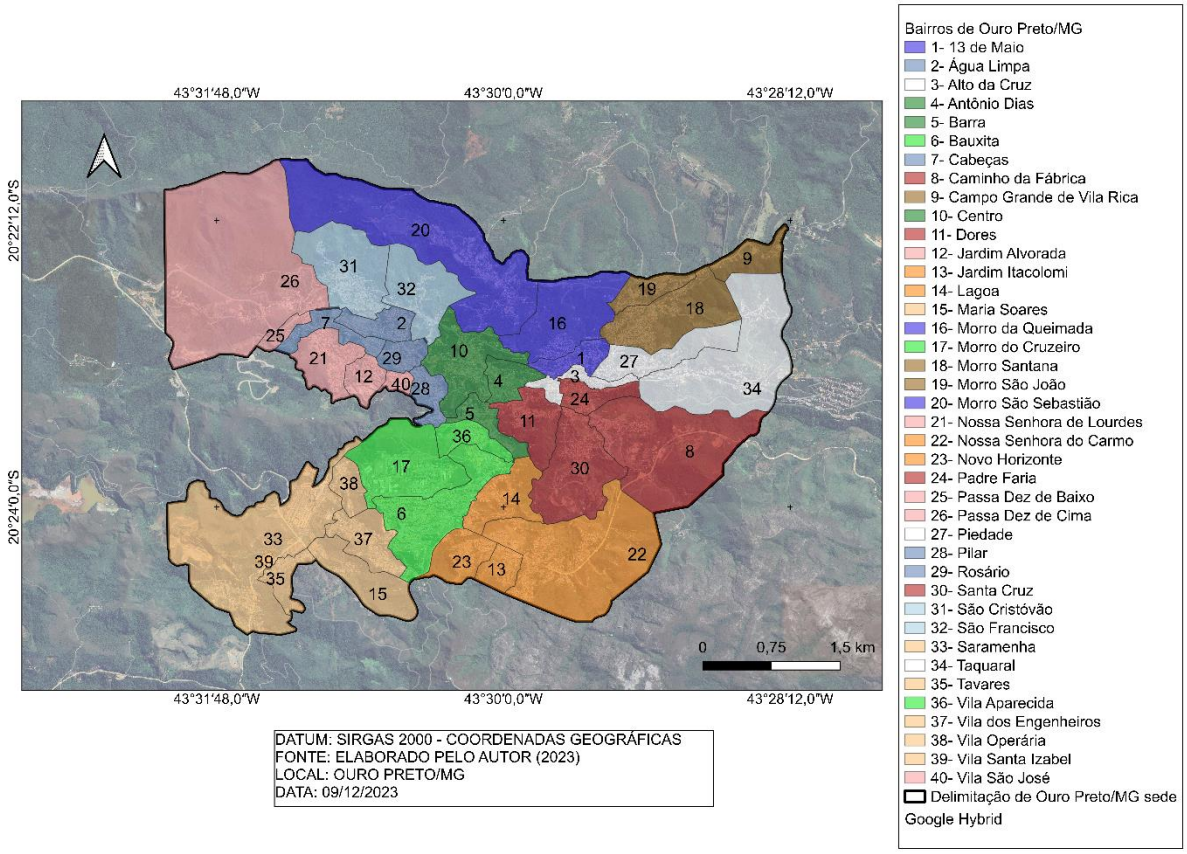
Figura 26 – Contabilização das residências no município sede de Ouro Preto/MG.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Por conseguinte, através dos agrupamentos dos bairros, considerou-se uma média de 1.255 domicílios atendidos por rota pela ACMAR e uma média de 1.394 domicílios atendidos por rota pela ACPF (Figura 27).

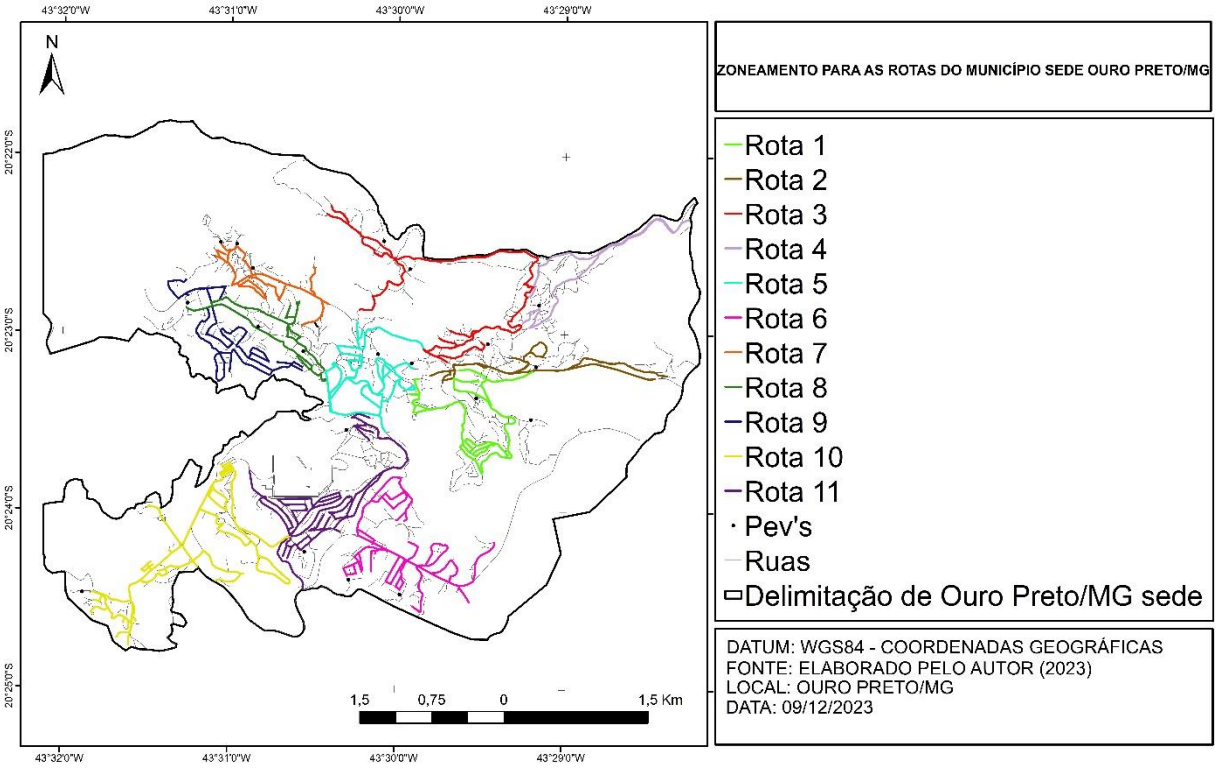
Figura 27 – Mapa da proposta de agrupamento dos bairros da Coleta Seletiva.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Neste cenário, os pontos de entrega voluntária desempenham um papel importante para a cidade, uma vez que existem áreas de difícil acesso em nossa localidade, que são amplamente reconhecidos. Isso ocorre, devido à considerável inclinação das ruas, dos bairros em determinadas regiões do município. Portanto, através da observação visual destes locais de maiores dificuldades adicionou-se os referidos PEV's, juntamente com as rotas otimizadas porta a porta (Figura 28).

Figura 28 – Mapa proposto das rotas otimizadas.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Tabela 5 – Rotas dos Bairros.

Rotas	Bairros
Rota 1	Padre Faria/Santa Cruz/Dores/Caminho da Fábrica
Rota 2	Taquaral/Alto da Cruz/ Piedade
Rota 3	13 de Maio/Morro da Queimada/Morro São Sebastião
Rota 4	Morro Santana/Morro São João/Cond. Campo Grande
Rota 5	Centro/Antônio Dias/Barra
Rota 6	Novo Horizonte/Nossa Senhora do Carmo/Jardim Itacolomi/Lagoa

Rota 7	São Francisco/São Cristóvão
Rota 8	Pilar/Cabeças/Água Limpa/Rosário
Rota 9	Vila São José/Jardim Alvorada/Nossa Senhora de Lourdes/Passa Dez de Cima/Passa Dez de Baixo
Rota 10	Maria Soares/Saramenha/Vila dos Engenheiros/Vila Operária/Vila Santa Izabel/Tavares
Rota 11	Bauxita/Vila Aparecida/Morro do Cruzeiro

Fonte: Elaboração própria (2023).

Ao analisar os dados do SNIS-RS 2021 e do relatório Ciclosoft 2023, referentes aos municípios do Brasil que afirmaram realizar coleta seletiva em seus domínios, nota-se uma diferença no volume de material coletado entre aqueles que optam pela modalidade de Pontos de Entrega Voluntária (PEV’s) e aqueles que oferecem exclusivamente a coleta porta a porta. Os municípios que implementaram apenas a modalidade de PEV's, apresentaram um volume inferior de material reciclável coletado seletivo, registrando uma média de 5,3 kg por habitante ao ano.

Por outro lado, os municípios que adotaram exclusivamente a coleta porta a porta demonstraram um desempenho superior, com uma média de 22,2 kg coletados por habitante ao ano (CICLOSOFT, 2023). A utilização dos Pontos de Entrega Voluntária (PEV’s) deve ser encarada não como a única modalidade a ser aplicada, mas sim como um instrumento complementar à coleta seletiva nos municípios. Em vez de depender exclusivamente dos PEV’s, é fundamental apenas considerar essa prática como parte integrante de um sistema.

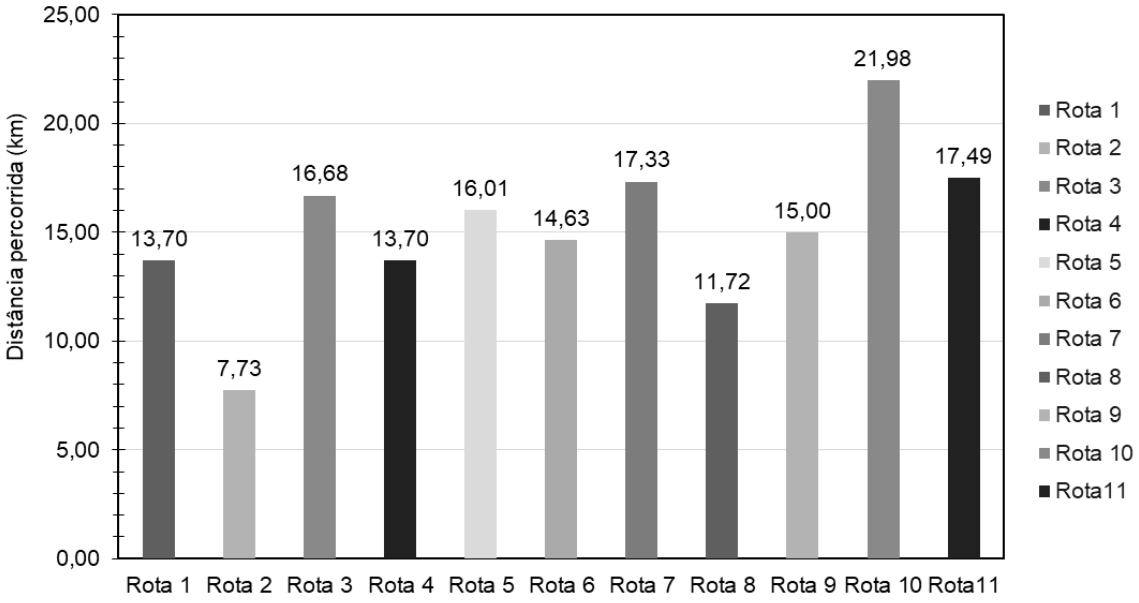
Os PEV’s têm seu papel relevante, sendo para a população uma alternativa interessante. No entanto, é crucial reconhecer que sua eficácia pode ser melhor aprimorada quando realizada com outras estratégias, como a coleta porta a porta e as campanhas de educação ambiental principalmente.

Além dos PEV’s que foram adicionados dentro do mapa das rotas porta a porta, através também das rotas otimizadas porta a porta, foram obtidas as suas

quilometragens. Vale ponderar que a rota 8 que está sendo realizada pela PMOP e é destinada a ACMAR atualmente, é executada em aproximadamente 14,67 km.

Já em sua otimização, a rota é efetuada em 11,72 km. Deve-se destacar, que mesmo com um grande contingente populacional para serem atendidos, determinadas rotas ainda não percorrem grandes quilometragens, evidenciando que muitas residências estão situadas em locais muito próximo das outras.

Figura 29 – Quilometragem das rotas otimizadas da Coleta Seletiva.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Embora as Associações ainda não consigam efetivar a coleta dos materiais recicláveis da cidade como um todo devido a capacidade dos galpões, número de catadores, deve-se pensar em estratégias para potencializar à coleta seletiva através principalmente de investimentos em estrutura de caminhões adaptados, mais inserção de catadores além de capacitação para as mesmas. O município de vizinho de Mariana/MG possui através da CAMAR, caminhões adaptados dos modelos VW delivery Express para a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis realizarem a coleta dos materiais recicláveis (Figura 30).

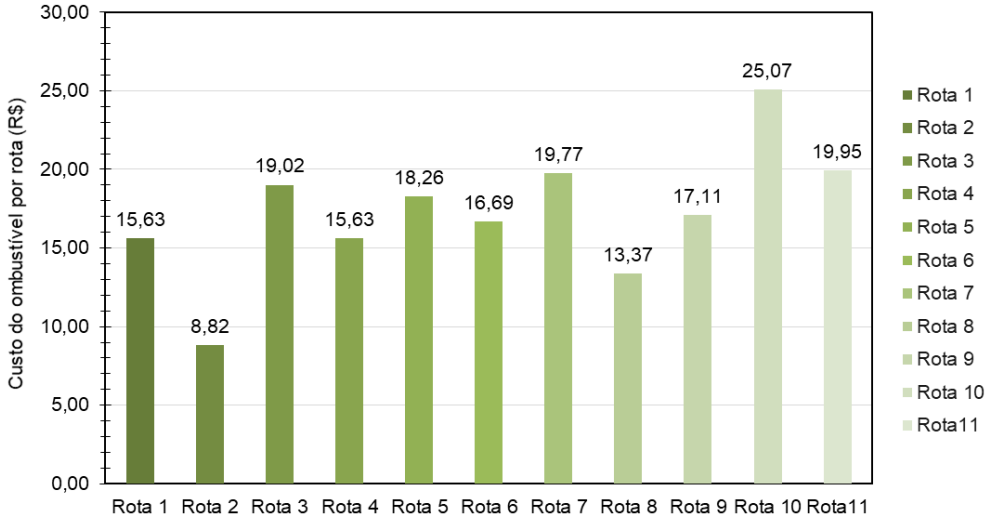
Figura 30 – Caminhões da Coleta Seletiva no município de Mariana/MG.

Fonte: Portal da Cidade (2021).

De acordo com o COBLI (2021), especialista em automóveis e especificações de veículos, os caminhões desta marca executam os trajetos realizando 5,4km/l com o motor 2.8 movido a diesel. Assim sendo, utilizou-se o consumo destes tipos de caminhões e aplicou-se para a proposta dentro do município sede de Ouro Preto/MG.

A cidade de Ouro Preto/MG, poderia investir em caminhões deste tipo. Desse modo, por meio do consumo destes caminhões, alcançou-se o custo do combustível por intermédio da plataforma da Petrobras com os valores referentes ao preço do diesel por litro percorrido (Figura 31).

Figura 31 – Custo do valor do combustível por rota realizada.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Percebe-se que com rotas menores, os custos dos combustíveis são consequentemente menores também. Desse modo, através das rotas otimizadas e as quilometragens encontradas, estimou-se também o quantitativo que pode vir a ser coletado futuramente. Considerando a Gravimetria dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil de 2020 da ABRELPE e no que diz respeito ao que as Associações de Catadores de Materiais Recicláveis coletam do ponto de vista de comercialização, foi adotado o valor de 32,2 % dos resíduos recicláveis deste panorama, em relação aos RSU.

Assim sendo, uma vez obtida a estimativa dos domicílios dos bairros por meio das imagens satélites no *software QGIS*, de 14.493 residências no município sede de Ouro Preto/MG, e 2,8 pessoas por domicílios de acordo com os dados do IBGE de 2023 e a geração per capita de 1,04kg/hab/dia de resíduos conforme dados da ABRELPE de 2022, foi obtido o potencial de resíduos a serem coletados.

Desta maneira, o total da população de 40.581 habitantes estimados, por meio do *software QGIS* produzindo 32,2% de resíduos recicláveis, tem a condição de gerar aproximadamente 13.590 kg para as Associações de Catadores de Materiais Recicláveis diariamente (Eq.2) (BERNARDO; LIMA, 2017).

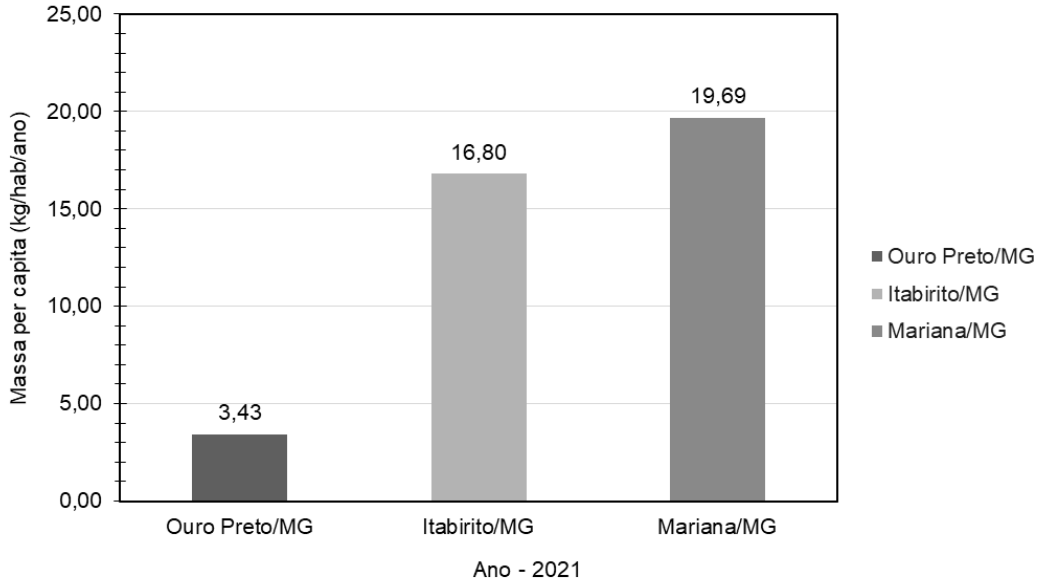
Eq.2 (1,041 kg/hab/dia * 32,2% * 40.581) = 13.590 kg

Porém, levando em consideração que nem toda a população irá se integrar do programa de coleta seletiva, com 50 % de habitantes colaborando com a coleta seletiva, um caminhão de capacidade de 618 kg (Eq 3) aproximadamente poderia atender em média as 11 rotas otimizadas e alcançadas (Bernardo e Lima, 2017).

Eq. 3 ((13.590 kg /2) /11) = 618 kg.

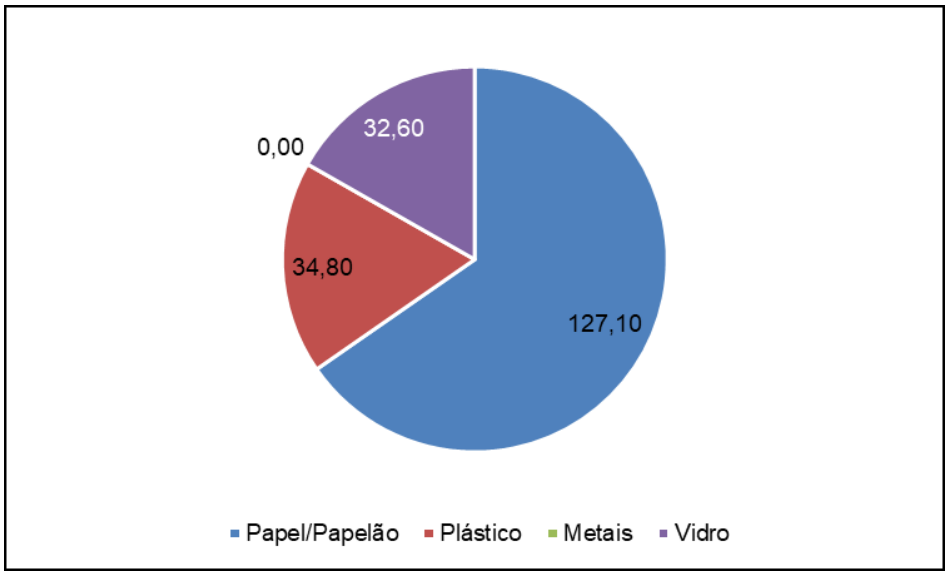
Desse modo, após estimar o potencial do quantitativo de resíduos que podem vir a serem coletados, avaliou-se os dados recentes do local do presente estudo. Em Ouro Preto/MG, a quantidade per capita de materiais recicláveis coletados são notavelmente menores em comparação com os municípios vizinhos de Itabirito/MG e Mariana/MG em dados alcançados por meio do SNIS (Figura 32). Uma vez obtidas as rotas potencializadas, nota-se a necessidade de se ampliar o serviço no município de modo geral. Em relação aos materiais recicláveis mais coletados pelas Associações, destaca-se os papéis e papelões, que são os mais recolhidos pelos catadores (Figura 33).

Figura 32 – Massa per capita de resíduos recicláveis coletados na região dos Inconfidentes.



Fonte: Elaboração própria (2023).

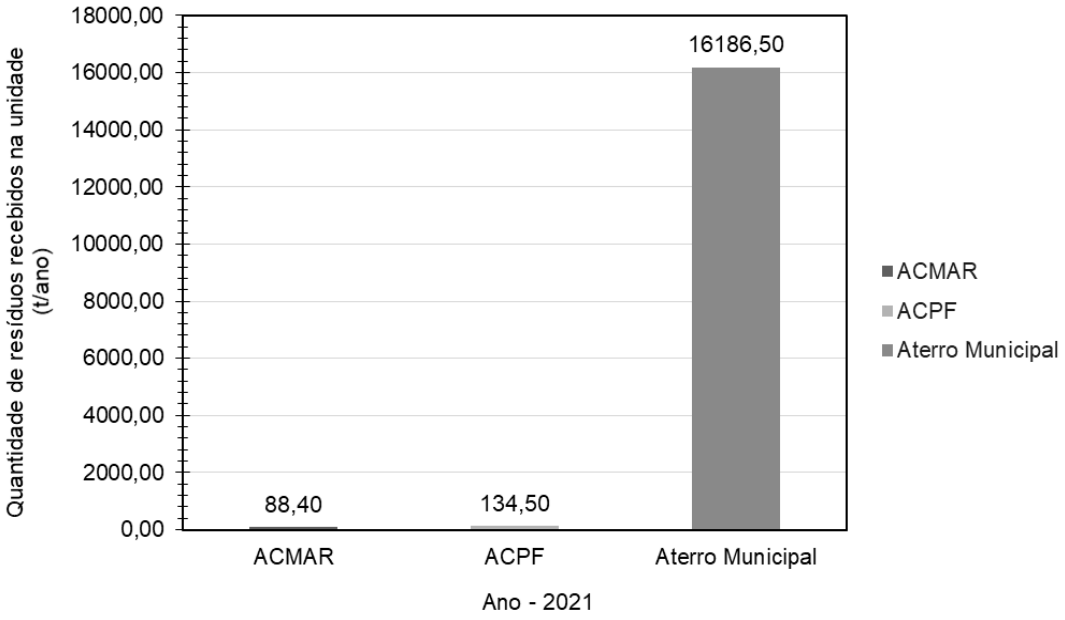
Figura 33 – Massa Total recuperada de Materiais Recicláveis em Toneladas/ano em Ouro Preto/MG do ano de 2021.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Mesmo com os resultados identificados das massas recuperadas do SNIS, requer a atenção a diferença entre os resíduos que chegam no aterro municipal e aqueles que são recebidos e coletados pelas associações de catadores que são significativas e tem implicações nos âmbitos ambientais e econômicos (Figura 34).

Figura 34 – Quantitativo de resíduos recebidos nas referidas unidades.



Fonte: Elaboração própria (2023).

A partir dos resultados do SNIS de resíduos obtidos nas unidades mencionadas anteriormente, foi possível calcular o desvio de aterro por meio da seguinte equação (CARDOSO, 2014) *apud* (ZAMAN e LEHMANN, 2013):

Eq. 4 taxa de desvio = (volume recicláveis/total de resíduos gerados) X 1

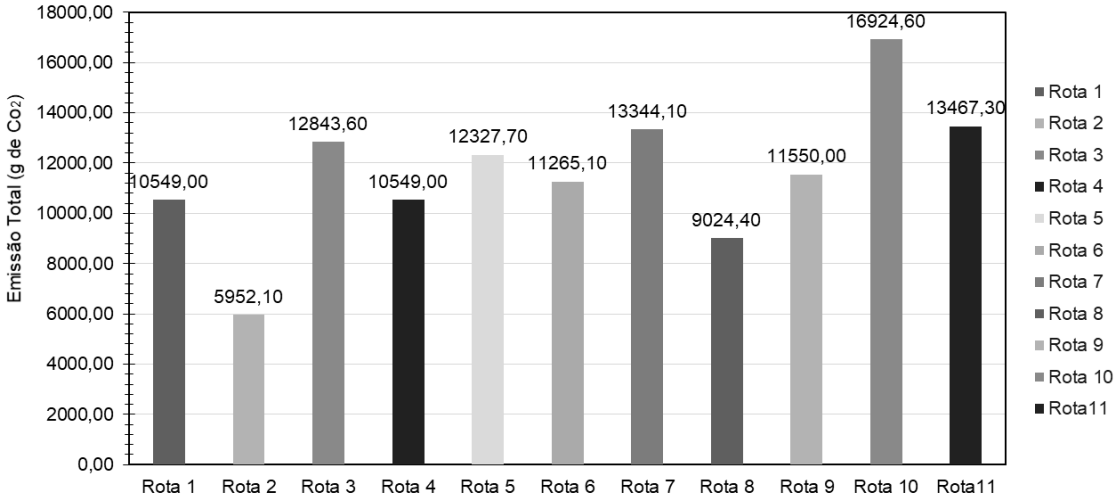
Eq. 4 taxa de desvio = (222,9 t/ano /16409,4 t/ano) = 0,013 t/ano

O resultado da taxa de desvio de aterro, que compreende o volume dos recicláveis dividido pelo total de resíduos gerados de 0,013 toneladas por ano, alcançado do gráfico da figura 34 e das informações do SNIS, destaca a necessidade de ampliar a coleta seletiva no município sede. Esse dado evidencia a urgência em fortalecer a coleta de materiais recicláveis, as Associações de Catadores com a implementação de estratégias que reduzam a chegada volumosa dos diversos resíduos ao aterro municipal local, mitigando assim os impactos ambientais.

5.4 EMISSÕES DE CO_2 e CO DAS ROTAS OTIMIZADAS

Por conseguinte, determinou-se as emissões em g de CO_2 das rotas otimizadas. As emissões em g de CO_2 foram obtidas por meio da quilometragem das rotas otimizadas alcançadas e multiplicadas pelo fator de emissão de 770 g CO_2 de (PASCHOAL, 2015), (JÚNIOR e LINKE, 2001 *apud* IPCC,1996). De acordo com os resultados encontrados, as rotas que percorreram as menores distâncias emitiram os menores valores em g de CO_2 (Figura 35).

Figura 35 – Emissões totais de CO_2 das rotas otimizadas.



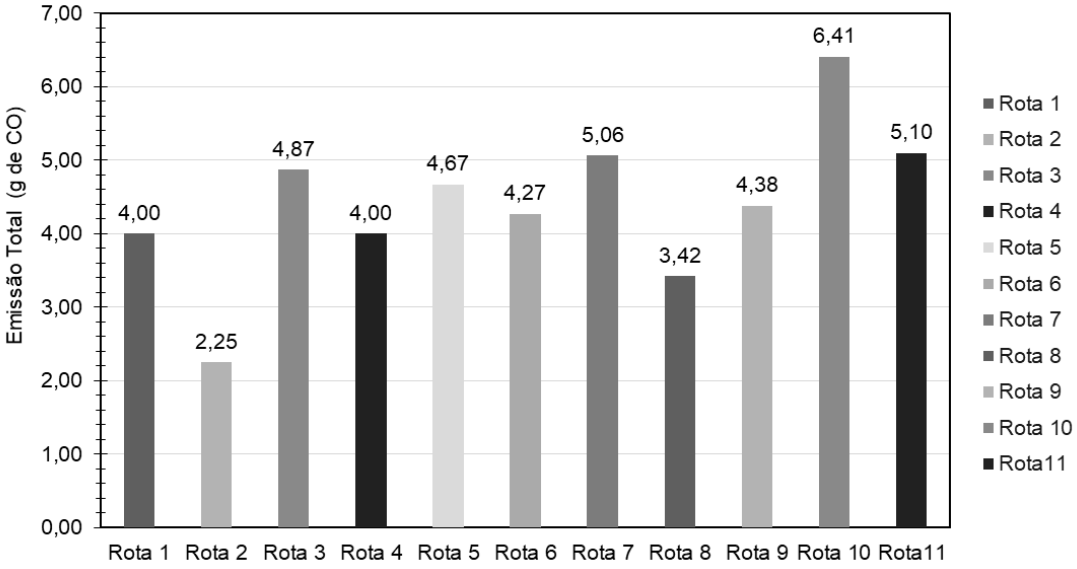
Fonte: Elaboração própria (2023).

Entretanto, como o dado acima ainda se refere a um dado do IPCC de 1996, o presente estudo também buscou dados relativos do quarto inventário de efeito estufa, onde foram obtidos a emissões em g de CO. Como destacado no tópico da revisão bibliográfica, compreende-se uma diferença entre o CO e o CO_2.

Nesse sentido, adotou-se o valor do fator de emissão de 0,292 de g de CO por km rodado através do Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima, referentes aos valores das emissões do diesel de caminhões pesados dos dados da CETESB (2018).

Nota-se que os valores de fatores de emissões do CO e CO_2 são bem distintos. Isso se deve ao fato dos avanços tecnológicos como motores mais eficientes, tecnologias de combustíveis alternativos terem contribuído significativamente para a redução das emissões de CO_2 e CO por caminhões e os automóveis ao longo dos anos (Figura 36).

Figura 36 – Emissões totais de CO das rotas otimizadas.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Conforme o relatório síntese de 2022 do Ministério de Minas e Energia do Brasil, o consumo de energia neste referido ano, apontou um crescimento de 5,0 % em relação ao ano anterior de 2021. Os grandes destaques foram o aumento de 24,3 % do querosene de aviação, de 10,5 % do etanol anidro e de 9,4% da gasolina.

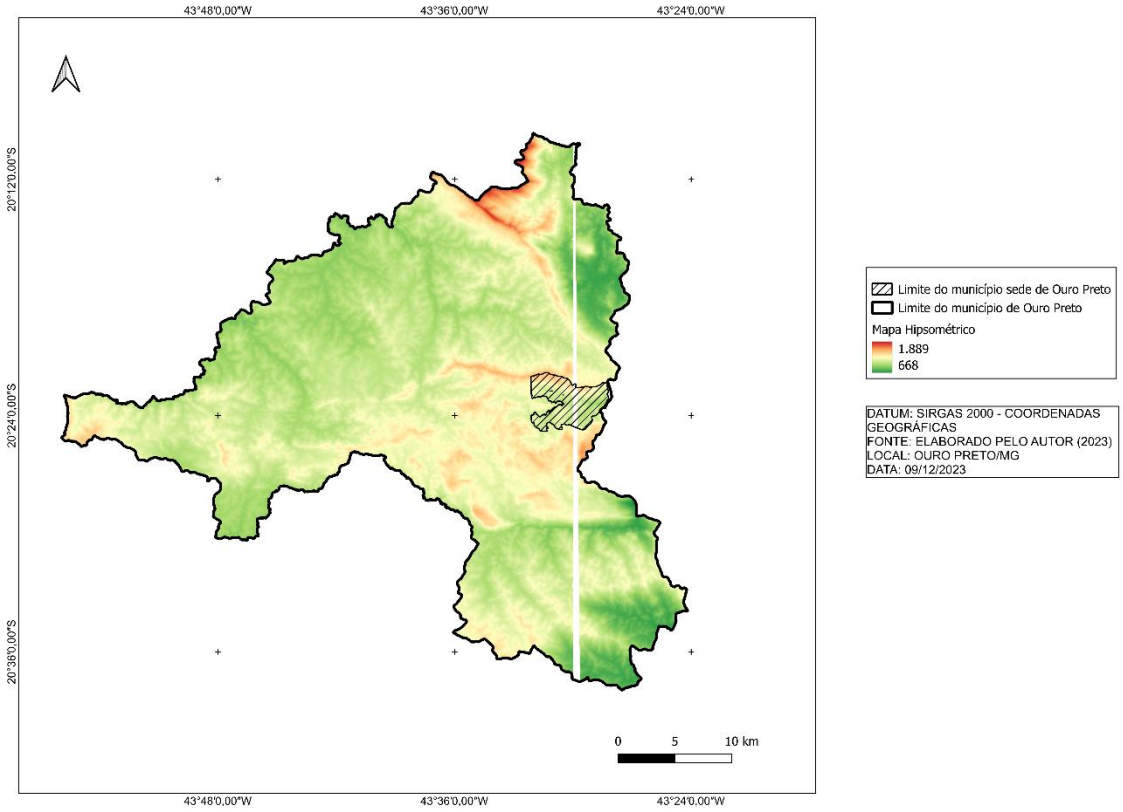
No caso do transporte de carga rodoviário, o consumo de biodiesel diminuiu 6,5 %, o que pode ser explicado pela redução do percentual de mistura ao diesel mineral para 10% ao longo de 2022. Como consequência dessas modificações nos resultados, o setor de transportes do Brasil apresentou uma matriz energética composta por 22% de fontes renováveis em 2022, contra 23% do ano anterior.

Adicionalmente, deve-se ponderar que com distâncias mais curtas, os veículos consomem menos combustível. Então, os veículos mais eficientes em relação ao consumo de combustível emitem menores índices de CO_2. Ao aprimorar a rota, como observado no exemplo da rota 8, espera-se na prática e realidade da coleta uma diminuição nas emissões de CO_2 e CO.

Os valores encontrados por meio das otimizações realizadas são uma estimativa considerando valores de fatores de emissões do método ARTEMIS. O artigo de COSTA *et al*., (2020) demonstram o método de *TopDown* que foi elaborado por CRUVINEL (2012).

Este método contempla seis passos que incluem os cálculos do consumo de energia, da quantidade de carbono, da quantidade de carbono fixado, as emissões líquidas de carbono, das emissões reais de carbono levando ao resultado final que é o cálculo das emissões reais de CO_2. Desta forma, seria necessário obter-se mais dados relativos às frotas que serão utilizadas. Destaca-se também, que o município sede de Ouro – Preto/MG possui locais com declividades bem altas (Figura 37).

Figura 37 – Mapa Hipsométrico do município de Ouro Preto/MG



Fonte: Elaboração própria (2023).

A topografia de muitos bairros, caracterizada por elevações e declives, implica em um aumento de combustível e consequentemente, na emissão de dióxido de carbono (CO_2) pelos caminhões de coleta de resíduos.

Por conseguinte, as rotas mais curtas também implicam em menos desgaste e também nas manutenções dos caminhões. Menos manutenção, pode significar menos produção de emissões de CO_2. Neste contexto, as emissões de CO_2 e CO são pautas que devem ser bastante discutidas ao longo dos próximos anos, devido ao

crescimento populacional, as mudanças climáticas e a preservação do meio ambiente como um todo.

6 CONCLUSÃO

Os resíduos sólidos estão presente em um importante ramo dentro do saneamento. Os gerenciamentos destes resíduos sólidos são fundamentais para assegurar o meio ambiente ecologicamente equilibrado, sendo também utilizados como fontes de recursos e assim evitarem maiores desafios que podem acarretar em problemas ao meio ambiente.

O presente estudo diagnosticou as rotas de coleta seletiva do município sede de Ouro Preto/MG. Após a análise das referidas rotas realizadas, foi possível constatar os problemas como baixa cobertura do serviço, bem como, sugerir melhorias no sistema atual da coleta seletiva e propor otimizações nas rotas para as associações ACMAR e ACPF por intermédio do *software ARCGIS*.

Através das observações levantadas e diagnosticadas das rotas foram sugeridas propostas com um maior investimento, como aquisições de caminhões, contratações de catadores, conscientizações de educação ambiental que permitam os cidadãos do município a terem uma maior compreensão da separação dos resíduos convencionais e recicláveis.

Em vista das propostas de melhorias apresentadas, observou-se que são necessárias implantações de novas rotas de coleta seletiva no município sede de Ouro Preto/MG. As rotas podem executadas por caminhões do modelo VW delivery Express, bem como o município de Mariana/MG já realiza. Assim sendo, rotas mais eficientes e com menores quilometragens percorridas, possuem menores gastos com a distância e custo e consumo do combustível.

Desta forma, observou-se que a implementação de rotas otimizadas resulta em redução das emissões de CO_2 e CO, além de minimizar a quilometragem percorrida e consequentemente, os custos com combustível. Mas para que as rotas sejam efetivas, é necessário possuir um sistema que garanta a execução das próprias rotas, com mais investimentos nas associações para que elas possam ter mais rentabilidade

e consigam atender a grande parte do município sede com o serviço de coleta seletiva de qualidade.

Como recomendação para trabalhos futuros, propõe-se a utilização de outros métodos de otimizações presentes na literatura da área, nas opções do *Network Analysis* do *software ARCGIS* a fim de comparar com os resultados encontrados neste estudo. Também, pode-se pensar em outras estratégias de maior promoção das Associações de Catadores, como uma cooperativa de catadores e que garantam uma rentabilidade maior para as Associações de Catadores de Materiais Recicláveis.

REFERÊNCIAS

AHUJA, R. K.; MAGNANTI, T. L.; ORLIN, J. B. Network Flows – Theory, Algorithms and Applications. Prentice Hall, **Upper Saddle River**, New Jersey, 1993.

ALVARENGA, A. C.; NOVAES, A. G. N. **Logística aplicada**: suprimento e distribuição física. 3 ed. 5 reimpr. São Paulo: Blucher, 2011.

AMORIM, A. P. De ALBUQUERQUE, B. M. Gautério D. T., JARDIM, D. B., MORRONE, E. C.; SOUZA, R. M. Lixão municipal: abordagem de uma problemática ambiental na cidade do Rio Grande – RS. **Ambiente & Amp. Educação**, v.15, n.1, p.159-178, 2011.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Editora Campus, 2007.

ASHBY, M. F. **Engenharia Ambiental**: Conceitos, tecnologia e gestão. Coordenação de CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D.G.F. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 789 p.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS – ALMG. **Lei nº 13.766, de 30 de novembro de 2000**. Disponível em: https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/13766/2000/?cons=1. Acesso em: 05 nov. 2023.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS – ALMG. **Lei n º 18.031, de 12 de Janeiro de 2009**. Disponível em: https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/18031/2009/?cons=1. Acesso em: 09 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama 2022**. Disponível em: https://abrelpe.org.br/panorama/. Acesso em: 15 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2010. **NBR15849**: Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004. **NBR10004**: Resíduos Sólidos – Classificação.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2015. **NBRISO9000**: Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulário.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2003. **NBR13221**: Transporte terrestre de resíduos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2023. **NBR15481**: Transporte Rodoviário de produtos perigosos – Lista de Verificação com requisitos operacionais referentes à saúde, segurança, meio ambiente e qualidade.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1990. **NBR11174**: Armazenamento de resíduos classe II – não inertes e III – inertes.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –ABNT. 2002. **NBR13221**: Transporte terrestre de resíduos.

BAPTISTA, Vinícius Ferreira. As políticas públicas de coleta seletiva no município do Rio de Janeiro: onde e como estão as cooperativas de catadores de materiais recicláveis?. **Revista de Administração Pública**, v. 49, p. 141-164, 2015.

BARBOSA, R. P.; IBRAHIN, F. I. D. **Resíduos Sólidos - Impactos, Manejo e Gestão Ambiental**. São Paulo: Editora Érica, 2014. *E-book.* ISBN 9788536521749. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521749/. Acesso em: 05 jul. 2023.

BARBOSA, Eduarda P.; SANTOS, Lilian da S.; LEÃO, Luisa de M.; *et al*. **Sistemas de transportes**. Porto Alegre: SAGAH. Grupo A, 2022. *E-book.* ISBN 9786556903415. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com. br/#/books/ 9786556903415/. Acesso em: 02 set. 2023. 191 p.

BARROS, R. T. V. **Elementos de Gestão de Resíduos** Sólidos Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424 p.

BATTISTELLA, Nathália et al. **Avaliação de modelo computacional para planejamento e otimização de rotas de coleta para catadores de materiais recicláveis.** 2014.

BESEN, Gina Rizpah; JACOBI, Pedro Roberto; SILVA, Christian Luiz. **10 anos da Política de Resíduos Sólidos**: caminhos e agendas para um futuro sustentável. Universidade de São Paulo. Instituto de Energia e Ambiente, 2021. DOI: Disponível em: www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/614. Acesso em: 29 set. 2023. 238 p.

BERNARDO, Marcella; LIMA, Renato da Silva. Planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva: utilização de um sistema de informação geográfica na elaboração das rotas. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, p. 385-395, 2017.

BOSCO, Tatiane Cristina D. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos**: resultados de pesquisas acadêmica. São Paulo: Editora Blucher, 2017. E-book. ISBN 9788580392371. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580392371/. Acesso em: 29 set. 2023. 267 p.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 09 nov. 2023.

CAMPELLO, R. E; MACULAN, N. **Algoritmos e Heurísticas Desenvolvimento e Avaliação de Performance**. Rio de Janeiro: Editora Eduff, 1994.

CARDOSO, Joana Ferreira Serrão da Cunha. **Indicadores para a caracterização do setor dos resíduos e para a avaliação da qualidade do serviço prestado em Portugal**. 2014. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges. **Apresentação da aula ministrada na disciplina Resíduos Sólidos.** Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

CAVALCANTE, Lívia Poliana Santana. **Educação ambiental como instrumento para mitigar os riscos inerentes à profissão de catadores e catadoras de materiais recicláveis em Campina Grande-PB**. 2014. 139f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Centro de Tecnologias e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2014.

CICLOSOFT. **Panorama da coleta seletiva no Brasil 2023**. Disponível em: https://ciclosoft.cempre.org.br/resumo-executivo. Acesso em: 11 nov. 2023.

COBLI. **Vale a pena ter um caminhão com baú pequeno?**. 2021. Disponível em: https://www.cobli.co/blog/vantagem-caminhao-bau-pequeno/#:~:text=Um%20Daily%20City%20Furg%C3%A3o%2030S13,5%20km%2Fl%20de%20rodovi%C3%A1rio. Acesso em: 11 nov. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Emissões Veiculares no Estado São Paulo**. 2018. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes. Acesso em: 29 set. 2023.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **Lixo Municipal**: Manual de Gerenciamento Integrado. 3ª ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2010. 350 p. Disponível em: https://cempre.org.br/manuais/. Acesso em: 11 nov. 2023.

CRUVINEL, R. R. S.; PINTO, P. V. H.; GRANEMANN, S. R. Mensuração econômica da emissão de CO2 da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. **Journal of Transport Literature**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 234-252, 2012.

DA COSTA, Natan Ruan Machado; NASCIMENTO, Victor Fernandez; OMETTO, Jean Pierre Henry Balbaud. A história da coleta de resíduos em Novo Hamburgo, RS e uma proposta de uma nova roteirização utilizando sistema de informações geográficas. **Oficina do Historiador**, v. 13, n. 2, p. 38033-38033, 2020.

DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades. **Revista de Administração de Empresas**, p. 88–93, 1995.

DE OLIVEIRA CALVIS, Lucimara; AREDES, Airton; VILAMAIOR, Maria Elisa. Coleta seletiva na escola Sulivan Silvestre de Oliveira: Da teoria à prática. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 76584-76596, 2020.

DOTOLI, M. EPICOCO, N. A Vehicle Routing Technique for Hazardous Waste

Collection. IFAC Papers OnLine, v. 50, n.1, p. 9694–9699, 2017. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2051.

ENGELMOER, W.; MULDER, G. The E-bike: opportunities for Commuter Traffic. **Semantic Scholar**, 2012. Rijksuniversiteit Groningen, Groningen. Disponível em: https://www.semanticscholar.org/paper/The--E-bike-%3A-opportunities-for-Commuter-Traffic-Engelmoer-Mulder/6ad438bf33241dbf392ea9edf372aa9b93453346?p2df. Acesso em: 30 set. 2023.

FERREIRA, Nilson Clementino. **Apostila de sistema de informações geográficas**. Goiânia: Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, 2006.

FERREIRA, Ivanilda Agustinho. Caixeiro viajante: aplicação da modelagem matemática na otimização de rotas em uma concessionária de energia elétrica. **Revista Produção Online**, v. 20, n. 1, p. 221-246, 2020.

FONTÃO, S.S.; DE OLIVEIRA, L.P.F. A Importância da Associação de Catadores de Materiais Recicláveis: O Contexto Social dos Catadores. **Educação Ambiental em Ação**, v. 19, n. 72, 2020.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do Estado de Minas Gerais** / Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Feam, 2017. 25p.

GODINHO FILHO, Moacir; JUNQUEIRA, Rogério de Ávila Ribeiro. **Problema do Carteiro Chinês**: escolha de métodos de solução e análise de tempos computacionais. **Production**, v. 16, p. 538-551, 2006.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **4º Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 2022. Disponível em: https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2023/06/relatorio-inventario-mg.pdf. Acesso em: 15 nov. 2023.

GOLDBARG, Marco Cesar. **Otimização combinatória e programação linear**: modelos e algoritmos. Marco Cesar Goldbarg, Henrique Pacca L. Luna. 2 ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2010. **Cidade Ouro Preto**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br//. Acesso em: 10 jul. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories**: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em: https://www.ipcc.ch/publication/good-practice-guidance-and-uncertainty-management-in-national-greenhouse-gas-inventories/. Acesso em: 15 nov. 2023.

JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; MACHADO FILHO, J. V. **Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. 1ª ed. Barueri: Manole, 2012. 820 p.

JÚNIOR, Rudinei T.; SAIANI, Carlos César S.; DOURADO, Juscelino. **Resíduos Sólidos no Brasil**: Oportunidades e Desafios da Lei Federal n. 12.305 (Lei de Resíduos Sólidos). São Paulo: Editora Manole, 2014. E-book. ISBN 9788520449240. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br /#/ books/9788520449240/. Acesso em: 14 set. 2023. 426 p.

JUNIOR, O. M. A.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada do cálculo das emissões de gases de efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2003.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **BEN Síntese 2022**. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/balanco-energetico-nacional/anteriores/ben-2022/ben_sintese_2022_pt.pdf/view. Acesso em: 15 nov. 2023.

NUNES, T.; ROSA, J. S.; MORAES, R. F. **Sustentabilidade urbana**: impactos do desenvolvimento econômico e suas consequências sobre o processo de urbanização em países emergentes: textos para as discussões da Rio+20 2012. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2015.

OGDEN, K. W. **Urban goods movement**: a guide to policy and planning. London: Ashgate Publishing Limited, 1992.

OURO PRETO – MG. **Diário Oficial da Câmara Municipal de Ouro Preto**. Disponível em: https://ouropreto.mg.gov.br/pages/diario-cmop.php?page=diario-publicacoes-cmop&id=834#:~:text=LEI%20N%C2%BA%201.373%20DE%2028,do%20Munic%C3%ADpio%20de%20Ouro%20Preto. Acesso em: 11 nov. 2023.

PASCHOAL, Anderson Oliveira de Ornelas. **Desenvolvimento e aplicação de um modelo para o Pollution Routing Problem**. 2015. 265f..Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015

PEREIRA, Isabela Cristina. **Estudo preliminar sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares recicláveis em repúblicas de estudantes da Universidade Federal de Ouro Preto**. 2019. 98 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

PINTO, Fatima Cristina Vaz; DOS SANTOS, Robson Nogueira. **Potenciais de redução de emissões de dióxido de carbono no setor de transportes**: um estudo de caso da ligação hidroviária Rio-Niterói. Engevista, 2004.

PORTAL DA CIDADE DE MARIANA. CAMAR recebe novos caminhões para Coleta Seletiva em Mariana. 2021. Disponível em: https://mariana.portaldacidade.com/noticias/cidade/camar-recebe-novos-caminhoes-para-coleta-seletiva-em-mariana-1338. Acesso em: 01 nov. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. **Associação de Catadores de Materiais Recicláveis do Padre Faria bate recorde de reciclagem**. Disponível em: https://ouropreto.mg.gov.br/noticia/602. Acesso em: 04 nov. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. **Contratos**. Disponível em: https://ouropreto.mg.gov.br/transparencia/contratos. Acesso em: 06 nov. 2023.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e à logística internacional**. 4. ed. rev. e ampl. São Paulo: Aduaneiras, 2007. 258 p.

RONEI, Tiago S.; PIRES, Anderson S.; GIACOMELLI, Cinthia L F.; *et al*. **Meio ambiente**. Porto Alegre: Grupo A, 2018. E-book. ISBN 9788595025738. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025738/. Acesso em: 28 set. 2023. 275 p.

RAINER J. R., R. K.; CEGIELSKI, C. G. **Introdução a sistemas de informação**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2016. 480 p.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMAD. **Bolsa Reciclagem**. 2022. Disponível em: http://www.meioambiente.mg.gov.br/saneamento/bolsareciclagem. Acesso em: 01 nov. 2023.

SENNA, L. A. S. **Economia e planejamento dos transportes**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SIQUEIRA, M. M.; MORAES, M. S. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores e catadoras de lixo. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 2115-2122, dez/ jan. 2009.

SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL – SIAM. **Deliberação Normativa COPAM nº 172, de 22 de dezembro de 2011**. Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=20096#_ftn5. Acesso em: 01 nov. 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SOLÍDOS – SINIR. **Resíduos Sólidos Urbanos**. Disponível em: https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-urbanos/. Acesso em: 05 nov. 2023.

SOLER, Fabricio; FILHO, Carlos Roberto S. **Gestão de Resíduos Sólidos**: o que diz a lei. São Paulo: Editora Trevisan, 2019. *E-book.* ISBN 9788595450455. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595450455/. Acesso em: 08 set. 2023. 346 p.

STEIN, Ronei T.; SANTOS, Franciane M dos; REX, Franciel E.; *et al*. **Geoprocessamento**. Porto Alegre: Sagah, Grupo A, 2021. *E-book.* ISBN 9786556902852. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556902852/. Acesso em: 02 set. 2023. 318 p.

TELLES, D. D. **Resíduos sólidos**: Gestão responsável e sustentável. São Paulo: Blucher, 2022. 174 p.

VALENTE, A. *et al*. **Gerenciamento de transporte e frotas**. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 352 p.

VARANDA, T. A. **Otimização de rotas e redução dos custos de operação da coleta seletiva**. 2015. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Aberta do Brasil, Barretos, São Paulo, 2015.

ZAMAN, A. U.; LEHMANN, S. The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a “zero waste city.” **Journal of Cleaner Production**, v. 50, p. 123-132, 2013. doi:10.1016/j.jclepro.2012.11.041.