

**INSTITUTO FEDERAL  
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
Minas Gerais  
Campus Bambuí

**ANTÔNIO EDUARDO DOS SANTOS**

**DIAGNÓSTICO SITUACIONAL E PROJETO DE COLETA SELETIVA PARA  
MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE**

**BAMBUÍ/MG**

**2025**

ANTÔNIO EDUARDO DOS SANTOS

DIAGNÓSTICO SITUACIONAL E PROJETO DE COLETA SELETIVA PARA MUNICÍPIO DE  
PEQUENO PORTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Fernando Lemos

Coorientadora: Profa. Dra. Ariane Flávia do Nascimento

Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental

Projeto Estruturante: Gestão de Águas, Efluentes e Resíduos Sólidos I - Interação Climáticas

BAMBUÍ/MG

2025



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
Campus Bambuí  
Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação  
Seção de Pós-Graduação  
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Baritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG  
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

## PARECER N° 8

### FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação intitulada de “**DIAGNÓSTICO SITUACIONAL E PROJETO DE COLETA SELETIVA PARA MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE**”, de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, **Antônio Eduardo dos Santos**, sob a orientação dos professores **Dr. Carlos Fernando Lemos** e coorientação da **Dra. Ariane Flávia do Nascimento**, aprovado pela Banca Examinadora de Defesa, em 28/03/2025, com a média de 92,6 pontos.

Bambuí (MG), 28 de março de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Neimar de Freitas Duarte, Professor**, em 31/03/2025, às 17:36, conforme Decreto n° 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Fernando Lemos, Usuário Externo**, em 31/03/2025, às 19:52, conforme Decreto n° 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Antônio Eduardo dos Santos, Usuário Externo**, em 31/03/2025, às 20:57, conforme Decreto n° 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Ariane Flávia do Nascimento, Usuário Externo**, em 01/04/2025, às 07:56, conforme Decreto n° 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Sousa Cavalcanti, Professor**, em 01/04/2025, às 08:34, conforme Decreto n° 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Henrique Martins Pereira, Usuário Externo**, em 02/09/2025, às 17:53, conforme Decreto n° 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador 2249724 e o código CRC 70C7502F.

---

Criado por [ronaldo.barbosa](#), versão 2 por [ronaldo.barbosa](#) em 31/03/2025 16:06:57.

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

S237d Santos, Antônio Eduardo dos.  
Diagnóstico situacional e projeto de coleta seletiva para município de  
pequeno porte. / Antônio Eduardo dos Santos. – Bambuí, 2025.  
158 f.: il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Fernando Lemos.  
Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado  
Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2025.

1. Coleta seletiva. 2. Reciclagem. 3. Pequenas cidades. I. Lemos,  
Carlos Fernando. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 363.728

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

Dedico esta dissertação à memória do meu pai, Antonio; às minhas irmãs, Rita, Verônica e Anna Cecília; e, principalmente, à minha amada e saudosa mãe, que sempre foi minha maior incentivadora e exemplo de amor, resiliência e dedicação.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha mãe, Maria, um exemplo de integridade, amor e solidariedade. Sempre disposta a ajudar todos, enquanto lhe foi dado tempo, esteve presente em todos os momentos da minha vida, oferecendo apoio, conforto e amor incondicionais. Ainda hoje, é meu norte moral e exemplo de pessoa e caráter. Obrigado por tudo, Mãe.

Gostaria de agradecer, também, às minhas irmãs, Rita, Verônica e Anna Cecília, o companheirismo e irmandade durante todas as nossas vidas. A vida nos desafiou com diversos obstáculos e provações, mas, juntos, superamos todos. Obrigado pela confiança e dedicação.

Ao meu pai, que, apesar de ter partido há muitos anos, sempre esteve presente em nossas vidas - seja nas fotos de família, seja nas histórias que revelam seu comprometimento e amor por nós. O senhor nunca foi esquecido e sempre será um exemplo de dedicação e resiliência.

Agradeço a todos os meus familiares e amigos que, de alguma forma, me auxiliaram. O incentivo, a perseverança e a confiança foram fundamentais para mim.

Agradeço a Deus a força e a oportunidade de alcançar mais essa conquista.

Ao meu orientador, Prof. Lemos, expresso minha imensa gratidão pela orientação exemplar e pelos ensinamentos transmitidos. Seu apoio, dedicação e respeito foram essenciais durante esse período, e sempre serei grato por isso.

Aos professores e demais servidores do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do IFMG - *Campus* Bambuí, pela excelência no ensino e pelo suporte durante esses dois anos.

Aos colegas do Mestrado, agradeço o companheirismo, solidariedade e incentivo. Os momentos compartilhados ficarão para sempre marcados na memória.

*“Sabemos o que acontece quando uma pessoa tem a esperança de obter uma coisa desesperadamente desejada; parece bom demais para ser verdade.”*

(C. W. Lewis)

## RESUMO

A rápida produção e a heterogeneidade dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) tornam desafiadora a atualização das leis ambientais. Até 2050, estima-se que a geração mundial de resíduos alcance 3,4 bilhões de toneladas anuais. No Brasil, em 2022, foram produzidos 77,1 milhões de toneladas de resíduos, reforçando a necessidade de aprimorar o gerenciamento dos RSU, especialmente em cidades de pequeno porte, que possuem recursos financeiros e humanos limitados. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi dimensionar um projeto de coleta seletiva para a cidade de Perdigoão/MG. O primeiro capítulo consiste em uma revisão sistemática das principais metodologias de implantação e melhoria da coleta seletiva. No segundo, são determinadas as características físicas dos resíduos produzidos no município e estimado o potencial teórico de geração de recicláveis (PTGR). O último capítulo detalha o dimensionamento da coleta seletiva. No que se refere às metodologias adotadas, a revisão sistemática foi conduzida por meio da metodologia PRISMA, para a seleção dos artigos. Ao final das etapas de triagem, foram incluídos 19 trabalhos na pesquisa, sendo que, no segundo capítulo, utilizando a técnica de quarteamento, separação e pesagem, determinaram-se a composição gravimétrica e o peso específico dos resíduos. Para a definição do PTGR, consideraram-se a progressão populacional, a composição gravimétrica e a geração *per capita*. Por fim, o projeto de coleta seletiva foi estruturado em três etapas: coleta de dados, pré-dimensionamento e otimização das rotas. Inicialmente, foram levantados dados georreferenciados sobre as características da cidade, que foi dividida em sete áreas de interesse. No pré-dimensionamento, foram criados três cenários, considerando-se o aumento gradual na recuperação de recicláveis, seguido de um estudo populacional e da determinação do número de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs). Na etapa de otimização, empregaram-se o QGIS e o *plugin* ORS Tools para definir rotas de coleta mais eficientes. A revisão apontou a importância das ações de mobilização social para a eficácia da coleta seletiva. Além disso, evidenciou os benefícios da utilização de PEVs e da otimização das rotas por meio de programas SIG. No que se refere às características dos resíduos gerados, o município, atualmente, produz cerca de 230,95 toneladas mensais de RSU, com uma geração *per capita* de aproximadamente 0,619 kg/hab.dia. A composição dos resíduos é de 37,89% de matéria orgânica, 41,36% de recicláveis secos e 20,75% de outros materiais e rejeitos. Para o ano de 2035, estima-se que a cidade abrigará 19.823 habitantes e gerará, anualmente, 3.451,39 toneladas de resíduos recicláveis. Por fim, para o projeto de coleta seletiva, foram dimensionados 37 PEVs e a definição de dez rotas de coleta. Ao final do estudo, conclui-se que, apesar dos custos elevados, há maneiras de otimizar e reduzir as despesas de implantação e operação da coleta seletiva. A utilização de PEVs, aliada à otimização de rotas por meio de programas SIG, têm demonstrado bons resultados. O município apresenta grande potencial para a implantação de projetos de coleta seletiva, especialmente devido à sua significativa geração de recicláveis.

**Palavras-chave:** Coleta seletiva. Reciclagem. Pequenas cidades. Otimização. Geoprocessamento.

## ABSTRACT

The rapid generation and heterogeneity of Municipal Solid Waste (MSW) make it challenging to update environmental laws. By 2050, global waste generation is projected to reach 3.4 billion tons per year. In Brazil, 77.1 million tons of waste were produced in 2022, highlighting the need to improve MSW management, especially in small cities with limited financial and human resources. Thus, this research aimed to design a selective waste collection project for the city of Perdigoão/MG. The study is structured into three main sections. The first consists of a systematic review of the main methodologies for implementing and improving selective collection. The second chapter determines the physical characteristics of the waste generated in the municipality and estimates the Theoretical Potential for Recyclable Generation (PTGR). The final chapter details the dimensioning of the selective collection system. Regarding the adopted methodologies, the systematic review followed the PRISMA methodology for selecting relevant articles. After the screening process, 19 studies were included in the research. In the second chapter, using the quartering, separation, and weighing techniques, the gravimetric composition and specific weight of the waste were determined. The PTGR was defined considering population growth, gravimetric composition, and per capita waste generation. Lastly, the selective collection project was structured into three stages: data collection, pre-dimensioning, and route optimization. Initially, georeferenced data on the city's characteristics were collected, dividing it into seven areas of interest. In the pre-dimensioning stage, three scenarios were created, considering a gradual increase in recyclable recovery, followed by a population study and the determination of the number of Voluntary Delivery Points (PEVs). In the optimization stage, QGIS and the ORS Tools plugin were used to define more efficient collection routes. The review highlighted the importance of social mobilization initiatives for the effectiveness of selective collection. Additionally, it demonstrated the benefits of using PEVs and optimizing routes through GIS programs. Regarding the characteristics of the generated waste, the municipality currently produces approximately 230.95 tons of MSW per month, with a per capita generation of around 0.619 kg/inhabitant·day. The waste composition consists of 37.89% organic matter, 41.36% dry recyclables, and 20.75% other materials and rejects. By 2035, the city is projected to have 19,823 inhabitants, generating 3,451.39 tons of recyclable waste annually. Finally, for the selective collection project, 37 PEVs were dimensioned, and ten collection routes were defined. At the end of the study, it is concluded that, despite high costs, there are ways to optimize and reduce the expenses associated with implementing and operating selective collection systems. The use of PEVs, combined with route optimization through GIS programs, has shown positive results. The municipality has great potential for implementing selective collection projects, especially given its significant generation of recyclable materials.

**Keywords:** Selective waste collection. Recycling, small cities. Optimization. Geoprocessing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Metodologia utilizada na revisão sistemática sobre a implantação e melhoria da coleta seletiva.....	33
Figura 2: Mapa da Município de Perdígão/MG.....	58
Figura 3: Ensaio de gravimetria em Perdígão/MG.....	60
Figura 4: Resíduos da saúde encontrados em meio aos resíduos comuns no município de Perdígão/MG .....	69
Figura 5: Metodologia para projeto de Coleta Seletiva.....	82
Figura 6: Mapa da Cidade de Perdígão - MG.....	83
Figura 7: Cenários de implantação da coleta seletiva.....	85
Figura 8: Áreas de Projeto da cidade de Perdígão - MG.....	89
Figura 9: Mapa de densidade populacional da cidade de Perdígão - MG.....	93
Figura 10: Localização dos PEVs nas áreas urbanas da cidade de Perdígão - MG.....	94
Figura 11: Localização dos PEVs nas áreas rurais da cidade de Perdígão - MG.....	94
Figura 12: Rota 01 – Cenário 01 da cidade de Perdígão - MG .....	96
Figura 13: Rota 02 – Cenário 01 da cidade de Perdígão - MG .....	96
Figura 14: Rota 01 – Cenário 02 da cidade de Perdígão - MG .....	97
Figura 15: Rota 02 – Cenário 02 da cidade de Perdígão - MG .....	97
Figura 16: Rota 03 – Cenário 02 da cidade de Perdígão - MG .....	98
Figura 17: Rota 01 – Cenário 03 da cidade de Perdígão - MG .....	98
Figura 18: Rota 02 – Cenário 03 da cidade de Perdígão - MG .....	99
Figura 19: Rota 03 – Cenário 03 da cidade de Perdígão - MG .....	99
Figura 20: Rota 04 – Cenário 03 da cidade de Perdígão - MG .....	100
Figura 21: Rota 05 – Cenário 03 da cidade de Perdígão - MG .....	100
Figura 22: Participação do VIII Seminário dos Estudantes de Pós-Graduação (SEP).....	108
Figura 23: Participação A no 7º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade.....	109

Figura 24: Participação B no 7º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade.....	109
Figura 25: Participação no XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.....	110

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Detalhes bibliométricos dos artigos selecionados .....	38
Quadro 2: Cronograma de realização dos ensaios gravimétricos.....	59
Quadro 3: Informações sobre as áreas de análise .....	60
Quadro 4: Valores de pesagens e características dos resíduos gerados no município de Perdígão/MG .....	66
Quadro 5: Peso específico dos resíduos sólidos .....	86
Quadro 6: Características territoriais e populacionais de cada área de projeto .....	89
Quadro 7: Frequência de coleta para área de projeto .....	92
Quadro 8: Número de PEVs de acordo com cada cenário .....	93
Quadro 9: Localização dos PEVs da cidade de Perdígão - MG .....	95
Quadro 10: Detalhamento das rotas de coleta da cidade de Perdígão - MG .....	101
Quadro 11: Cronograma de coleta.....	103

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Número de artigos publicados entre 2014 e 2024 .....	37
Gráfico 2: Geração mensal de resíduos no município de Perdigoão/MG de junho /22 a abril /24 .....	64
Gráfico 3: Taxa de geração <i>per capita</i> do município de Perdigoão/MG de junho /22 a abril /24 .....	65
Gráfico 4: Representatividade de cada categoria dos resíduos gerados no município de Perdigoão/MG .....	66
Gráfico 5: Composição gravimétrica dos RSU gerados no município de Perdigoão/MG .....	68
Gráfico 6: Taxa de geração <i>per capita</i> associada à composição gravimétrica dos resíduos no município de Perdigoão/MG .....	70
Gráfico 7: Progressão Populacional para o Município de Perdigoão/MG .....	71
Gráfico 8: Potencial teórico de geração de recicláveis para o município de Perdigoão/MG .....	72
Gráfico 9: Crescimento populacional de Perdigoão/MG de acordo com os cenários de implantação da coleta seletiva .....	91
Gráfico 10: Resíduos recicláveis a serem recuperados pela coleta seletiva .....	91
Gráfico 11: Índice de produtividade de volume recolhido por extensão das rotas.....	102
Gráfico 12: Índice de produtividade de volume recolhido por tempo de execução dos itinerários .....	102

## LISTA DE SIGLAS

ABREMA – Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CIA CENTRO-OESTE - Consórcio Intermunicipal Multifinalitário do Centro-Oeste Mineiro

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

FUNASA – Fundação Nacional da Saúde

GPC – Geração *per capita*

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Urbano

kg/hab – quilograma por habitante

kg/hab,dia – quilograma por habitante/dia

kg/m<sup>3</sup> - quilograma por metro cúbico

km – quilômetro

m – metro

m<sup>2</sup> - metro quadrado

m<sup>3</sup> - metro cúbico

PEV – Ponto de Entrega Voluntária

PIB – Produto Interno Bruto

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PRISMA - *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (Itens Preferenciais de Relatório para Revisões Sistemáticas e Meta-Análises)

PTGR – Potencial Teórico de Geração de Recicláveis

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

ton - Tonelada

## LISTA DE SÍMBOLOS

/ – Divisão

$e^x$  – Função Exponencial

$\ln(x)$  – Função Neperiana

= – Igualdade

X – Multiplicação

$\gamma$  – Peso Específico

% – Porcentagem

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	22	
2	OBJETIVOS.....	24	
	2.1 Objetivo geral.....	24	
	2.2 Objetivos Específicos.....	24	
3	JUSTIFICATIVA.....	25	
4	REFERÊNCIAS.....	26	
CAPÍTULO I: METODOLOGIAS PARA IMPLANTAÇÃO E MELHORIA DO SERVIÇO DE COLETA SELETIVA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.....			28
1	INTRODUÇÃO.....	31	
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33	
	2.1 Planejamento.....	34	
	2.2 Execução.....	35	
	2.3 Análise dos Resultados.....	35	
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37	
	3.1 Metodologias de implantação.....	40	
	3.2 Mobilização Social.....	42	
	3.3 Participação de Cooperativas de Reciclagem.....	44	
	3.4 Custo.....	46	
	3.5 Otimização dos serviços da coleta seletiva.....	46	
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49	
5	REFERÊNCIAS.....	50	
CAPÍTULO II: COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DE RSU E O POTENCIAL TEÓRICO DE GERAÇÃO DE RECICLÁVEIS DE UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE: ESTUDO DE CASO EM PERDIGÃO/MG.....			54
1	INTRODUÇÃO.....	57	
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	58	

2.1	Área de Estudos .....	58
2.2	Planejamento do ensaio .....	59
2.3	Determinação da taxa de geração <i>per capita</i> .....	61
2.4	Ensaio de determinação da composição gravimétrica.....	61
2.5	Progressão Populacional.....	62
2.6	Potencial Teórico de Geração de Recicláveis.....	63
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
3.1	Taxa de geração <i>per capita</i> .....	64
3.2	Composição Gravimétrica .....	65
3.3	Progressão Populacional.....	71
3.4	Potencial Teórico de Geração de Recicláveis.....	71
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	73
5	REFERÊNCIAS .....	74
	CAPÍTULO III: PROJETO DE COLETA SELETIVA PARA MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE UTILIZANDO UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA .....	77
	RESUMO .....	78
	ABSTRACT .....	79
1	INTRODUÇÃO.....	80
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	82
2.1	Área de Estudos .....	82
2.2	Coleta de dados.....	83
2.3	Pré-dimensionamento .....	84
2.4	Distribuição dos PEVs e otimização do dimensionamento das rotas de coleta.....	87
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	89
3.1	Coleta de dados.....	89
3.2	Pré-dimensionamento .....	90

	3.3 Otimização da locação dos contêineres e dimensionamento das rotas de coleta.....	93
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	104
5	REFERÊNCIAS .....	105
	APÊNDICES .....	108
	APÊNDICE A – CERTIFICADOS.....	108
	APÊNDICE B: DETALHAMENTO DO PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO.....	111
	APÊNDICE C: MANUAL PARA IMPLANTAÇÃO DE COLETA SELETIVA EM CIDADE DE PEQUENO PORTE.....	114

## APRESENTAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta pesquisa é constituída por três artigos completos, contendo introdução, materiais e métodos, resultados e discussões, considerações finais e referências. Além desses artigos, este trabalho conta também com uma introdução geral, objetivos e justificativa da pesquisa e produto técnico-tecnológico.

Durante a Introdução Geral, é realizada uma contextualização sobre a problemática do tema. Foram citadas as questões sobre aumento da produção mundial de resíduos e seus impactos, dificultando a atualização das legislações e o seu gerenciamento. Observa-se o recorte nacional sobre o tema, destacando a grande parcela dos resíduos que ainda são destinados incorretamente e as dificuldades enfrentadas pelos municípios de pequeno porte em garantir o correto manejo dos resíduos. Apresenta-se, também, uma breve contextualização sobre o gerenciamento de resíduos executado pelo município de Perdigoão/MG.

Logo mais, expõem-se os objetivos e a justificativa desta pesquisa. Quanto aos objetivos, são descritos o objetivo geral e específicos que orientam e direcionam todo o trabalho. No que se refere à justificativa, é detalhado o impacto da pesquisa, além da sua associação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU).

No Capítulo I, sendo este o primeiro artigo da pesquisa, é realizada uma revisão sistemática acerca das principais metodologias de implantação e melhorias no serviço de coleta seletiva. No total, foram analisados 19 trabalhos nacionais e internacionais que tratavam de temas como os métodos de implantação da coleta, estudos sobre melhorias na prestação do serviço de coleta e análise dos serviços prestados por cooperativas de reciclagem e dos impactos causados pela instalação de PEVs em um bairro a partir de entrevistas com moradores e autoridades locais.

No segundo artigo da pesquisa, o Capítulo II, são determinados a geração *per capita* média, o peso específico e o potencial teórico de geração de resíduos recicláveis. Por meio dos dados das pesagens realizadas entre os anos de 2022 e 2024 pela empresa contratada para transporte e destinação final dos resíduos, foi possível mensurar a geração média mensal e a geração *per capita* média de resíduos no município. Além disso, determinaram-se a composição gravimétrica dos resíduos e o peso específico a partir a investigação efetuada durante quatro dias ao final do ano de 2023. A partir de dados populacionais fornecidos pelo IBGE, calculou-se a progressão populacional para um horizonte de dez anos. E, por fim, por meio da associação

da composição gravimétrica, geração *per capita* e a progressão populacional, foi determinado o potencial teórico de geração de recicláveis.

No terceiro e último artigo, apresentado no Capítulo III, são dimensionados os equipamentos para a prestação dos serviços de coleta seletiva para o município de Perdigoão/MG. Foram dimensionados os de PEVs para atender à cidade, bem como foram dimensionadas e otimizadas as rotas de coleta. A definição do cronograma de coleta e da frota de veículo também foi efetuada.

No Apêndice A, são apresentados os certificados de participação em eventos nos quais algumas informações e metodologias utilizadas na pesquisa foram avaliadas e publicadas.

No Apêndice B, é apresentado e descrito o Produto Técnico-Tecnológico desenvolvido na pesquisa, detalhando suas principais características, bem como sua classificação conforme os critérios estabelecidos pela CAPES. O documento final do produto é disponibilizado no Apêndice C.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção acelerada e a heterogeneidade dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) dificultam a atualização das leis ambientais (GUERRINI *et al.*, 2017). Até 2050, estima-se que a geração global alcance a marca de 3,40 bilhões de toneladas de resíduos gerados anualmente. Entende-se que esse aumento na geração está diretamente relacionado com fatores socioeconômicos, como escolaridade, renda, crescimento populacional e desenvolvimento urbano, além de fatores geográficos e culturais (KAZA *et al.*, 2018; MONAVARI *et al.*, 2012; MONTEIRO *et al.*, 2001). No Brasil, por exemplo, somente durante o ano de 2023, foram produzidos cerca de 81 milhões de toneladas de resíduos, o que indica que o brasileiro produziu cerca de 1,04 kg de resíduos por dia. Somado a isso, a situação se agrava ao analisar que 41,5% de todo esse montante ainda é destinado incorretamente (ABREMA, 2024).

Esses fatores apenas enfatizam a necessidade da criação de mecanismos para aprimorar o gerenciamento dos RSU, principalmente em países em desenvolvimento, onde os problemas enfrentados são potencializados devido à falta de infraestrutura necessária (KHAN; KUMAR; SAMADDER, 2016; MAALOUF; MAVROPOULOS, 2023).

Com base nisso, além de incentivar ações de reuso, reutilização e reciclagem, a Lei 12.305 (BRASIL, 2010) ainda define como um dos seus objetivos a gestão integrada dos RSU. Constituída de uma série de ações estabelecidas para aprimorar o manejo dos resíduos sólidos, da Silva; Fugii e Santoyo (2017) destacam que a gestão integrada é uma ferramenta importante para o progresso de um município.

A coleta seletiva desempenha um papel crucial para garantia da sustentabilidade no manejo dos RSU, uma vez que incentiva a criação de hábitos saudáveis por meio da segregação dos resíduos ainda na fonte (BERTICELLI *et al.*, 2020; BRINGHENTI, J.R.; ZANDONADE; GÜNTHER, 2011; RIBEIRO; BESEN, 2007). Apesar disso, conforme Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, publicado em 2023, foram identificadas iniciativas de coleta seletiva somente em 1.630<sup>1</sup> municípios brasileiros, e, como uma das consequências, apenas 5,5% dos resíduos recicláveis secos foram recuperados e desviados dos aterros sanitários (SNIS, 2023a).

---

<sup>1</sup> O Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, publicado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento em 2023, reuniu informações de 5.060 municípios, o que representa 90,8% dos municípios brasileiros.

Campos-Alba *et al.* (2021) destacam que, apensar do retorno financeiro, os custos para implantação e operação da coleta seletiva são muito mais elevados quando comparados aos da coleta convencional. Eles estão associados a características populacionais (densidade, interesse turístico, escolaridade), geográficas (topografia), produção de resíduos, estrutura viária, método de coleta e distância de transporte dos materiais (GUERRINI *et al.*, 2017).

Somado a isso, muitas vezes, para implantação do serviço de coleta seletiva, é necessária a aquisição de novos maquinários e equipamentos, reforma ou construção de usinas de triagem e aumento do corpo de colaboradores. Diante dessa realidade, as cidades de pequeno porte se deparam com problemas, já que precisam lidar com a escassez de recursos financeiros e humanos (LEITE *et al.*, 2017).

No que tange a Perdígão/MG, município de 12.298 habitantes do centro-oeste mineiro, apesar de todo resíduo coletado ser destinado a um aterro privado, a coleta é realizada porta a porta, sem nenhuma separação dos materiais. O espaço utilizado hoje como Área de Transbordo serviu como Lixão durante muitos anos e, atualmente, passa por processo de regularização e recuperação, conforme informações fornecidas pela Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente. O município ainda participa do Consórcio Intermunicipal Multifinalitário do Centro-Oeste Mineiro – CIAS Centro-Oeste<sup>2</sup>, porém a destinação de seus resíduos ainda é feita por meio do contrato individual com a empresa terceirizada contratada para transporte e destinação final dos resíduos no aterro privado em Bambuí/MG (SNIS, 2023).

Em 2018, foi aprovado o Plano Municipal de Saneamento, instituído pela Lei Municipal 1.696 (PERDIGÃO, 2018), no qual são estabelecidas ações e metas para os serviços de saneamento no município. Entretanto, apesar da meta definida para implantação da coleta seletiva no município, a coleta é realizada de forma convencional, porta a porta. Todo o resíduo coletado é acondicionado na área de transbordo até que a empresa contratada para efetuar o transporte e destinação final o recolha.

---

<sup>2</sup> Municípios integrantes do CIAS Centro-Oeste: Abaeté, Araújos, Bambuí, Biquinhas, Bom Despacho, Cedro do Abaeté, Conceição do Pará, Córrego Danta, Divinópolis, Dolores do Indaiá, Estrela do Indaiá, Igaratinga, Iguatama, Leandro Ferreira, Luz; Maravilhas, Martinho Campos, Medeiros, Moema, Morada Nova de Minas, Nova Serrana, Onça de Pitangui, Paineiras, Papagaios, Pequi, Perdígão, Pitangui, Pompéu, Quartel Geral, São Gonçalo do Pará, São José da Varginha, São Sebastião do Oeste, Serra da Saudade e Tapiraí (CIAS CENTRO OESTE, 2024).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Realizar um diagnóstico situacional e projetar o serviço de coleta seletiva para o município de Perdígão/MG.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar um levantamento das características qualitativas e quantitativas dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Perdígão-MG;
- Analisar o serviço de coleta, acondicionamento, transporte e destinação final dos resíduos sólidos urbanos recolhidos na cidade de Perdígão-MG;
- Projetar um serviço de coleta seletiva adequado às características da cidade de Perdígão-MG;
- Confeccionar um manual sobre os processos necessários para o dimensionamento e implantação dos serviços de coleta seletiva em município de pequeno porte.

### 3 JUSTIFICATIVA

São notórios os empecilhos que cidades de pequeno porte enfrentam para gerenciar os RSU de forma sustentável. O problema aumenta de proporção quando é identificado que 3.823 dos 5.570 municípios brasileiros (68,64%) apresentam população abaixo de 20 mil habitantes (IBGE, 2024). A dificuldade no manejo dos RSU é uma realidade que acomete o país todo. Diante disso, surge a necessidade da criação de metodologias e práticas capazes de facilitar e adequar as condições desses municípios.

A pesquisa, então, por meio dessa problemática, busca propor soluções para melhorar o gerenciamento de resíduos sólidos no município de Perdigoão, por meio das seguintes questão e hipótese, respectivamente:

- Qual modelo de coleta seletiva melhor se adequa ao município de Perdigoão?
- A otimização da localização de PEVs associados à criação de rotas de coleta, por meio de programas SIG, permite reduzir o tempo de coleta, distância percorrida e número de caminhões coletores necessários.

No que se refere à aderência aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU), a pesquisa, de modo geral, se relaciona com o ODS 12: Consumo e Produção Sustentáveis e ODS 8: Trabalho decente e crescimento econômico:

- ODS 12.5: até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso. A pesquisa vai ao encontro desse objetivo, uma vez que a principal finalidade da coleta seletiva é garantir a reciclagem dos resíduos e, conseqüentemente, diminuir a pressão para extração de matéria-prima e aumentar a vida útil dos aterros sanitários.
- ODS 8.5: até 2030, alcançar o emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todas as mulheres e homens, inclusive para os jovens e as pessoas com deficiência, e remuneração igual para trabalho de igual valor. A coleta seletiva também apresenta um viés social por meio da criação de novos postos de trabalho, além de promover a regularização do trabalho informal por meio da criação de associações de catadores.

#### 4 REFERÊNCIAS

- ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024**. São Paulo: 2024. Disponível em: <<https://www.abrema.org.br/panorama/>>. Acesso em: 06 fev. 2025.
- BERTICELLI, Ritielli *et al.* Contribuição da coleta seletiva para o desenvolvimento sustentável municipal. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 781–796, 11 abr. 2020. DOI: 10.17765/2176-9168.2020v13n2p781-796
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União. Brasília, 2010. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 06 fev. 2025.
- BRINGHENTI, J.R.; ZANDONADE, E.; GÜNTHER, W.M.R. Selection and validation of indicators for programs selective collection evaluation with social inclusion. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 11, p. 876–884, 2011. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.04.010
- CAMPOS-ALBA, C. M. *et al.* The selective collection of municipal solid waste and other factors determining cost efficiency. An analysis of service provision by spanish municipalities. **Waste Management**, v. 134, p. 11–20, 2021. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.07.039
- GUERRINI, A. *et al.* Assessing efficiency drivers in municipal solid waste collection services through a non-parametric method. **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 431–441, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.079
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativas da População para julho de 2024**. 2024 Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>>. Acesso em: 06 fev. 2025.
- KAZA, S. *et al.* **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Washington, DC: World Bank, 2018. DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0
- KHAN, D.; KUMAR, A.; SAMADDER, S.R. Impact of socioeconomic status on municipal solid waste generation rate. **Waste Management**, v. 49, p. 15–25, mar. 2016. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.01.019
- LEITE, A. P. *et al.* Limitações do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos em município de pequeno porte. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 2, p. 382–396, 2017. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0030
- MAALOUF, Amani; MAVROPOULOS, Antonis. Re-assessing global municipal solid waste generation. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, v. 41, n. 4, p. 936–947, 25 abr. 2023. DOI: 10.1177/0734242X221074116
- MONAVARI, Seyed Masoud *et al.* The effects of socioeconomic parameters on household solid-waste generation and composition in developing countries (a case study: Ahvaz, Iran). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 4, p. 1841–1846, 29 abr. 2012.
- MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM. 2001 Disponível em: <<https://www.ibam.org.br/>>. Acesso em: 06 fev. 2025.

RIBEIRO, H.; BESEN, G. R. Panorama da coleta seletiva no Brasil: desafios e perspectivas a partir de três estudos de caso. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 2, n. 4, p. 1–18, 2007. Disponível em: <<https://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/2007-art-7.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2025.

Da SILVA, C. L. ; FUGII, Gabriel Massao; SANTOYO, Alain Hernández. Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal perante as políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao município de Curitiba. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 2, p. 276–292, 2017. DOI: 10.1590/2175-3369.009.002.A009

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico Temático: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>>. Acesso em: 06 fev. 2025.

## **CAPÍTULO I: METODOLOGIAS PARA IMPLANTAÇÃO E MELHORIA DO SERVIÇO DE COLETA SELETIVA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Antônio Eduardo dos Santos<sup>1</sup>, Carlos Fernando Lemos<sup>2</sup>, Neimar de Freitas Duarte<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) – Campus Divinópolis/MG. Mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - *Campus Bambuí* MG. E-mail: antonioedu1@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Geoquímica Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF)/INM Espanha. Professor Associado IV da Universidade Federal de Viçosa.

<sup>3</sup> Doutor em Biologia Vegetal pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor efetivo e Pró Reitor de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG). Belo Horizonte - MG.

## RESUMO

A gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil é uma questão complexa e representa uma crescente preocupação para os legisladores. A coleta seletiva é uma estratégia essencial para a sustentabilidade, porém, enfrenta muitos desafios devido, principalmente, aos altos custos de implantação. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi identificar as metodologias para a implantação e melhoria da coleta seletiva. A revisão sistemática foi conduzida utilizando três etapas: planejamento, execução e análise dos resultados. Para a etapa de planejamento, foi adotada a metodologia PRISMA, para definir critérios de seleção dos artigos. Iniciando a busca com a identificação de 302 artigos, ao final da etapa de execução, apenas 19 trabalhos foram incluídos na pesquisa. Os resultados apontaram a importância de um diagnóstico abrangente da situação atual do município e um planejamento cuidadoso da coleta seletiva. Foram mencionadas três abordagens para a coleta seletiva: porta a porta, pontos de entrega voluntária (PEV) e envolvimento de catadores. Ações de mobilização social são enfatizadas para o sucesso da coleta seletiva. Também foi destacada a utilização de SIG para otimização de itinerários e a implantação de PEVs visando à redução do tempo de coleta e consumo de combustível. Os problemas apontados referem-se, principalmente, à mobilização social inadequada, escassez de recursos e falta de apoio às cooperativas e catadores autônomos. Conclui-se que, apesar dos custos elevados, há formas de contribuir para a melhoria e redução dos custos de opção da coleta seletiva. A utilização de PEVs e adequação das rotas utilizando SIG auxiliaram na redução do trajeto percorrido, do combustível e do tempo de coleta.

**Palavras-chave:** Coleta seletiva. Resíduos sólidos urbanos. Metodologia PRISMA. PEV.

## ABSTRACT

The management of Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil is a complex issue and represents an increasing concern for legislators. Selective waste collection is an essential strategy for sustainability, yet it faces many challenges, primarily due to the high implementation costs. Thus, the objective of this study is to identify methodologies for the implementation and improvement of selective waste collection. The systematic review was conducted using three stages: planning, execution, and results analysis. For the planning stage, the PRISMA methodology was adopted to define the selection criteria for the articles. The search began with the identification of 302 articles, but at the end of the execution stage, only 19 studies were included in the research. The results emphasized the importance of a comprehensive diagnosis of the current situation of the municipality and careful planning of selective waste collection. Three approaches to selective waste collection were mentioned: door-to-door, voluntary delivery points (VDPs), and involvement of waste pickers. Social mobilization actions are highlighted as crucial for the success of selective collection. The use of GIS for route optimization and the implementation of VDPs was also emphasized, aiming to reduce collection time and fuel consumption. The challenges identified mainly concern inadequate social mobilization, resource scarcity, and lack of support for cooperatives and independent waste pickers. It is concluded that, despite the high costs, there are ways to contribute to the improvement and reduction of costs related to selective waste collection. The use of VDPs and route adjustments using GIS helped reduce the distance traveled, fuel consumption, and collection time.

**Keywords:** Selective waste collection. Urban solid waste. PRISMA methodology. VDP.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da geração e a mudança na composição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são preocupações crescentes para os legisladores (Guerrini *et al.*, 2017). No Brasil, durante o ano de 2023, foram gerados 81 milhões de toneladas de RSU, o que significa que cada brasileiro produziu, em média, 1,04 kg de resíduos por dia. No entanto, apenas 69,3 milhões de toneladas (85,6%) foram encaminhados para destinação final<sup>3</sup> e somente 58,5% desses resíduos foram destinados adequadamente (ABREMA, 2024). As características locais da população, como a renda, aspectos geográficos, culturais, sociais e climáticos, causam efeitos na geração e na composição dos resíduos produzidos em cada localidade (Kaza *et al.*, 2018; Monteiro *et al.*, 2001).

Conforme estabelecido na Lei 14.026 (Brasil, 2020), que atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico, é dever de todos os titulares dos serviços públicos de saneamento gerir todo o RSU produzido, garantindo sua coleta, acondicionamento, transporte e destinação final adequada. Nesse contexto, a Lei 12.305 (Brasil, 2010), que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), promove a gestão integrada dos RSU. Essa gestão envolve uma série de ações estruturadas com a finalidade de propor e pesquisar saídas para os resíduos sólidos, considerando o desenvolvimento sustentável nas esferas política, social, cultural, ambiental e econômica.

Para Silva e Fugii (2017), a gestão adequada dos RSU é crucial para o desenvolvimento de um município, reforçando, ainda, que a diversidade na gestão integrada exige uma equipe constituída por profissionais de diversas áreas, de modo a atender às demandas econômicas, ambientais, institucionais e sociais.

A coleta seletiva desempenha um papel crucial na gestão dos RSU, promovendo mudança na cultura do descarte e estimulando o hábito da segregação de resíduos na fonte geradora, visando ao seu aproveitamento (Bringhenti, Zandonade e Günther, 2011; Ribeiro e Besen, 2007). Ela permite a separação de materiais recicláveis, como papel/papelão, plástico, vidro, madeira, orgânicos e metais, que são encaminhados para empresas recicladoras ou cooperativas após a coleta, diminuindo o descarte em aterros sanitários (CEMPRE, 2018).

---

<sup>3</sup> Segundo o Panorama disponibilizado pela ABREMA (2024), em 2023, além do encaminhamento dos resíduos para a destinação final, foram considerados outros fluxos dos RSU, como a reciclagem, queima e produção de combustíveis.

Essa prática proporciona benefícios significativos, como a redução do uso de matéria-prima virgem, economia de recursos renováveis e não renováveis, valorização de matéria-prima reciclada, economia de energia, diminuição do volume de resíduos destinados aos aterros, criação de novos negócios, geração de postos de trabalho e a redução nos custos do gerenciamento (Bringhenti, Zandonade e Günther, 2011; CEMPRE, 2018; Monteiro *et al.*, 2001).

Apesar desses benefícios, de acordo com o Panorama do Serviço Nacional de Informações de Saneamento, a maioria das cidades ainda não implantou a coleta seletiva. O diagnóstico aponta que, em somente 1.630 municípios dos 5.060 analisados, foi identificado o serviço de coleta seletiva em 2022, o que representa apenas 32,2% das cidades. Como resultado, apenas 5,5% de todo o material que apresenta potencial para reciclagem, excluindo a matéria orgânica, foram recuperados (SNIS, 2023).

Campos-Alba *et al.* (2021) ressaltam que, embora a coleta seletiva apresente melhor eficiência de custo, ou seja, atinja resultados melhores em termos de eficiência ao se considerar os custos do serviço, ela ainda evidencia o custo mais elevado quando comparada à coleta convencional.

Guerrini *et al.* (2017) destacam que o custo da coleta dos RSU é influenciado por fatores relacionados à população (tamanho, densidade, idade e interesse turístico), características geográficas, cultura das famílias, quantidade e qualidade do resíduo gerado, distância entre a cidade e o local de disposição e o método de coleta adotado. Somado a isso, os municípios de pequeno porte enfrentam dificuldades para executar tal serviço em decorrência da insuficiência de recursos financeiros e humanos (LEITE *et al.*, 2017b).

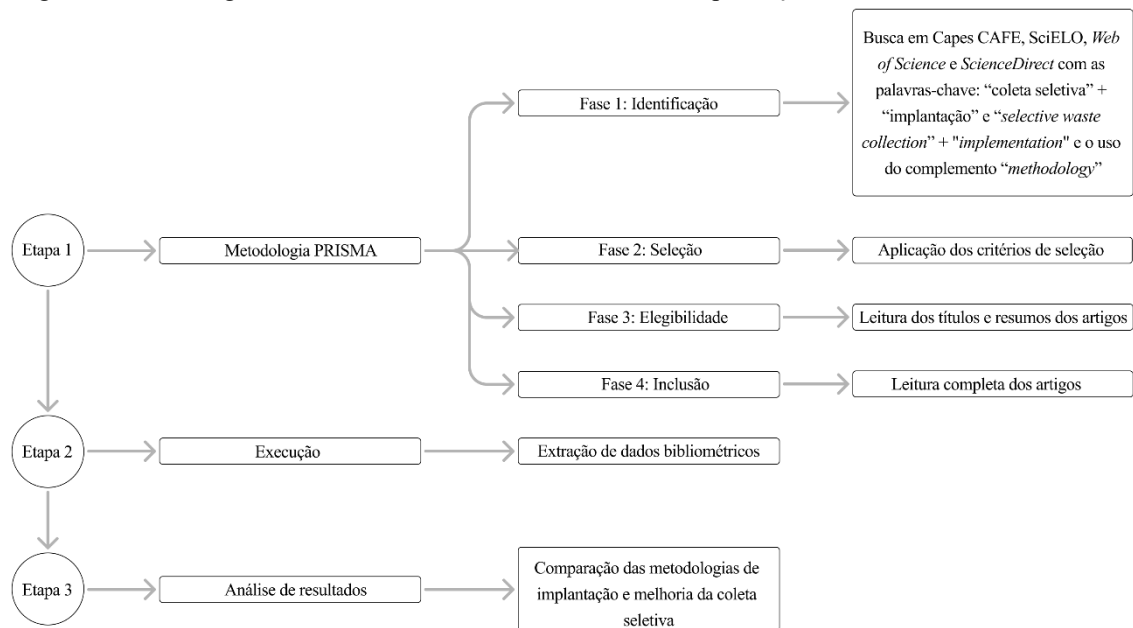
Portanto, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão sistemática das metodologias de implantação de coleta seletiva e de aprimoramento do serviço já instalado. O estudo visa analisar os diferentes métodos de se implantar essa modalidade de coleta, reunindo todos os aspectos e nuances envolvidos para fornecer informações para que gestores, principalmente de municípios de pequeno porte, possam definir a melhor solução.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão sistemática é um processo metódico de busca e análise de informações, cujas etapas devem ser claramente definidas para garantir resultados confiáveis. Este tipo de pesquisa foca em um tema central e segue rigorosamente uma metodologia predefinida, permitindo que outros pesquisadores reproduzam e atualizem os resultados. De modo geral, a revisão sistemática é um método científico que visa mapear informações para identificar padrões e correlações relacionadas à questão central da pesquisa (BIOLCHINI *et al.*, 2007).

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram adotadas adaptações das metodologias propostas por Biolchini *et al.* (2007), Gonçalves *et al.* (2018) e Neto; Simões e Simoes (2024). Assim, a revisão sistemática foi estruturada nas seguintes etapas: Planejamento, Execução e Análise dos Resultados, conforme Figura 1.

Figura 1: Metodologia utilizada na revisão sistemática sobre a implantação e melhoria da coleta seletiva



Fonte: Adaptado de Biolchini *et al.* (2007), Gonçalves *et al.* (2018) e Neto; Simões e Simoes (2024).

Durante a etapa planejamento, são definidos os objetivos e o tema central, as fontes de pesquisa e os critérios de seleção e exclusão (BIOLCHINI *et al.*, 2007). Para essa fase, foi adotada a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), conforme realizado por Neto; Simões e Simoes (2024). De acordo com Biolchini *et al.* (2007) e Moher *et al.* (2010), o sistema PRISMA é constituído de quatro fases: identificação, seleção, elegibilidade e inclusão.

A etapa de execução é caracterizada pela busca e seleção dos artigos, extração dos metadados; leitura, interpretação dos documentos, além da sumarização das informações.

Durante essa fase, a identificação e avaliação dos documentos são realizadas utilizando-se os critérios de elegibilidade definidos previamente (BIOLCHINI *et al.*, 2007; NETO; SIMÕES; SIMOES, 2024).

Por fim, durante a etapa de análise dos resultados, são feitas as correlações das informações encontradas, identificação das aplicações e a realização de recomendações para revisões futuras (BIOLCHINI *et al.*, 2007).

## 2.1 Planejamento

O tema central desta pesquisa foi a análise de metodologias de implantação de coleta seletiva e dos processos utilizados para melhorias nos serviços já instalados. O objetivo foi identificar artigos científicos que apresentem propostas relacionadas ao tema, com a finalidade de analisar e comparar os modelos de implantação utilizados. Essa análise visa oferecer diretrizes para locais que ainda estão estruturando seus sistemas de coleta seletiva.

No escopo da presente pesquisa, foram empregadas as bases de pesquisa: Periódicos Capes; SciELO, *Web of Science* e *ScienceDirect*. Utilizando a metodologia PRISMA, definiram-se critérios iniciais para identificação das pesquisas antes da realização das buscas. Conduzida em dezembro de 2024, a seleção incluiu apenas artigos científicos publicados em português (Brasil) e inglês.

As palavras-chave definidas para a busca foram: “coleta seletiva” + “implantação” e a variação em inglês, “*selective waste collection*” + “*implementation*”. Para a base de dados *ScienceDirect*, devido ao grande volume de resultados, adicionou-se a palavra-chave: “*methodology*”. A inclusão foi necessária para restringir e filtrar a seleção dos estudos com maior afinidade com o tema central da pesquisa.

Para a etapa de seleção, outros critérios foram definidos, como avaliação Qualis do periódico onde o artigo foi publicado e ano de publicação. Optou-se pela inclusão de artigos publicados em periódicos B2 e superiores. Restringiu-se o período de publicação ao intervalo entre 2014 e 2024.

Como critério de elegibilidade, foram lidos os títulos de cada um dos artigos. Selecionaram-se aqueles que indicavam, em seus títulos, a análise da implantação e melhoria dos serviços de coleta seletiva, percepção dos efeitos e resultados alcançados a partir da implantação dos serviços e as metodologias adotadas para o dimensionamento da atividade.

Para essa seleção, foram observados os títulos compostos por palavras como: implantação, aplicação, avaliação, revisão, projeto, efeito, práticas, além de seus sinônimos e correlatos.

Após esse processo, os trabalhos selecionados tiveram seus resumos lidos e avaliados. Quando identificado, pelo resumo, que o documento não tratava de assuntos iguais ou próximos aos objetivados nesta pesquisa, era desconsiderado. Para a inclusão final, cada artigo foi lido e avaliado em sua íntegra. Os artigos que atenderam aos critérios foram selecionados para a pesquisa, enquanto os demais foram descartados.

## **2.2 Execução**

Posteriormente à busca dos artigos utilizando as palavras-chave mencionadas previamente e à aplicação do filtro de período de publicação, foram selecionados 302 estudos. Após a leitura dos títulos, esse número foi reduzido para 47 artigos. A leitura dos resumos e a exclusão dos trabalhos em duplicidade reduziram o número de estudos para 32. A análise da classificação dos periódicos nos quais os trabalhos foram publicados resultou na seleção de 23 artigos. Por fim, após a leitura completa dos documentos, foram escolhidos 19 artigos para serem analisados e utilizados nesta pesquisa.

## **2.3 Análise dos Resultados**

Ao final da execução do processo de busca e seleção, foram selecionados 19 trabalhos de diferentes autores, locais de aplicação e anos de publicação. Esses documentos foram submetidos a inúmeras leituras, extração de informações e categorização dos principais temas apresentados. A partir disso, foi possível correlacionar as informações entre os artigos e identificar padrões e tendências nos resultados.

Para as categorias de classificação dos artigos, adotaram-se: metodologia de implantação, que corresponde aos trabalhos que investigam as metodologias e/ou operações de implantação da coleta seletiva; mobilização social, categoria que inclui os artigos que trazem análises sobre as estratégias de mobilização social e ações de educação ambiental desenvolvidas na implantação da coleta seletiva; participação de cooperativas de reciclagem, que abrange os trabalhos que observaram e examinaram os serviços das cooperativas de reciclagem; custos, que reúne os documentos que, majoritariamente, investigam os custos relacionados à coleta seletiva; e otimização dos serviços da coleta seletiva, categoria composta por trabalhos que

apresentam o desenvolvimento de atividades que aprimoraram, de alguma forma, a coleta seletiva no respectivo local de estudo.

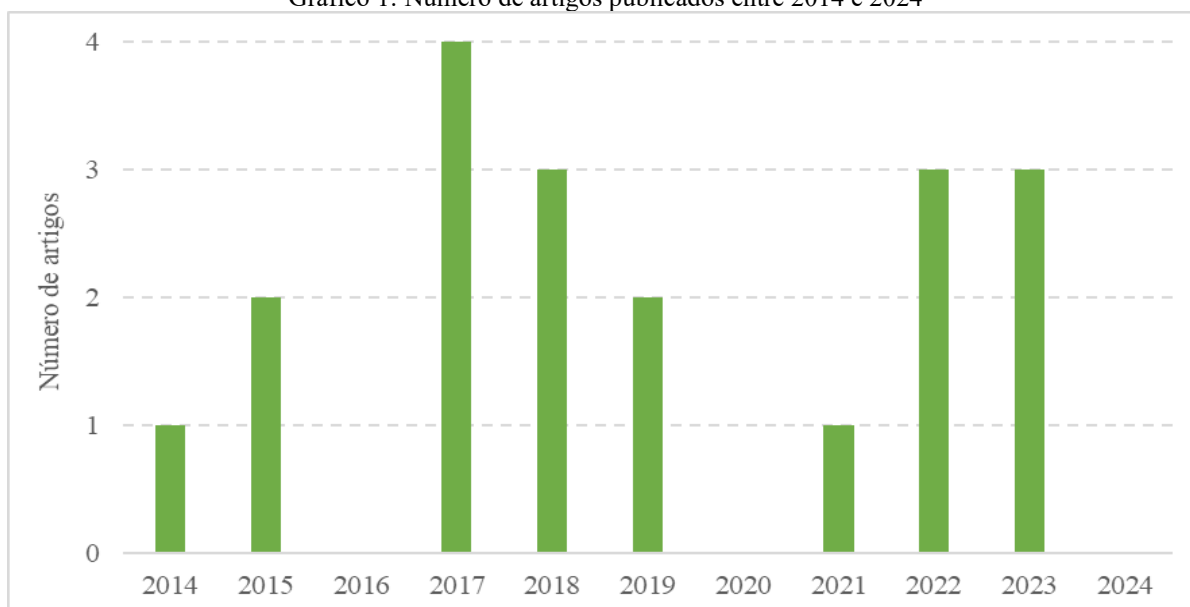
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos artigos revelou uma escassez de publicações cujo principal objetivo seja compartilhar metodologias e procedimentos para implantação e melhoria do serviço de coleta seletiva no período analisado. Um aspecto interessante identificado é que, entre todos os artigos selecionados, apenas cinco não foram desenvolvidos no Brasil. Dentre os trabalhos selecionados, o periódico com mais representatividade foi a *Resources, Conservation and Recycling*, com cinco trabalhos selecionados.

A análise dos artigos evidenciou que apenas um deles é uma revisão de literatura. Os demais são estudos empíricos que analisam e relatam os resultados e efeitos da implantação do serviço ou de atividades de melhoria relacionadas à coleta seletiva de RSU. Com exceção do trabalho de revisão de literatura, todos os artigos discutem a implantação da coleta seletiva em seus respectivos locais de origem. No entanto, alguns abordam o tema sob diferentes perspectivas. Os detalhes bibliométricos de cada um dos artigos são apresentados no Quadro 1, abaixo.

Ao observar os anos de publicação, percebe-se que foi selecionado ao menos um artigo de cada ano analisado, com exceção de 2016, 2020 e 2024. Além disso, nota-se que o ano de 2017 conta com quatro trabalhos selecionados (Gráfico 1).

Gráfico 1: Número de artigos publicados entre 2014 e 2024



Fonte: dos Santos, A. E.; Lemos, C. F.; Duarte, N. F. (2024)

Quadro 1: Detalhes bibliométricos dos artigos selecionados

<b>Títulos</b>	<b>Autores</b>	<b>Publicação / Qualis Periódico</b>	<b>País</b>	<b>Ano</b>	<b>Tema Atualizado</b>
Aplicação de técnicas de análise espacial para otimização das rotas de coleta de material reciclável no município de Sorocaba - SP	D. C. da C. e Silva; V. N. Oliveira; V. D. Dominato; D. Venanzi	Revista Brasileira de Geografia Física, 2017, Vol. 10, n. 06, p. 1812-1828 / A2	Brasil	2017	Otimização dos serviços da coleta seletiva
Assessment of municipal solid waste collection in Bolivia: Perspectives for avoiding uncontrolled disposal and boosting waste recycling options	N. Ferronato; G. P. P. Alarcón; E. G. G. Lizarazu; V. Torretta	Resources, Conservation and Recycling, 2017, Vol. 167, p. 105234 / A1	Bolivia	2021	Otimização dos serviços da coleta seletiva
Assessment strategies for municipal selective waste collection schemes	F. Ferreira; C. Avelino; I. Bentes; C. Matos; C. A. Teixeira	Waste Management, 2017, Vol. 59, p. 3-13 / A1	Portugal	2017	Otimização dos serviços da coleta seletiva
Avaliação do efeito do fortalecimento da coleta seletiva nos custos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos	T. Galavote; L. G. Sena, L. M. Calixto; R. M. de S. Dutra; T. C. Coimbra; G. de L. D. Chaves; R. R. Siman	Revista Brasileira de Gestão Urbana, 2023, Vol. 15, p. 01-18 / A1	Brasil	2023	Custos
Coleta containerizada de resíduos sólidos em uma cidade do interior do Paraná e suas implicações para o cumprimento da ODS 11	K. C. A. Marcon; S. R. Stéfani	Mix Sustentável, 2023, Vol. 09, n. 02, p. 17-30 / A3	Brasil	2023	Mobilização Social
Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling	J. Gutberlet	Waste Management, 2015, Vol 45, p. 22-31 / A1	Brasil	2015	Participação de cooperativas de reciclagem
Estudo de caso da coleta seletiva de resíduos sólidos recicláveis no bairro da Pedreira-Belém/PA	A. S. O. de Souza; M. A. Ramos; P. Q. Bahia	Revista Caribeña de Ciencias Sociales, 2014, Vol. 11, s. n., p. / B1	Brasil	2014	Participação de cooperativas de reciclagem
Implantação de sistema de coleta seletiva como instrumento de transformação socioambiental	I. C. Viana; D. R. Pereira; I. do C. C. V. Bôas; O. J. de A. Gerude Neto; M. G. Ramos; T. A. G. C. Silva	Revista Brasileira de Educação Ambiental, 2022, Vol. 17, n. 1, p. 418-432 / A4	Brasil	2022	Mobilização Social
Influence of implementing selective collection on municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study	V. Ibáñez-Forés; C. Coutinho-Nóbrega; M. D. Bovea; C. de Mello-Silva; J. Lessa-Feitosa-Virgolino	Resources, Conservation and Recycling, 2018, Vol. 134, p. 100-111 / A1	Brasil	2018	Mobilização Social
Methodology to design a municipal solid waste pre-collection system. A case study	A. Gallardo; M. Carlos; M. Peris; F. J. Colomer	Resources, Conservation and Recycling, 2018, Vol. 134, p. 100-111 / A1	Espanha	2018	Otimização dos serviços da coleta seletiva

<b>Títulos</b>	<b>Autores</b>	<b>Publicação / Qualis Periódico</b>	<b>País</b>	<b>Ano</b>	<b>Tema Atualizado</b>
Mobilização e Implantação da Coleta Seletiva no Município de Guanhães	J. S. Anjos; G. Wolff; A. C. Ferraro; C. F. Santos	Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, 2019, Vol. 08, n. 1, p. 600-628 / B2	Brasil	2019	Mobilização Social
Nudging to promote household waste source separation: Mechanisms and spillover effects	Z. Zhang; X. Wang	Resources, Conservation and Recycling, 2020, Vol. 162, p. 105054 / A1	China	2022	Mobilização Social
O programa de coleta seletiva em Ituiutaba: Análise de sua implantação e resultados	C. C. Franco; H. F. S. Minéu	Boletim de Geografia, 2015, Vol. 33, n. 01, p. 81-94 / A2	Brasil	2015	Participação de cooperativas de reciclagem
Planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva: utilização de um sistema de informação geográfica na elaboração das rotas	M. Bernardo, R. da S. Lima	Revista Brasileira de Gestão Urbana, 2023, Vol. 15, p. 01-18 / A1	Brasil	2023	Otimização dos serviços da coleta seletiva
Programa castelense de coleta seletiva de lixo: um estudo de caso do município de Presidente Castello Branco (SC)	P.C. de Almeida; C. O. dos Santos	Revista Brasileira de Educação Ambiental, 2022, Vol. 11, n. 2, p. 324-341 / A4	Brasil	2022	Mobilização Social
Projeto-piloto de ponto de entrega voluntária de material reciclável em bairro do município de Poços de Caldas-MG	L. F. R. Turci; G. P. Sancinetti; D. S. Braga; F. Carnietto; L. H. S. Juazeiro; C. G. dos Reis	Revista Brasileira Multidisciplinar, 2019, Vol. 22, n. 01, p.193 / B1	Brasil	2019	Mobilização Social
Revisão dos Modelos e Metodologias de Coleta Seletiva no Brasil	N. M. Mirandas, U. A. de O. Mattos	Sociedade e Natureza, 2017, Vol. 30, p.1-22 / A1	Brasil	2017	Metodologias de implantação
Uma proposta de implantação de coleta seletiva no Condomínio Recanto Verde, Aracaju/SE	M. M. Santos; Â. F. Pitanga	Revista Sergipana de Educação Ambiental, 2018, Vol. 01, n. 05, p. / B1	Brasil	2018	Custos
Using Action Research to Implement Selective Waste Collection Program in a Brazilian City	M. Bernardo; R. da S. Lima	Systemic Practice and Action Research, 2017, Vol. 30, n. 6, p.593-608 / B1	Brasil	2017	Otimização dos serviços da coleta seletiva

Fonte: dos Santos, A. E.; Lemos, C. F.; Duarte, N. F. (2024)

### 3.1 Metodologias de implantação

A coleta seletiva é uma ferramenta valiosa para o gerenciamento dos RSU e é considerada pela PNRS (Brasil, 2010) como uma atividade essencial para que a disposição final em aterros sanitários seja a última opção a ser considerada.

Conforme discutido por Mirandas e Mattos (2018), percebe-se que, independentemente das escalas de implantação (regiões e municípios ou organizações como empresas e escolas), as etapas para implantação do serviço pouco se alteram, necessitando apenas de adaptações específicas para melhor atender às necessidades locais. Dessa forma, os autores ressaltam que o processo de elaboração e implantação da coleta seletiva é constituído de cinco etapas: diagnóstico, planejamento, implantação, operação, monitoramento e, por fim, análise dos benefícios.

A etapa de diagnóstico é composta de estudos que visam avaliar e coletar informações sobre os serviços de gerenciamento dos RSU desempenhados localmente. Nesse sentido, Gallardo *et al.* (2015) reúnem informações como composição gravimétrica dos RSU, dados demográficos, serviços já ofertados pela municipalidade e os custos relacionados. Já Santos e Pitanga (2018) e Viana *et al.* (2022), por terem como área de estudo um condomínio, optaram por utilizar um formulário estruturado para conseguir os dados necessários, além de avaliarem o interesse social por parte dos condôminos.

Na etapa de planejamento, apoiada pelas informações coletadas na etapa de diagnóstico, é desenvolvido o projeto da coleta e detalhamento do serviço. Especificamente, é definida a modalidade da coleta (porta a porta, PEV e/ou com auxílio de catadores), nível de segregação, área de cobertura, cronograma de implantação, cronograma de coleta, dimensionamento e localização dos PEVs e o desenvolvimento de campanhas de mobilização social (ALMEIDA; SANTOS, 2016; GALLARDO *et al.*, 2015a; MIRANDAS; MATTOS, 2018).

O nível de segregação é uma definição crucial para a implantação dos serviços. Os resíduos podem ser totalmente separados na fonte geradora (papel/papelão, vidro, plástico, metal e orgânicos) ou apenas divididos entre recicláveis e orgânicos (secos e úmidos). Embora a separação total na fonte gere menores custos com triagem, higienização e transporte dos resíduos, ela requer a utilização de caminhões coletores adaptados, instalação de contêineres específicos, maior frequência na coleta e ações de mobilização social mais elaboradas,

persistentes e contínuas. Por outro lado, para a coleta de resíduos separados apenas entre recicláveis e orgânicos, é imprescindível a utilização de um centro de triagem adequado, que permita a segregação e o acondicionamento dos materiais, além de dispor de mão de obra capacitada e em número adequado para esse serviço. Nesse caso, a mobilização social pode ser menos intensiva, e o itinerário de coleta, mais simples (MIRANDAS; MATTOS, 2018).

A partir do nível de segregação dos materiais, também é estabelecido o método de recolhimento dos resíduos. Segundo apontamentos, Miranda e Mattos (2018), corroborados pelo Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (MONTEIRO *et al.*, 2001) e pelo Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado (CEMPRE, 2018), revelam que há três maneiras de se realizar a coleta seletiva: coleta porta a porta, pontos de entrega voluntária (PEV) e com o auxílio de catadores.

A coleta porta a porta consiste no recolhimento de resíduos previamente separados e dispostos em frente aos imóveis, exigindo que o caminhão percorra todas as ruas da área de cobertura, o que aumenta o tempo e os custos do serviço. Como alternativa, os PEVs, compostos por contêineres coloridos, conforme a Resolução CONAMA 275 (2001), distribuídos pela área de abrangência do serviço de coleta seletiva, reduzem o tempo de coleta e a distância percorrida pelos caminhões. Além disso, a coleta seletiva pode contar com catadores e cooperativas, que, quando apoiados por programas estruturados, criam empregos, geram renda e reduzem custos (CEMPRE, 2018; MIRANDAS; MATTOS, 2018; MONTEIRO *et al.*, 2001).

Apesar dos diversos métodos para realização da coleta, é importante que o município tenha autonomia para determinar quais deles melhor atendem às suas necessidades. Além disso, é possível implantar um serviço que utilize mais de uma dessas modalidades. Assim, os gestores municipais devem avaliar as características de cada município e, posteriormente, definir qual a melhor estratégia a ser implantada (CEMPRE, 2018).

É necessário que haja um mercado de recicláveis estabelecido, já que o principal objetivo desse modelo de coleta é a separação dos resíduos visando à sua comercialização e geração de renda. Portanto, é imprescindível realizar uma análise de mercado, investigando as possibilidades de comércio e os potenciais compradores (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Após essas etapas, iniciam-se a operação e o monitoramento. Durante esse processo, o município se equipa com os recursos necessários e define os indicadores de sustentabilidade para o serviço. Dessa forma, Ferreira *et al.* (2017) e Silva *et al.* (2017), para avaliar a execução da coleta seletiva, utilizam indicadores que medem a efetividade do trabalho,

como distância total percorrida, número de casas atendidas, quantidade de material recolhido e consumo total de combustível.

Por fim, os resultados são analisados e os benefícios apurados são ponderados. É importante destacar que, além do lucro gerado pela coleta e venda de recicláveis, há outros fatores que também precisam ser considerados. Entre as consequências positivas, estão o aumento da vida útil dos aterros sanitários, diminuição da receita municipal com transporte e destinação dos RSU, desenvolvimento da educação ambiental e a geração de novos postos de trabalho (Almeida e Santos, 2016; Franco e Minéu, 2015; Monteiro *et al.*, 2001).

Porém, além das etapas descritas acima, há pormenores que precisam ser analisados com mais afinco, como a participação da população e a definição de processos de melhoria. É indiscutível o papel da população na eficiência da coleta seletiva, uma vez que a separação na fonte evita a contaminação dos resíduos e, conseqüentemente, diminui a geração de rejeitos destinados aos aterros sanitários (Galavote *et al.*, 2023; Mirandas e Mattos, 2018). Gutberlt (2015) ainda destaca que a coleta dos resíduos sem nenhuma segregação por caminhões compactadores, além de contaminar, pode danificar os materiais.

Monteiro *et al.* (2001) ressaltam, também, a individualidade de cada projeto de implantação da coleta seletiva e a necessidade da elaboração de uma estrutura que melhor se adeque às características locais. Além disso, apontam que a autossuficiência é um dos maiores desafios a serem superados durante o planejamento e execução dessa modalidade de coleta de resíduos.

### **3.2 Mobilização Social**

O sucesso da coleta seletiva está estreitamente relacionado aos recursos direcionados às ações de mobilização social e educação ambiental (CEMPRE, 2018). A implantação da coleta seletiva, independentemente da escala, enfrenta múltiplos desafios que precisam ser superados, sendo um dos principais assegurar a participação ativa de toda a comunidade ou do público-alvo.

Exemplo disso, conforme detalhado por Almeida e Santos (2016) e Anjos *et al.* (2019), apesar de uma estratégia de mobilização social bem estruturada e aplicada nas cidades de Presidente Castello Branco/SC e Guanhães/MG, respectivamente, algumas pessoas afirmaram não conhecer a iniciativa. Mesmo com a aplicação das ações de conscientização

pelas ruas da cidade, nas escolas e com a criação de feiras, concursos e eventos, alguns outros moradores não se interessaram, alegando até questões partidárias.

Percebe-se que, além da divulgação do projeto de coleta seletiva, é necessário que os responsáveis pelo serviço utilizem ações de mobilização social também para desenvolver consciência ambiental no público-alvo. Nesse sentido, Viana *et al.* (2022) detalham os efeitos dessa problemática, descrevendo a tentativa de implantação do serviço de coleta seletiva em um condomínio em São Luís/MA.

O objetivo era instalar um PEV no local, destinado à recuperação de plástico, papel/papelão, vidro e metal. Para o recolhimento do material, foi descrita a parceria com a cooperativa local. Após a instalação do equipamento e início das atividades, um dos moradores apresentou uma reclamação sobre o incômodo que sentia nos momentos em que os demais condôminos descartavam seus resíduos. Essa situação levou à paralisação das atividades, e o equipamento foi levado para uma instituição de ensino próxima. Além disso, os autores relatam que, no momento de divulgação e investigação sobre a aceitação dos moradores quanto ao projeto, esse mesmo morador havia se apresentado favorável e interessado em participar.

As ações de mobilização social devem ser aplicadas constantemente para que a população se mantenha engajada ao projeto, conforme apontam Marcon e Stefani (2023). Ao avaliarem a percepção dos moradores quanto à implantação do projeto de coleta seletiva por meio da instalação de conjunto de contêineres (PEVs) na cidade de Guarapuava/PR, os autores identificaram que grande parte dos transtornos se origina na ineficiência da mobilização social e educação ambiental realizadas. Eles notaram que as ações de mobilização efetuadas previamente à implantação dos PEVs no município em estudo foram conduzidas de maneira inadequada. Isto porque alguns entrevistados declararam que não estavam cientes do projeto, enquanto outros afirmaram que receberam apenas um panfleto contendo poucas informações sobre o novo serviço. Além disso, após o início do programa, parte dos entrevistados afirmou que realizava a separação dos resíduos em casa, enquanto outros não o faziam, impactando negativamente a eficiência da coleta.

Entretanto, para que a utilização dos PEVs seja bem-sucedida, é preciso que os habitantes levem voluntariamente seus resíduos já separados e os descartem nesses recipientes (CEMPRE, 2018; MONTEIRO *et al.*, 2001). Marcon e Stefani (2023) relataram, em seus estudos, os desafios encontrados nesse processo. Em meio às entrevistas realizadas, alguns moradores mencionaram que os PEVs estavam alocados a uma grande distância de suas casas, contribuindo com a rejeição ao projeto. Outros reclamaram da proximidade dos PEVs em

relação às suas residências e expressaram preocupação com a presença de desconhecidos e o odor desagradável. Nota-se que a localização de cada PEV é um ponto sensível e precisa ser cuidadosamente definida, a fim de evitar rejeição por parte da população.

Por outro lado, Zhang e Wang (2020) destacaram uma situação diferente. Os autores avaliaram o impacto no hábito dos moradores de algumas cidades da China depois que os contêineres que acondicionava resíduos sem qualquer separação foram substituídos por um módulo com quatro contêineres para resíduos recicláveis, perigosos, orgânicos e rejeitos. Apesar de a separação dos resíduos pelos moradores não ser obrigatória, grande parte da população aderiu ao projeto e modificou seus hábitos para contribuir com a coleta seletiva.

Turci *et al.* (2019) também obtiveram um resultado positivo com a implantação de PEVs em um bairro-piloto na cidade de Poços de Caldas/MG. Apesar da inicial rejeição e utilização errônea dos equipamentos pela população do bairro, a iniciativa foi bem-sucedida. Os autores avaliaram as quantidades de resíduos coletados antes e depois da instalação dos PEVs e observaram que a geração permaneceu estatisticamente igual, atestando a participação popular. Além disso, os autores identificaram a redução de 40% da distância total percorrida pelo caminhão coletor, diminuindo, por consequência, o tempo de coleta e consumo de combustível.

Ao analisarem por outra perspectiva, Ibáñez-Forés *et al.* (2018) associaram dados socioeconômicos da população inserida na área de cobertura da coleta seletiva praticada na cidade de João Pessoa/PB aos resultados obtidos pelo serviço. Os autores notaram que pessoas mais velhas tendem a aderir mais facilmente às atividades da coleta seletiva. Além disso, ao comparar os diferentes bairros atendidos, notaram que aqueles que apresentam maior renda média e níveis de escolaridade também evidenciam maior adaptabilidade ao programa. A utilização de estudos como esse auxilia as autoridades no direcionamento das estratégias de mobilização social, de modo a garantir a evolução da coleta seletiva.

### **3.3 Participação de Cooperativas de Reciclagem**

Algumas cidades desenvolvem programas de apoio a cooperativas, como citado previamente. As cooperativas de reciclagem podem oferecer uma saída para a informalidade do trabalho dos catadores de recicláveis e também garantir renda fixa aos cooperados. Além do cunho social, as cooperativas podem reduzir os custos relacionados à coleta seletiva e o armazenamento dos materiais em logradouros públicos. Entretanto, é importante que a

municipalidade interessada em constituir ou incentivar a criação de cooperativas preste apoio a essas entidades, seja por meio da cessão de espaço, auxílio jurídico e financeiro, ou fornecimento de equipamentos básicos, como prensas, mesas, carrinhos, EPIs, entre outros (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Nesse sentido, Franco e Minéu (2015) evidenciaram os desafios, o trabalho e contribuições de uma cooperativa da cidade de Ituiutaba/MG. No início de suas operações, a cooperativa enfrentava vários problemas, como falta de infraestrutura, equipamentos e recursos financeiros. A baixa eficiência refletia na arrecadação, o que resultava na evasão dos cooperados que optavam por trabalhar de forma autônoma.

Gutberlet (2015) e de Souza, Ramos e Bahia (2014) também destacaram situações semelhantes nas quais os cooperados decidiam deixar a cooperativa devido à vulnerabilidade econômica. Segundo os autores, esse é um dos principais fatores que devem ser adequadamente considerados para o sucesso de um programa de reciclagem.

Baixa escolaridade, trabalho informal, marginalização, insegurança econômica e desconhecimento das legislações são alguns dos obstáculos que os catadores enfrentam. A criação de cooperativas pode proporcionar um local de trabalho seguro e adequado, assim como capacitação e aumento da arrecadação dos trabalhadores da catação. Entretanto, a falta de infraestrutura, equipamentos e recursos financeiros e a flutuação dos preços de recicláveis praticados no mercado são problemas recorrentes para as cooperativas. Dessa forma, a administração pública precisa intervir e prestar auxílio, seja proporcionando recursos financeiros ou cedendo espaços para desenvolvimento das atividades (DE SOUZA; RAMOS; BAHIA, 2014; FRANCO; MINÉU, 2015; GUTBERLET, 2015).

Bernardo e Lima (2017a) ainda enfatizam a necessidade de capacitar e equipar adequadamente os profissionais da catação. Embora associada a outros fatores, tal preocupação com os profissionais da catação contribuiu para a melhoria na eficiência da coleta seletiva. Para os catadores que optam por realizar o trabalho de forma autônoma, é necessário que a administração pública dialogue com esses profissionais para evitar um ambiente de competição na coleta de recicláveis, o que pode impactar negativamente na eficiência da coleta (Marcon e Stefani, 2023; de Souza, Ramos e Bahia, 2014).

### 3.4 Custo

Os custos para a implantação da coleta seletiva ainda são um dos maiores obstáculos a serem superados. Embora estudos como o de Campos-Alba *et al.* (2021) demonstrem que a coleta seletiva é mais eficiente em termos de custos quando comparada à coleta convencional, diversos municípios encontram-se limitados por recursos financeiros e humanos insuficientes, tornando a sua implantação inviável (LEITE *et al.*, 2017b).

Essa situação também pode se repetir para um público-alvo de menores proporções. Santos e Pitanga (2018) descrevem a experiência ao tentarem implantar um PEV em um condomínio em Aracaju/SE. Apesar do interesse de todos os moradores do condomínio, a falta de financiamento por parte do condomínio impediu a construção do equipamento, resultando na inviabilização do projeto.

Galavote *et al.* (2023) avaliam os custos envolvidos na ampliação da coleta seletiva por meio da criação de cenários teóricos. Eles apontam que o aumento da cobertura da coleta seletiva, por si só, pode elevar demasiadamente os custos do serviço, podendo custar até 4,5 vezes mais caro que a coleta convencional. Dessa forma, é enfatizada pelo estudo a aplicação de estratégias de educação ambiental em paralelo com a implantação do serviço, visando, principalmente, à diminuição da taxa de geração de resíduos.

### 3.5 Otimização dos serviços da coleta seletiva

A otimização da coleta seletiva pode ser aplicada em serviços já em execução ou, ainda, no momento do dimensionamento do serviço, como no caso de Bernardo e Lima (2017a), que aplicaram uma metodologia multicritério para avaliação, comparação e determinação do modelo de coleta ideal para o local em estudo. Esse processo envolveu diversos levantamentos de dados, comparação de serviços já em atividade e ponderação entre as metodologias de coleta aplicáveis localmente. Durante a etapa de implantação, os autores ainda utilizaram ciclos de aprendizado visando à melhoria contínua dos serviços.

Os ciclos de aprendizado são uma metodologia que permite identificar os percalços de um processo, determinar a ação corretiva e avaliar os resultados. Para a implantação, a cidade foi dividida em 7 áreas e, para cada uma delas, foi aplicado um ciclo de aprendizado. Dessa forma, as modificações e soluções aplicadas na implantação do serviço em uma determinada área foram implementadas nas áreas subsequentes, diminuindo a possibilidade de intercorrências no processo (BERNARDO; LIMA, 2017b).

Para Galavote *et al.* (2023), uma das formas de reduzir os custos da coleta seletiva é por meio da otimização de rotas de coleta. Nesse sentido, Ferronato *et al.* (2021) utilizaram a criação de cenários a fim de aprimorar o serviço de coleta seletiva de Viacha, em La Paz, Bolívia. A pesquisa estabeleceu três cenários para análise, sendo o primeiro correspondente ao sistema atual de coleta, sem a separação dos resíduos; o segundo, com a otimização das rotas de coleta, mas ainda sem a separação dos resíduos; e o terceiro, com a otimização das rotas, juntamente com a instalação da coleta seletiva. A otimização foi realizada em *software* SIG (Sistema de Informação Geográfica). Ao final, foram avaliados os custos de implantação e o Ciclo de Vida - *Life Cycle Assessment (LCA)* - dos três cenários.

Os autores identificaram que os processos de otimização garantiram o aumento da cobertura da coleta, não aumentaram significativamente a distância percorrida e ainda criaram a possibilidade da recuperação de recicláveis. Com relação aos custos, apesar dos cenários que foram otimizados apresentarem um custo inicial superior, o custo por tonelada tratada foi inferior ao do cenário inicial, justamente pela coleta de mais resíduos. Além disso, estimaram a redução de, aproximadamente, 75% na emissão de CO<sub>2</sub> e de 55% no potencial de eutrofização. Dessa forma, os autores apresentaram dados de melhoria nos indicadores ambientais da coleta.

Em caso semelhante, Bernardo e Lima (2017b) avaliaram o serviço de coleta de recicláveis de uma cooperativa na cidade de São Lourenço/MG. Os autores notaram diversos problemas que impactavam negativamente nos custos do serviço, como o uso de rotas de coleta pouco eficientes e de um caminhão com capacidade superdimensionada. Como alternativa, após análises realizadas com um *software* de SIG, propuseram um plano de coleta que permitiu atender todos os bairros do município, aumentando o volume de material recolhido e, consequentemente, a eficiência da coleta.

Para isso, os autores definiram que, no bairro central do município, seriam utilizados apenas PEVs, enquanto, nos demais 27 bairros, a coleta continuaria sendo realizada porta a porta. No entanto, foram propostos pontos estratégicos onde o caminhão coletor estacionaria para que os cooperados percorressem as ruas e recolhessem os materiais, diminuindo, assim, a distância total percorrida pelo veículo. Com a adoção dessa técnica, associada a rotas otimizadas e a utilização de um caminhão adequado, a cooperativa atingiu grandes volumes de materiais recolhidos.

O planejamento adequado e a localização otimizada dos PEVs também podem ser realizados por meio do ambiente SIG. Gallardo *et al.* (2015) utilizam esse recurso para dimensionar o sistema de PEVs na cidade de Castellón, na Espanha. Por meio de análises

demográficas e da infraestrutura da região, os autores conseguiram estabelecer uma rede de contêineres distribuída espacialmente, equilibrada e capaz de acondicionar os resíduos de acordo com o cronograma de coleta e, ainda, atendendo à demanda da população.

Silva *et al.* (2017), por sua vez, também utilizaram um sistema SIG para otimizar as rotas de coleta na cidade de Sorocaba/SP. O estudo foi conduzido em apenas uma das seis rotas percorridas pela cooperativa local. Foram propostos indicadores para auxiliar nas análises, como média de material recolhido por quilômetro percorrido (kg/km), média de material por rua (kg/rua) e média de material recolhido por número de casas atendidas (kg/n<sup>o</sup> casas atendidas). Esses indicadores foram importantes para destacar locais que necessitavam de maiores intervenções. Apesar dos ajustes nas rotas e dos trabalhos de mobilização com novas residências, foi possível reduzir a distância percorrida nessa rota em apenas 1,34%. Segundo os autores, isso se deu porque a sede da cooperativa é demasiadamente distante do bairro onde a rota é realizada, resultando em grande percurso improdutivo. Outro fator complicador foi a restrição ao trânsito de caminhões em determinadas ruas e avenidas do bairro.

Apesar disso, Ferreira *et al.* (2017) consideram a utilização de indicadores uma importante ferramenta para avaliação da eficiência da coleta. Por isso, empregaram esse recurso para avaliar a coleta de recicláveis na cidade de Porto, em Portugal. Buscando testar uma série de indicadores para melhor auxiliar na escolha de estratégias de coleta, os autores analisaram, estatisticamente, dados como distância efetiva de coleta (distância percorrida pela quantidade de material recolhido), tempo efetivo de coleta (tempo total gasto por quantidade de material recolhido) e quantidade efetiva de combustível (quantidade total de combustível consumido pela quantidade de material recolhido).

No estudo em questão, os autores analisaram, por meio desses indicadores, qual modelo de caminhão coletor oferece maior eficiência na coleta dos materiais. A intenção dos pesquisadores foi iniciar um monitoramento constante, visando fornecer informações para futuras adaptações e melhorias na coleta. Apesar de utilizarem as análises para avaliar a eficiência entre dois modelos de caminhões, os autores relatam que há a possibilidade de essa metodologia ser aplicada para avaliar outros equipamentos empregados na coleta, até mesmo para incentivar os fabricantes a promoverem melhorias no *design* de novos produtos.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A coleta seletiva é uma importante ferramenta no gerenciamento e reaproveitamento dos RSU. Ela possibilita a recuperação de materiais, prolonga a vida útil de aterros sanitários, fomenta o mercado local e cria postos de trabalho. Desse modo, o objetivo deste estudo foi analisar as metodologias e procedimentos para implantação e melhoria do serviço de coleta seletiva.

Percebe-se que os pontos que mais impactam os serviços da coleta seletiva são a aceitação e participação popular e os custos de implantação e operação. Foi observado o quanto as ações de mobilização social e educação ambiental podem impactar a viabilidade da implantação e também a eficiência da coleta seletiva. Os custos de implantação e operação da coleta podem resultar na inviabilidade do serviço, justamente pela falta de recursos que muitas localidades enfrentam. Porém, foi demonstrado que, apesar de custar mais caro, a coleta seletiva apresenta maior eficiência de custo. São reportados, ainda, vários meios de otimização da coleta, visando à redução de custos, como a utilização de *softwares* de SIG, para otimização das rotas, e a utilização de PEVs, que apresentam potencial para reduzir as rotas, economizando combustível e tempo de trabalho.

A criação de associações de catadores de recicláveis é de extrema importância para ampliação do serviço em uma localidade, além de gerar resultados sociais necessários. No entanto, é crucial que essas associações apresentem condições mínimas para garantir a remuneração adequada, evitando a evasão, concorrência e desmantelamento do grupo.

As dificuldades sempre estarão presentes numa atividade tão complexa e rica em fatores que dependem de muitas variáveis. No entanto, como foi apontado nas discussões, com planejamento adequado, implantação consciente, monitoramento persistente e avaliação crítica, é possível desenvolver um serviço de qualidade e adaptado às necessidades do município.

## 5 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE - ABREMA. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024**. São Paulo: 2024. Disponível em: <<https://www.abrema.org.br/>>. Acesso em: 29 dez. 2024.
- ALMEIDA, P. C. DE; SANTOS, C. O. DOS. Programa castellense de coleta seletiva de lixo: um estudo de caso do município de Presidente Castello Branco (SC). **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 11, n. 2, p. 324–341, 30 jun. 2016. DOI: 10.34024/revbea.2016.v11.2266
- ANJOS, J. S.; WOLFF, G.; FERRARO, A. C.; SANTOS, C. F. Mobilização e implantação da coleta seletiva no município de Guanhães. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 600, 4 abr. 2019. DOI: 10.19177/rgsa.v8e12019600-628
- BERNARDO, M.; LIMA, R. da SILVA. Planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva: utilização de um sistema de informação geográfica na elaboração das rotas. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. suppl 1, p. 385–395, 2017a. DOI: 10.1590/2175-3369.009.SUPL1.AO10 ISSN 2175-3369
- BERNARDO, M.; LIMA, R. da SILVA. Using Action Research to Implement Selective Waste Collection Program in a Brazilian City. **Systemic Practice and Action Research**, v. 30, n. 6, p. 593–608, 2017b. DOI: 10.1007/s11213-017-9416-9
- BIOLCHINI, J. C. DE A.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; CONTE, T. U.; TRAVASSOS, G. H. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. **Advanced Engineering Informatics**, v. 21, n. 2, p. 133–151, 2007. DOI: 10.1016/j.aei.2006.11.006
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União. Brasília, 2010. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 30 dez. 2024.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 14 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico**. 2020. Diário Oficial da União. Brasília, 2020. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm)> Acesso em: 29 dez. 2024.
- BRINGHENTI, J.R.; ZANDONADE, E.; GÜNTHER, W.M.R. Selection and validation of indicators for programs selective collection evaluation with social inclusion. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 11, p. 876–884, 2011. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.04.010
- CAMPOS-ALBA, C. M.; GARRIDO-RODRÍGUEZ, J. C.; PLATA-DÍAZ, A. M.; PÉREZ-LÓPEZ, G. The selective collection of municipal solid waste and other factors determining cost efficiency. An analysis of service provision by spanish municipalities. **Waste Management**, v. 134, p. 11–20, 2021. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.07.039
- CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 4.ed. São Paulo: 2018. Disponível em: <<https://cempre.org.br/manuais/>>. Acesso em: 04 jul. 2024.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n.º 275, de 25 de abril de 2001. **Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser**

adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Brasília, 2001. Disponível em: <<https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=291#:~:text=Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CONAMA%20n%C2%BA%20275%20de,informativas%20para%20a%20coleta%20seletiva>>. Acesso em: 29 dez. 2024.

FERREIRA, F.; AVELINO, C.; BENTES, I.; MATOS, C.; TEIXEIRA, C. A. Assessment strategies for municipal selective waste collection schemes. **Waste Management**, v. 59, p. 3–13, 2017. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.10.044

FERRONATO, N.; PORTUGAL ALARCÓN, G. P.; GUISBERT LIZARAZU, E. G.; TORRETTA, V. Assessment of municipal solid waste collection in Bolivia: Perspectives for avoiding uncontrolled disposal and boosting waste recycling options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 167, p. 105234, abr. 2021. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105234

FRANCO, C. C.; MINÉU, H. F. S. O programa de coleta seletiva em ituiutaba: análise de sua implantação e resultados. **Boletim de Geografia**, v. 33, n. 1, p. 81, 2015. DOI: 10.4025/bolgeogr.v33i1.21184

GALAVOTE, T.; SENA, L. G.; CALIXTO, L. M.; DUTRA, R. M. DE S.; COIMBRA, T. C.; CHAVES, G. DE L. D.; SIMAN, R. R. Avaliação do efeito do fortalecimento da coleta seletiva nos custos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 15, 2023. DOI: 10.1590/2175-3369.015.e20220108

GALLARDO, A.; CARLOS, M.; PERIS, M.; COLOMER, F. J. Methodology to design a municipal solid waste pre-collection system. A case study. **Waste Management**, v. 36, p. 1–11, fev. 2015. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.11.008

GONÇALVES, A. T. T.; MORAES, F. T. F.; MARQUES, G. L.; LIMA, J. P.; LIMA, R. D. S. Urban solid waste challenges in the BRICS countries: a systematic literature review. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 13, n. 2, p. 1, 2018. DOI: 10.4136/ambi-agua.2157.

GUERRINI, A.; CARVALHO, P.; ROMANO, G.; CUNHA MARQUES, R.; LEARDINI, C. Assessing efficiency drivers in municipal solid waste collection services through a non-parametric method. **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 431–441, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.079

GUTBERLET, J. Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. **Waste Management**, v. 45, p. 22–31, 2015. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.06.023

IBÁÑEZ-FORÉS, V.; COUTINHO-NÓBREGA, C.; BOVEA, M. D.; MELLO-SILVA, C. DE; LESSA-FEITOSA-VIRGOLINO, J. Influence of implementing selective collection on municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 134, p. 100–111, jul. 2018. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.12.027

KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; WOERDEN, F. VAN. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Washington, DC: World Bank, 2018. DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0

LEITE, A. P.; NOGUEIRA, T. H. L.; EDWIGES, T.; RECH, A. L. Limitações do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos em município de pequeno porte. **Revista Ibero-**

**Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 2, p. 382–396, 2017. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0030

MARCON, K. C. A.; STEFANI, S. R. Coleta containerizada de resíduos sólidos em uma cidade do interior do paraná e suas implicações para o cumprimento da ODS 11. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 17–30, 2023. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n2.17-30

MIRANDAS, N. M.; MATTOS, U. A. D. O. Revisão dos Modelos e Metodologias de Coleta Seletiva no Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 2, p. 1–22, 2018. DOI: 10.14393/SN-v30n2-2018-1

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **International Journal of Surgery**, v. 8, n. 5, p. 336–341, 2010. DOI: 10.1016/j.ijssu.2010.02.007

MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO, M. A. F. DE; BRITO, J. C. X. DE; ALMEIDA, T. P. F. DE; MANSUL, G. L. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM. 2001 Disponível em: <<https://www.ibam.org.br/>>. Acesso em: 30 dez. 2024.

NETO, A. B. P. S.; SIMÕES, C. L.; SIMOES, R. Optimization of municipal solid waste collection system: systematic review with bibliometric literature analysis. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 26, n. 4, p. 1906–1917, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10163-024-01966-y>

RIBEIRO, H.; BESEN, G. R. Panorama da coleta seletiva no brasil: desafios e perspectivas a partir de três estudos de caso. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 2, n. 4, p. 1–18, 2007. Disponível em: <<https://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/2007-art-7.pdf>>. Acesso em: 30 dez. 2024.

SANTOS, M. M.; PITANGA, Â. F. Uma proposta de implantação de coleta seletiva no condomínio Recanto Verde, Aracaju/SE. **Revista Sergipana de Educação Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 64–72, 10 set. 2018. DOI: 10.47401/revisea.v5i1.9801

SILVA, C. L. DA; FUGII, G. M.; SANTOYO, A. H. Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal perante as políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao município de Curitiba. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 2, p. 276–292, 2017. DOI: 10.1590/2175-3369.009.002.AO09

SILVA, D. C. DA C. E.; OLIVEIRA, V. N.; DOMINATO, V. D.; VENANZI, D. Aplicação de técnicas de análise espacial para otimização das rotas de coleta de material reciclável no município de Sorocaba - SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1812, 2017. DOI: 10.26848/rbgf.v10.6.p1812-1828

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. **Diagnóstico Temático: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília, 2023. Disponível em: <[https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-dosnis/diagnosticos/diagnosticos\\_snis](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-dosnis/diagnosticos/diagnosticos_snis)>. Acesso em: 29 dez. 2024.

SOUZA, A. S. O. DE; RAMOS, M. A.; BAHIA, P. Q. Estudo de caso da coleta seletiva de resíduos sólidos recicláveis no bairro da Pedreira-Belém/PA. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, n. 2014\_11, 2014. Disponível em: <[https://ojs.southfloridapublishing.com/caribenha\\_old/2014/11/](https://ojs.southfloridapublishing.com/caribenha_old/2014/11/)> Acesso em: 20 dez. 2024.

TURCI, L. F. R.; SANCINETTL, G. P.; BRAGA, D. S.; CARNIETTO, F.; JUAZEIRO, L. H. S.; REIS, C. G. DOS. Projeto piloto de ponto de entrega voluntária de material reciclável em bairro do município de Poços de Caldas-MG. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 22, n. 1, p. 193, 2019. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2019.v22i1.587

VIANA, I. C.; PEREIRA, D. R.; BÔAS, I. DO C. C. V.; GERUDE NETO, O. J. DE A.; RAMOS, M. G.; SILVA, T. A. G. C. Implantação de sistema de coleta seletiva como instrumento de transformação socioambiental. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, v. 17, n. 1, p. 418–432, 1 fev. 2022. DOI: 10.34024/revbea.2022.v17.12036

ZHANG, Z.; WANG, X. Nudging to promote household waste source separation: Mechanisms and spillover effects. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 162, p. 105054, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105054

**CAPÍTULO II: COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DE RSU E O POTENCIAL  
TEÓRICO DE GERAÇÃO DE REICLÁVEIS DE UM MUNICÍPIO DE PEQUENO  
PORTE: ESTUDO DE CASO EM PERDIGÃO/MG**

Antônio Eduardo dos Santos<sup>1</sup>, Carlos Fernando Lemos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) – Campus Divinópolis/MG. Mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - *Campus Bambuí* MG. E-mail: antonioedu1@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Geoquímica Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF)/INM Espanha. Professor Associado IV da Universidade Federal de Viçosa.

## RESUMO

O crescimento populacional, a urbanização e o desenvolvimento econômico impulsionam a produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), especialmente em países em desenvolvimento, demandando estratégias eficazes de gerenciamento. Investigar periodicamente a composição dos RSU é essencial para subsidiar um plano eficaz de gerenciamento. Dessa forma, esta pesquisa analisou a composição gravimétrica dos RSU e o Potencial Teórico de Geração de Recicláveis (PTGR) no município de Perdigoão/MG. Foi utilizada a técnica do quarteamento para amostragem dos resíduos coletados pelos caminhões compactadores e depositados na Área de Transbordo, seguida da separação e pesagem das diferentes tipologias. Informações fornecidas pela Prefeitura permitiram calcular a geração média mensal de resíduos (230,95 ton./mês) e a geração *per capita* (0,619 kg/hab.dia). A progressão populacional foi projetada pelo método aritmético para um horizonte de 10 anos, integrando esses dados à análise do PTGR. A composição gravimétrica revelou predominância de matéria orgânica (37,89%), plásticos (27,13%), rejeitos (11,0%) e papel/papelão (11,05%), além de menores proporções de vidro (2,24%), metais não ferrosos (0,85%) e eletrônicos (0,09%). Estima-se que cada habitante gere 0,256 kg/dia de recicláveis. Para 2035, com uma população projetada de 19.823 habitantes, a geração anual de resíduos recicláveis deverá atingir 3.451,39 toneladas, sendo 1,650,38 toneladas de matéria orgânica, 1.181,10 toneladas de plástico, 481,32 toneladas de papel/papelão, 97,63 ton. de vidro, 37,19 ton. de metal não ferroso e 3,76 ton. de eletrônicos. Os dados evidenciam que, apesar das limitações, o município possui potencial para implantação de projetos de recuperação e comercialização de recicláveis. Um plano de gerenciamento de resíduos bem estruturado pode viabilizar a redução de custos no manejo e aumentar a arrecadação, promovendo a sustentabilidade e otimizando os recursos disponíveis.

**Palavras-chave:** Composição gravimétrica. Reciclagem. Pequenas cidades. Características físicas.

## ABSTRACT

Population growth, urbanization, and economic development are driving the production of Municipal Solid Waste (MSW), particularly in developing countries, necessitating effective management strategies. Periodic investigation of MSW composition is essential to support an efficient management plan. This study analyzed the gravimetric composition of MSW and the Theoretical Potential for Recyclables Generation (TPRG) in the municipality of Perdigoão/MG. The quartering technique was applied to sample waste collected by compacting trucks and deposited at the Transfer Station, followed by the separation and weighing of different waste categories. Data provided by the Municipal Government enabled the calculation of the average monthly waste generation (230.95 tons/month) and per capita generation (0.619 kg/inhabitant\*day). Population growth was projected using the arithmetic method over a 10-year horizon, incorporating these data into the TPRG analysis. The gravimetric composition revealed a predominance of organic matter (37.89%), plastics (27.13%), rejects (11.0%), and paper/cardboard (11.05%), with smaller proportions of glass (2.24%), non-ferrous metals (0.85%), and electronics (0.09%). It is estimated that each inhabitant generates 0.256 kg/day of recyclables. By 2035, with a projected population of 19,823 inhabitants, the annual generation of recyclable waste is expected to reach 3,451.39 tons, comprising 1,650.38 tons of organic matter, 1,181.10 tons of plastics, 481.32 tons of paper/cardboard, 97.63 tons of glass, 37.19 tons of non-ferrous metals, and 3.76 tons of electronics. The findings highlight that, despite certain limitations, the municipality has significant potential for implementing projects aimed at the recovery and commercialization of recyclables. A well-structured waste management plan could facilitate cost reductions in waste handling, increase revenue, promote sustainability, and optimize available resources.

**Keywords:** Gravimetric composition. Recycling. Small cities. Physical characteristics.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento na produção dos resíduos sólidos urbanos (RSU) está intrinsecamente ligado a fatores como crescimento populacional, processo de urbanização e desenvolvimento econômico. Estima-se, até 2030, globalmente, a geração de 2,59 bilhões de toneladas de RSU e, até 2050, 3,40 bilhões de toneladas (Kaza *et al.*, 2018). Este cenário coloca em evidência a urgência do correto gerenciamento dos RSU, especialmente em países em desenvolvimento, onde a falta de dados precisos sobre a geração e o descarte despreocupado com as consequências ambientais exacerbam os desafios enfrentados (Khan, Kumar e Samadder, 2016; Maalouf e Mavropoulos, 2023).

De acordo com a Lei 12.305 (Brasil, 2010), os RSU são constituídos pelos resíduos provenientes de domicílios e dos serviços de limpeza urbana, como varrição, poda, limpeza de logradouros e de vias urbanas. Essa diversidade na composição dos RSU resulta em um montante heterogêneo composto por diversos materiais, como matéria orgânica, recicláveis secos, como papel e papelão, vidro, metais ferrosos e não ferrosos, além de rejeitos, têxteis e materiais de couro e borracha (Miezah *et al.*, 2015).

Além disso, Khan, Kumar e Samadder (2016); Monavari *et al.* (2012) estabelecem que fatores socioeconômicos como escolaridade, desenvolvimento econômico, renda familiar e urbanização podem interferir tanto na composição dos resíduos quanto na geração *per capita*. Dessa forma, a realização periódica de ensaios de gravimetria e demais investigações sobre a geração de resíduos se fazem necessárias para acompanhar as mudanças na geração local de resíduos (Lozano Lazo, Bojanic Helbingen e Gasparatos, 2023). Ainda, de acordo com Abbasi e Hanandeh, (2016); Miezah *et al.* (2015), tais investigações geram dados e informações cruciais para embasar um plano de gerenciamento eficiente, sendo este uma das exigências da Lei 12.305 (Brasil, 2010).

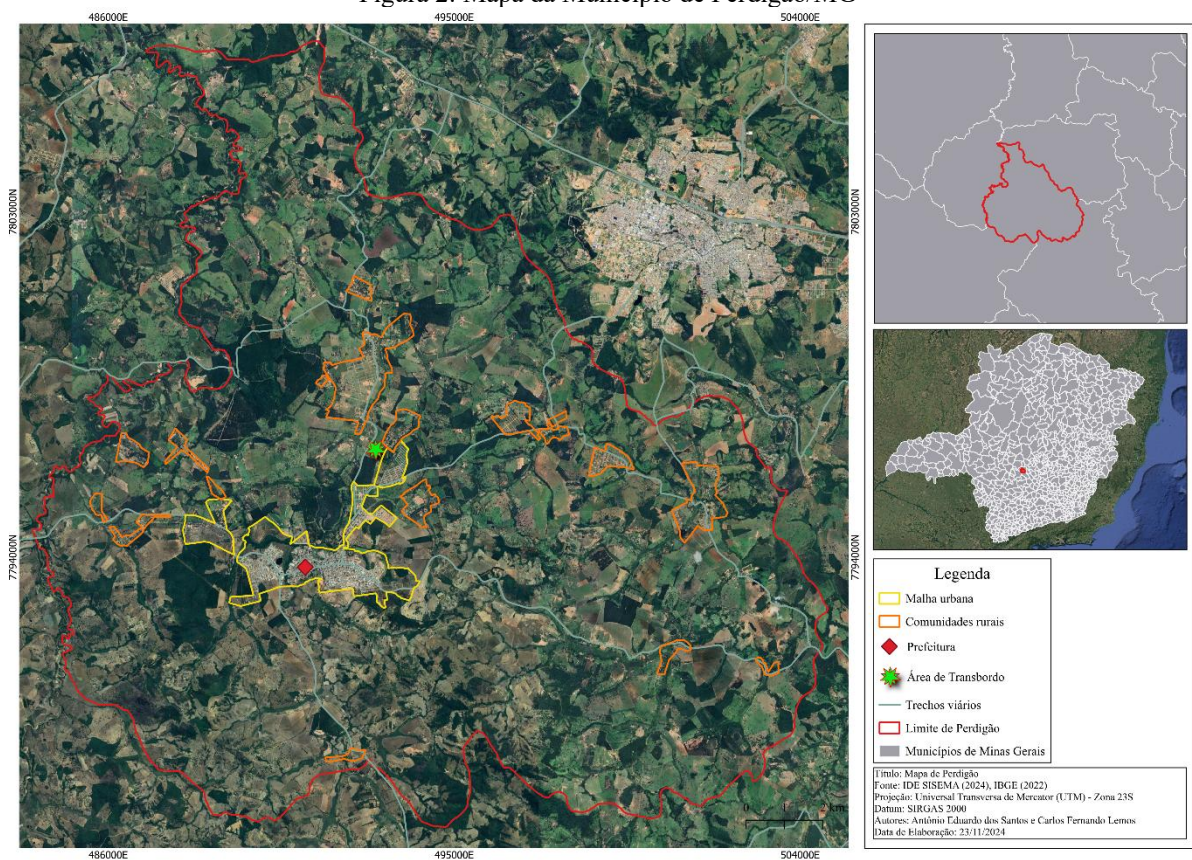
Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar as características físicas dos RSU gerados no município de Perdigoão/MG, por meio da determinação da taxa de geração *per capita* e da composição gravimétrica. Além disso, buscou-se prever a geração futura de resíduos recicláveis, visando compreender o cenário futuro e subsidiar estratégias de gestão mais eficazes.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudos

Localizada no centro-oeste mineiro, Perdígão abriga uma população de 12.268 habitantes e cobre uma área de 249,32 km<sup>2</sup> (IBGE, 2024b). O município compreende malha urbana composta por 45 bairros e a zona rural que, além das propriedades distribuídas por toda a extensão territorial, ainda conta com algumas comunidades rurais, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Mapa da Município de Perdígão/MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

No que tange ao serviço de coleta de resíduos no município, segundo o Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA (2022), dos 4467 imóveis incluídos no CENSO/IBGE em 2021, 4249 têm seus resíduos coletados pelo serviço de limpeza urbana (3956 atendidos com coleta domiciliar e 293 atendidos por caçamba), 170 imóveis queimam seus resíduos, 36 descartam em terrenos baldios ou área pública, 4 enterram e 8 utilizam outra destinação. Além disso, de acordo com os dados da Série Histórica, disponibilizados pelo Sistema de Informações sobre Saneamento Básico - SNIS (2022), a gestão dos resíduos sólidos é de responsabilidade da Administração Municipal. Os resíduos coletados são encaminhados

para um aterro sanitário privado localizado em Bambuí/MG, a aproximadamente 154 km de distância de Perdigoão/MG. Entretanto, não há cobrança pelos serviços de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos.

Além disso, de acordo com informações disponibilizadas pela Secretaria de Agricultura, Pecuária e Meio Ambiente de Perdigoão/MG, a coleta dos resíduos é realizada porta a porta, atendendo a população urbana e de algumas comunidades rurais. Todo o resíduo recolhido é destinado para a Área de Transbordo, localizada a 3,7 km do centro da cidade. Neste local, os materiais são depositados em grandes contêineres, para posterior transporte até o aterro.

Apesar da ausência de um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, como exigido pela Lei 12.305 (BRASIL, 2010), o município possui o Plano Municipal de Saneamento Básico, aprovado pela Lei 1.696 (PERDIGÃO, 2018). Esse plano estabelece metas e diretrizes para os serviços de saneamento na cidade, embora algumas metas estejam em atraso, como a implantação da coleta seletiva, prevista para 2019, mas ainda não implementada até o momento (SNIS, 2022).

## 2.2 Planejamento do ensaio

Considerando a pequena extensão urbana do município, as rotas utilizadas para coleta de resíduos percorrem diversos bairros antes de retornarem à Área de Transbordo para descarregar o material coletado. Por essa razão, a caracterização gravimétrica foi realizada utilizando-se os resíduos já depositados nessa área específica, de modo a não interferir nos hábitos da população local.

Além disso, para determinação do cronograma para execução dos ensaios, optou-se por evitar períodos próximos à realização de festas, comemorações ou qualquer outro evento local que pudesse alterar a geração de resíduos. Destaca-se ainda que, visando identificar nuances na geração dos resíduos, no que se refere aos dias analisados, definiu-se a realização do ensaio em feriado, dia útil e em final de semana. Assim, o cronograma para execução da investigação foi definido para quatro dias distintos, conforme detalhado no Quadro 2.

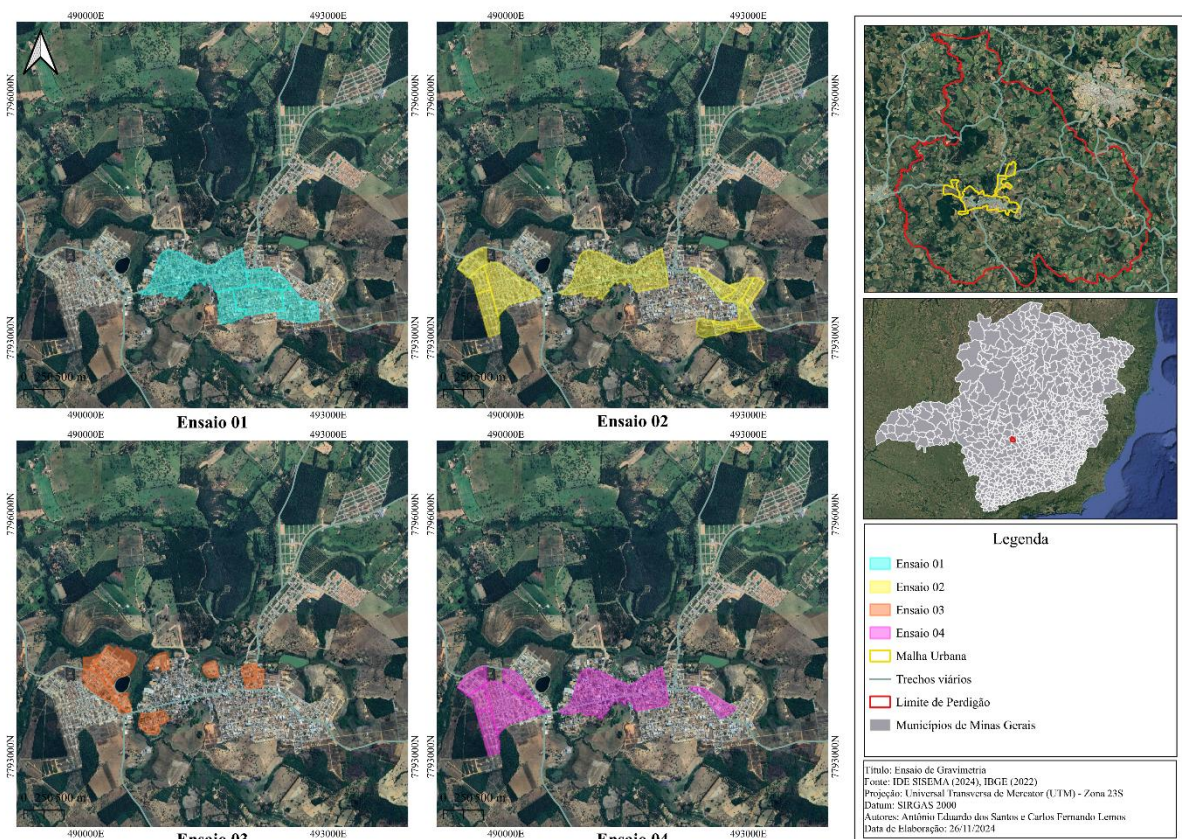
Quadro 2: Cronograma de realização dos ensaios gravimétricos

Cronograma de realização dos ensaios gravimétricos			
Data	Ensaio	Dia	Característica
15/11/2023	Ensaio 01	Quarta-feira	Feriado
16/11/2023	Ensaio 02	Quinta-feira	Dia útil
17/11/2023	Ensaio 03	Sexta-feira	Dia útil
18/11/2023	Ensaio 04	Sábado	Final de semana

Fonte: Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

O serviço de coleta de resíduos na cidade utiliza dois caminhões compactadores e um caminhão-caçamba (SNIS, 2022), e, segundo informado pela Secretaria Municipal de Obras, Transportes e Serviços Urbanos, cada caminhão percorre uma rota preestabelecida para cada dia da semana. Dessa forma, a regionalização dos bairros cujos resíduos foram analisados é apresentada na Figura 3.

Figura 3: Ensaio de gravimetria em Perdigoão/MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

O Quadro 3 apresenta as características de cada uma das áreas de análise.

Quadro 3: Informações sobre as áreas de análise

Áreas de análise					
Áreas de Análise	Área (ha)	Nº de bairros	Nº de domicílios	Nº de inst. ensino	Nº de est. comerciais
Ensaio 01	99,3	5	2059	8	457
Ensaio 02	125	10	2185	9	394
Ensaio 03	52	8	530	-	72
Ensaio 04	109	7	2113	9	404

Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

É importante destacar que a Secretaria Municipal de Obras, Transportes e Serviços Urbanos prestou todo o suporte necessário para a realização dos ensaios, disponibilizando colaboradores e suporte essenciais.

### 2.3 Determinação da taxa de geração *per capita*

A taxa de geração *per capita* (GPC) corresponde à quantidade de resíduos que cada habitante gera em um período (FEAM, 2019). De maneira análoga ao realizado por Santos *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2021), para a determinação de tal índice, foram utilizados dados de pesagens dos resíduos enviados para o aterro sanitário entre o período de junho de 2022 a abril de 2024, disponibilizados pela Prefeitura Municipal. A massa total destinada em cada mês foi dividida pelo produto entre o número de total de dias do respectivo mês e o número total de habitantes, como apresentado na Equação 1.

$$GPC \text{ (kg/hab * dia)} = \frac{\text{Peso total de resíduos gerados no mês (kg)}}{N^{\circ} \text{ dias} \times N^{\circ} \text{ de habitantes (hab)}} \quad Eq.(1)$$

### 2.4 Ensaio de determinação da composição gravimétrica

Para a realização do ensaio de determinação da composição gravimétrica, foram adotadas adaptações das especificações técnicas estabelecidas pelo Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos produzido pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM (Monteiro *et al.*, 2001) e pela Cartilha de Orientações: Estudo Gravimétrico de Resíduos Sólidos Urbanos, elaborada pela Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM, 2019). Além desses manuais, foram considerados estudos similares conduzidos em outras localidades (Costa *et al.*, 2013; Couto *et al.*, 2020; Menezes *et al.*, 2019).

Para o início do ensaio, o montante de resíduos foi disposto sobre uma lona em local plano, seco e protegido de intempéries. O primeiro passo foi retirar todo o material do interior de embalagens, como sacos, sacolas, caixas e quaisquer outros que houvesse no montante. Logo após, todo o material foi revirado, visando à sua homogeneização. Durante todas as etapas do ensaio, é importante que os profissionais envolvidos utilizem os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) apropriados, para garantir a segurança.

Uma vez atingida a homogeneização do material, deu-se início ao processo de quarteamento, segundo as orientações da NBR 10.007 (ABNT, 2004). Neste processo, o material foi dividido em quatro partes iguais, das quais selecionaram-se duas partes diagonais, descartando o restante. As duas partes selecionadas foram reviradas novamente, homogeneizadas e divididas em quatro partes iguais, separando duas delas novamente. Todo o processo foi repetido até se obter um montante com volume de 1 m<sup>3</sup>, o qual foi acondicionado em quatro tambores metálicos de 0,25 m<sup>3</sup> cada, para garantir o volume necessário para o ensaio.

Posteriormente, o material foi separado em 15 categorias<sup>4</sup> diferentes, seguindo as orientações fornecidas pela FEAM (2015). Após a segregação, os materiais foram armazenados em recipientes identificados para cada tipologia de resíduo e, subsequentemente, pesados. Para determinação da representatividade de cada fração em relação ao total, calculou-se a razão entre a massa de cada fração e a massa total da amostra, conforme Equação 2.

$$\text{Fração (\%)} = \frac{\text{Peso de cada fração (kg)}}{\text{Peso total da amostra (kg)}} \times 100 \quad \text{Eq.(2)}$$

Adicionalmente, para determinar o peso específico aparente dos resíduos, somou-se a massa de todas as frações de resíduos e dividiu-se pelo volume total analisado, conforme a Equação 3.

$$\text{Peso específico aparente (kg/m)} = \frac{(\text{Peso total dos resíduos} - \text{peso dos tambores}) \text{ (kg)}}{\text{Volume total (m}^3\text{)}} \quad \text{Eq.(3)}$$

## 2.5 Progressão Populacional

Para determinação da progressão populacional do município até o ano de 2035, foram coletados dados dos últimos Censos disponibilizados pela SIDRA (2024) e aplicado o método de projeção geométrica. Conforme estabelecido por Von Sperling, (1996), tal método consiste na observação do crescimento populacional obedecendo a uma taxa constante. O método geométrico é comumente empregado em estimativas de crescimento populacional em menores horizontes de projeto, como é o caso desta análise. Para a sua utilização, as Equações 4 e 5 são aplicadas.

$$kg = \frac{\ln(P1) - \ln(P2)}{t1 - t0} \quad \text{Eq.(4)}$$

$$Pt = P0 * e^{Kgx(t-t0)} \quad \text{Eq.(5)}$$

Onde:

- Kg é a taxa de crescimento;
- P0 é a população inicial da série de dados;
- P1 é a população no ano final da série de dados;
- Pt é a população para o ano estimado;
- T0 é o ano inicial da série de dados;
- T1 é o ano final da série de dados;

---

4. Categorias de resíduos: restos de comida; poda; plástico; papel e papelão; vidro; metal ferroso; metal não ferroso; pedra, terra, louça e cerâmica; madeira; couro e borracha; têxtil; contaminante biológico; contaminante químico; eletrônicos e rejeitos.

- T é o ano estimado.

## 2.6 Potencial Teórico de Geração de Recicláveis

A determinação do Potencial Teórico de Geração de Recicláveis (PTGR), segundo Correia *et al.* (2023), é obtida pelo produto entre o número de habitantes da cidade, a taxa de geração *per capita* de resíduos e a porcentagem que os resíduos recicláveis representam no total de material gerado pela população, conforme Equação 6.

$$PTGR (kg) = Habitantes (hab) \times GPC (kg/hab \times dia) \times Recicláveis (\%) \quad Eq.(6)$$

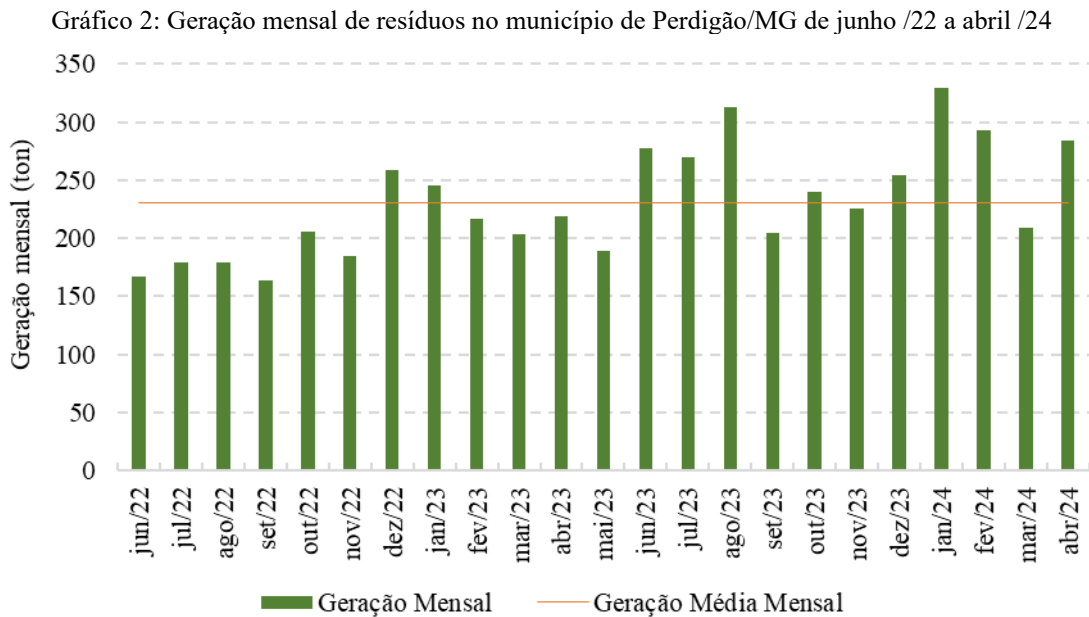
A projeção do PTGR pode ser realizada para um determinado horizonte de projetos alinhados com a gradual implementação da coleta seletiva. Para isso, associou-se a progressão populacional ao cálculo do PTGR, juntamente com o avanço teórico da implantação da coleta seletiva de 10% ao ano, como representado na Equação 7, abaixo.

$$PTGR (kg) = Hab \times GPC \times Recicláveis (\%) \times Coleta Seletiva (\%) \quad Eq.(7)$$

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Taxa de geração *per capita*

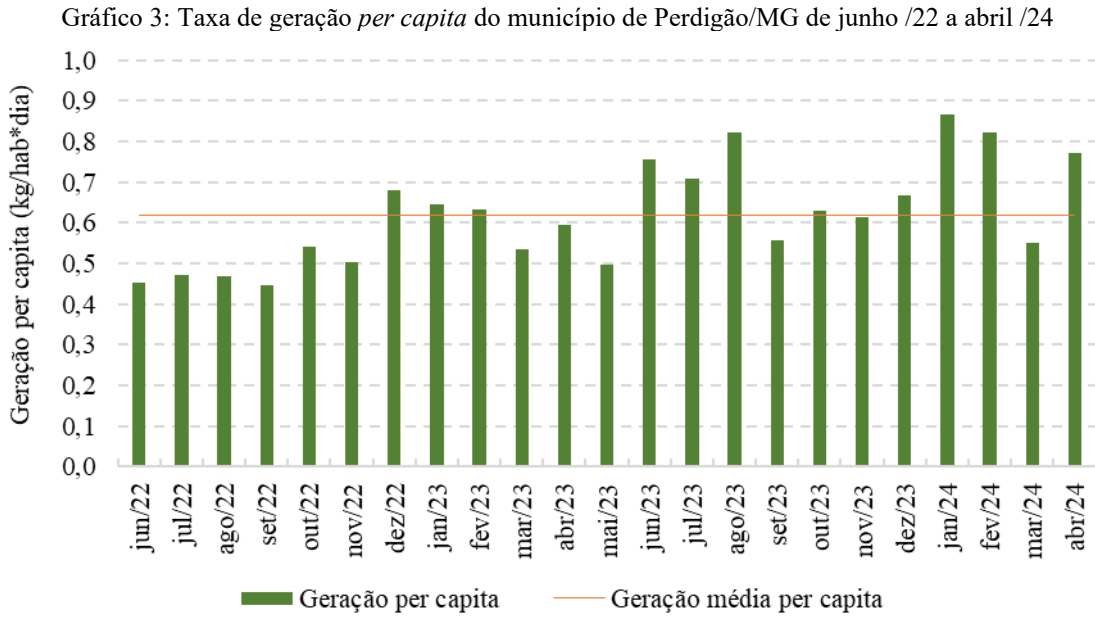
O Gráfico 2 ilustra a evolução mensal da geração de RSU no município de Perdigoão/MG entre os meses de junho de 2022 e abril de 2024.



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Uma análise do gráfico revela um padrão de aumento gradual na geração de RSU, embora alguns meses apresentem picos de produção. Durante o período avaliado, a média mensal de geração de resíduos sólidos foi de, aproximadamente, 230,95 ton./mês no município.

Além disso, o Gráfico 3 complementa essa análise ao apresentar a taxa de geração *per capita* durante o mesmo intervalo de tempo.



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Ao analisar os dados apresentados, estima-se que a geração *per capita* no município seja de, aproximadamente, 0,619 kg/hab.dia. Para fins de comparação, em 2023, segundo a (ABREMA, 2024), a média nacional de geração *per capita* foi de 1,047 kg/hab.dia, enquanto, na Região Sudeste do país foi de 1,230 kg/hab.\*dia. No entanto, para cidades com até 30 mil habitantes, de acordo com o SNIS (2023), durante o ano de 2022, a geração foi de 0,98 kg/hab.\*dia. Monteiro *et al.* (2001), para cidades do mesmo porte, estabelecem o valor de 0,50 kg/hab.\*dia. De forma geral, observa-se que as informações obtidas para Perdigoão/MG indicam uma geração abaixo das médias nacionais e regionais e próxima a valores estabelecidos na literatura.

### 3.2 Composição Gravimétrica

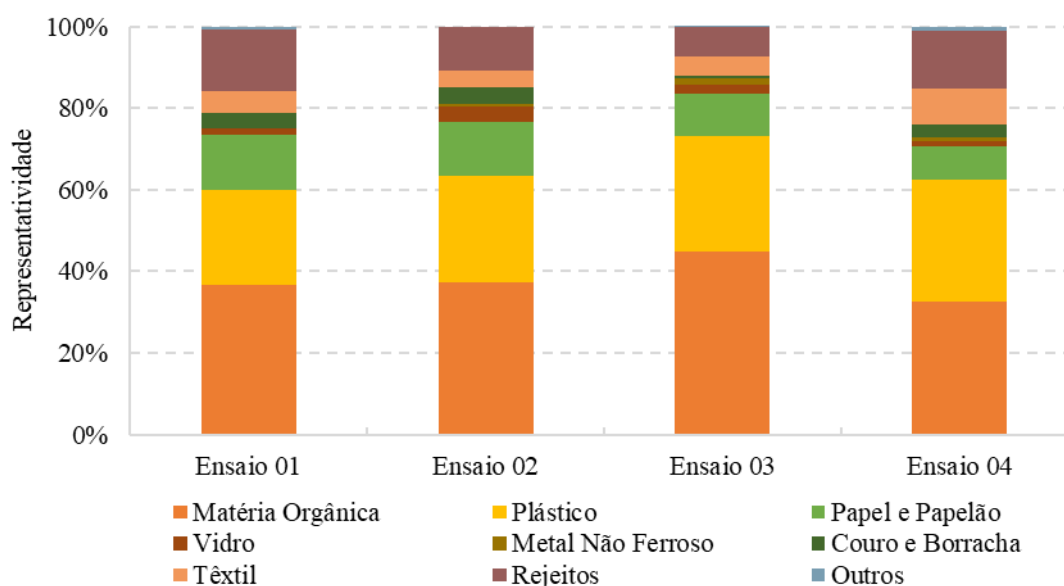
O Quadro 4, abaixo, apresenta os valores correspondentes às pesagens de cada categoria de resíduo, bem como o volume e o peso específico do montante analisado. Em complemento, o Gráfico 4 ilustra a representatividade em relação à massa de cada categoria para cada um dos dias de realização do ensaio.

Quadro 4: Valores de pesagens e características dos resíduos gerados no município de Perdigoão/MG

Massa e Características Físicas dos Resíduos gerados em Perdigoão/MG <sup>5</sup>				
Resíduos	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03	Ensaio 04
	Massa (kg)			
Matéria Orgânica	14,89	30,17	42,41	31,45
Plástico	9,53	21,20	26,97	28,58
Papel e Papelão	5,41	10,54	9,81	7,87
Vidro	0,71	3,23	2,03	1,26
Metal Não Ferroso	0,00	0,52	1,66	0,85
Couro e Borracha	1,53	3,16	0,45	3,25
Têxtil	2,15	3,32	4,58	8,28
Rejeitos	6,18	8,78	6,81	13,72
Cont. Biológico	0,25	0,00	0,00	0,72
Cont. Químico	0,00	0,00	0,07	0,00
Eletrônicos	0,00	0,00	0,00	0,31
Total (kg)	40,62	80,89	94,77	96,25
Características Físicas				
Volume (m <sup>3</sup> )	0,50	1,00	1,00	1,00
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	81,23	80,89	94,77	96,25

Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Gráfico 4: Representatividade de cada categoria dos resíduos gerados no município de Perdigoão/MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Por meio do quadro acima, verifica-se que o peso específico médio dos resíduos é de 88,28 kg/m<sup>3</sup>; porém, Monteiro *et al.* (2001) indicam um valor de 230 kg/m<sup>3</sup> para o resíduo domiciliar. Apesar disso, em pesquisas similares, foram observados valores mais próximos, como na de Menezes *et al.* (2019), que determinou o peso específico de 115 kg/m<sup>3</sup> para a cidade de Juiz de Fora/MG, e Rezende *et al.* (2013), que relataram o valor de 136,2 kg/m<sup>3</sup> para a cidade

<sup>5</sup> Em decorrência de contratemplos operacionais ocorridos durante o experimento em 16/11/2023, apenas 0,50 m<sup>3</sup> dos resíduos foi separado e pesado, correspondendo à metade do volume total de 1,0 m<sup>3</sup> previamente homogêneo.

de Jaú/SP. O valor diminuto do peso específico para a cidade pode ser explicado pela proporção de geração entre matéria orgânica e recicláveis, que é característica de cada localidade (Menezes *et al.*, 2019).

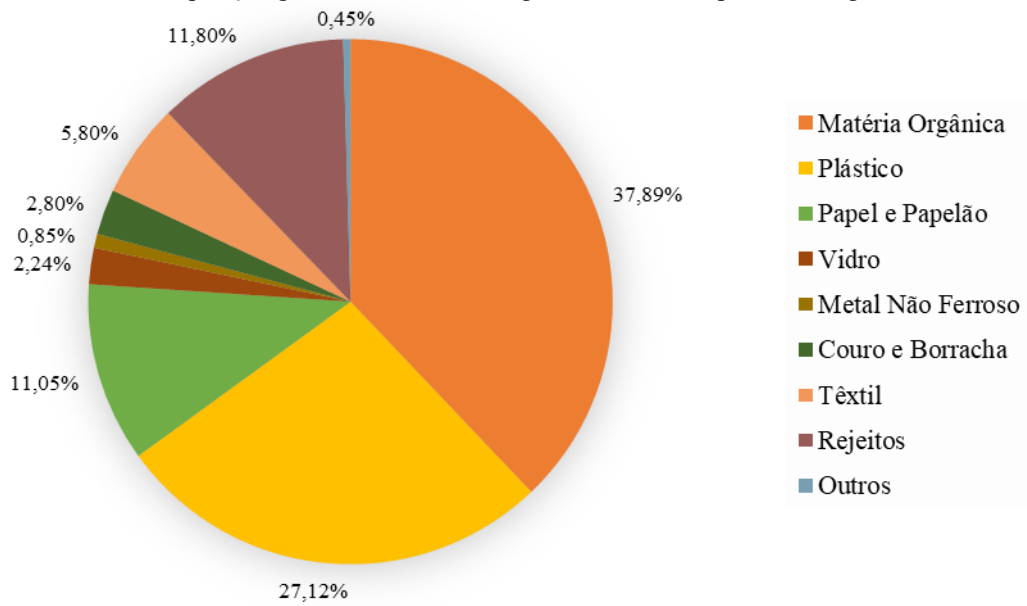
Kaza *et al.* (2018) apontam que a proporção entre a geração de matéria orgânica e recicláveis, como plástico e papel, varia conforme nível de renda da população. Segundo os autores, em localidades com maior nível econômico, há uma predominância na geração de plásticos e papel, enquanto, em regiões com menor renda, a produção de matéria orgânica é mais significativa.

Apesar disso, no caso específico de Perdigoão/MG, devido ao fato de a economia local estar voltada para a produção calçadista, há a presença significativa de indústrias desse segmento. De acordo com informações disponibilizadas pela Secretaria de Agricultura, Pecuária e Meio Ambiente da cidade, não há um controle efetivo sobre a destinação adequada dos resíduos produzidos por essas empresas, o que resulta na coleta desses materiais junto aos resíduos domésticos. Essa prática altera a relação entre a geração de resíduos orgânicos e recicláveis no município, fazendo com que ela se assemelhe às características de localidades com maior nível econômico.

Ao observar o Gráfico 4, nota-se a predominância na geração de resíduos categorizados como matéria orgânica, plástico, papel e papelão e rejeitos, em todos os dias analisados. Além desses, materiais como vidro, metal não ferroso, couro e borracha e têxtil, embora em proporções menores, também foram identificados diariamente durante o período dos ensaios. Contudo, os materiais classificados como contaminantes biológicos e químicos, bem como os eletrônicos, foram encontrados em apenas um dos dias de medição. Todo esse cenário sugere um padrão consistente na composição gravimétrica dos RSU no município.

Com base no Quadro 4, acima, e considerando as nuances da geração em análise, foi construído o Gráfico 5, que representa, de forma visual, a composição dos RSU gerados no município de Perdigoão/MG.

Gráfico 5: Composição gravimétrica dos RSU gerados no município de Perdigoão/MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

A análise da composição gravimétrica do município revela uma expressiva presença de matéria orgânica, uma característica frequentemente observada em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento (Kaza *et al.*, 2018; Monteiro *et al.*, 2001). De modo geral, as categorias de recicláveis representam cerca de 41,36% de todos os resíduos gerados no município. Para além disso, a matéria orgânica também pode ser usada na compostagem ou produção de biogás (Triviño-Pineda, Sanchez-Rodriguez e Peláez, 2024), o que resultaria na parcela de aproximadamente 79,25% de resíduos que apresentam a possibilidade de serem reciclados e/ou reaproveitados.

É notória, também, a grande geração de rejeitos e de materiais e objetos de borracha, couro e têxteis. A maior parte desses últimos são calçados descartados junto ao resíduo comum. Foram encontrados, ainda, em meio ao montante, contaminantes químicos como pilhas e baterias. De acordo com a Lei 12.305 (Brasil, 2010), esses materiais devem ser descartados em locais apropriados para que, por meio da logística reversa, possam receber tratamento e destinação apropriados.

Também foram encontrados resíduos de serviço de saúde (Figura 4), como testes rápidos, recipientes e itens para administração de soro, bolsa coletora de urina e luvas utilizadas.

Figura 4: Resíduos da saúde encontrados em meio aos resíduos comuns no município de Perdigoão/MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

De acordo como a ANVISA (2018), as embalagens de resíduos, a depender do medicamento contido, podem ser descartadas como rejeito. Entretanto, há categorias de resíduos do serviço da saúde que podem oferecer perigo aos catadores e servidores públicos que trabalham na coleta municipal (Garcia e Zanetti-Ramos, 2004). Dessa forma, é necessário avaliar cuidadosamente o descarte dessa categoria de resíduo, uma vez que alguns materiais devem ser destinados a aterros de resíduos perigosos (ANVISA, 2018). Já com relação aos objetos perfurocortantes, de acordo com CONAMA (2005), eles devem receber tratamento específico conforme a contaminação que podem oferecer. Entretanto, é importante ressaltar a possibilidade de esse resíduo ter sido descartado junto aos resíduos domésticos por munícipes, e não por algum estabelecimento de saúde. Desse modo, sua correta identificação e separação no momento da coleta representam uma enorme dificuldade, evidenciando, assim, a necessidade de uma mobilização social eficaz.

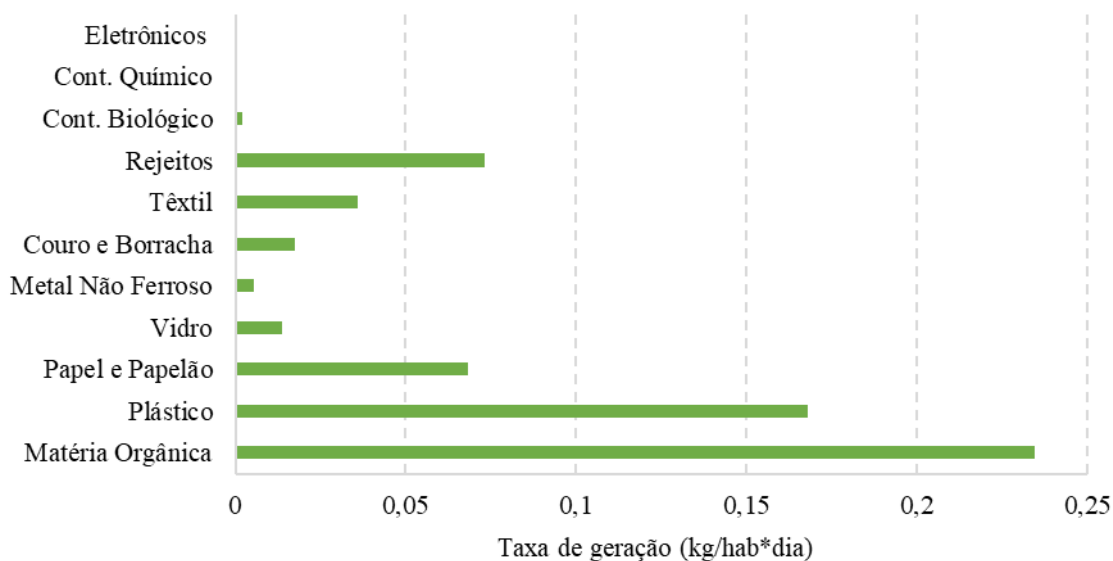
Considerando os resultados obtidos, de modo geral, verifica-se uma semelhança com os dados encontrados por estudos análogos. Costa *et al.* (2013), em suas avaliações para a cidade de Salinas/MG, observaram a representatividade de 46,45% para matéria orgânica, 13,43% para plástico, 12,84% para papel e papelão, 4,26% para metal, 3,32% para vidro, e outros materiais, como rejeitos, têxteis, madeira e borracha representaram 19,70%. Já Menezes *et al.* (2019), da mesma maneira para a cidade de Juiz de Fora/MG, determinaram os seguintes percentuais: 43,81% de matéria orgânica; 31,74% de recicláveis; 13,36% de contaminantes; e

10,10% de outros materiais. Por fim, Couto *et al.* (2020), em sua análise para Rio Verde/GO, constataram a geração de 55,12% de matéria orgânica, 17,93% de plástico, 12,67% de papel e papelão, 5,01 de têxteis e couro, 4,82% de rejeitos, 2,50 de vidro e 1,94% de metal.

Percebe-se que, apesar das variações entre as representatividades de cada categoria de resíduo, as proporções são semelhantes. Para todos os estudos, a matéria orgânica é sempre o material com maior representatividade, seguida de materiais recicláveis secos. Nota-se, também, a geração significativa de rejeitos e materiais feitos de borracha e têxteis.

De forma complementar, pode-se avaliar a composição gravimétrica por outra perspectiva, utilizando da sua associação com a taxa de geração *per capita* do município. Dessa forma, é possível estabelecer quantidades para a geração diária de cada categoria de resíduo, como apresentado no Gráfico 6.

Gráfico 6: Taxa de geração *per capita* associada à composição gravimétrica dos resíduos no município de Perdígão/MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

De modo geral, cada habitante da cidade gera, atualmente, cerca de 0,234 kg/dia de matéria orgânica, 0,256 kg/dia de recicláveis secos (plástico, papel e papelão, vidro e metal não ferroso), 0,053 kg/dia de couro, borracha e têxteis, e 0,075 kg/dia de rejeitos e outros materiais.

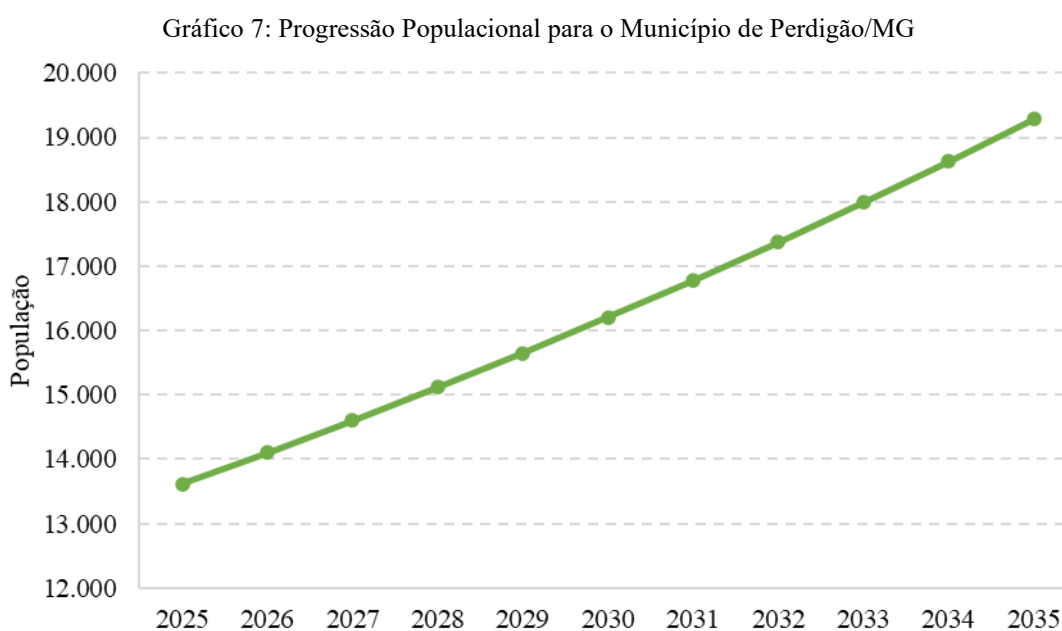
Villalba *et al.* (2020), em seus estudos para a cidade de Tandil, na Argentina, verificaram a geração de cerca de 0,248 kg/dia de matéria orgânica, 0,070 kg/dia para recicláveis, 0,070 kg/dia para têxteis e 0,020 kg/dia para rejeitos, para cada habitante de classe média. Em estudos para Ghana, na África, (Miezah *et al.*, 2015) constataram que cada habitante

em área de classe média gera, aproximadamente, 0,279 kg/dia de matéria orgânica, 0,072 kg/dia de recicláveis, 0,01 kg/dia de couro, borracha e têxteis e 0,028 kg/dia de rejeitos.

Assim como a proporção de geração entre as categorias de resíduos, a geração *per capita* para cada uma delas também se aproxima, principalmente na grande produção de matéria orgânica. Entretanto, é importante ressaltar que as características físicas da geração de resíduos variam de acordo com o desenvolvimento econômico, o clima e os padrões de consumo. Ou seja, locais mais desenvolvidos tendem a apresentar uma geração *per capita* superior, além de produzirem mais resíduos recicláveis e menos material orgânico (Benítez *et al.*, 2008; Kaza *et al.*, 2018; Monteiro *et al.*, 2001; Otoniel, Liliana e Francelia, 2008).

### 3.3 Progressão Populacional

O Gráfico 7, abaixo, expõe a reta que representa a progressão populacional do município em estudo para os próximos dez anos.



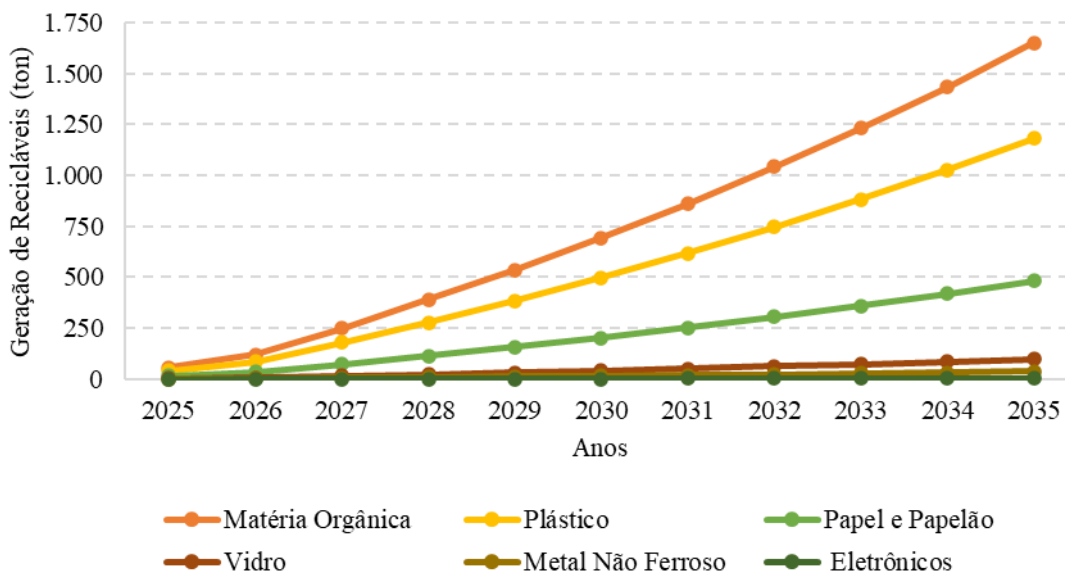
Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Observa-se um crescimento linear ao longo dos anos, atingindo uma população de 19.283 habitantes em 2035. Infere-se também que, em dez anos, possivelmente, a cidade continuará sendo um município de pequeno porte.

### 3.4 Potencial Teórico de Geração de Recicláveis

O Gráfico 8 apresenta o potencial teórico de geração de recicláveis para a municipalidade.

Gráfico 8: Potencial teórico de geração de recicláveis para o município de Perdigoão/MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Ao avaliar o cenário futuro para o ano de 2035, se mantida a taxa de geração *per capita* atual, o município produzirá cerca de 11.932,52 kg de resíduos diariamente e aproximadamente 4.355,37 ton. ao longo de todo o ano. Ao considerar apenas a porção de materiais que podem ser reaproveitados e reciclados, para o mesmo ano, ao todo, serão geradas cerca de 3.451,39 ton., compostas por 1.650,38 ton. de matéria orgânica, 1.181,10 ton. de plástico, 481,32 ton. de papel e papelão, 97,63 ton. de vidro, 37,19 ton. de metal não ferroso e 3,76 ton. de eletrônicos.

Vale ressaltar que foi considerada a implantação progressiva da coleta seletiva, ou seja, a cada ano, amplia-se a cobertura do serviço, aumentando a quantidade de resíduos recicláveis. Assim, considerando tal cenário, para o ano de 2035, o município conseguirá atender 100% da população com o serviço de coleta seletiva e, ao todo, poderão ser recuperadas até 3.451,39 toneladas de resíduos.

Apesar de se manter uma cidade de pequeno porte ao final do período em análise, devido às suas características na geração de resíduos, o município gerará uma quantidade significativa de materiais que podem ser reciclados e/ou reaproveitados. Isso indica o grande potencial que a cidade apresenta no que se refere à reciclagem e comercialização de materiais.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município apresenta uma geração mensal de 230,95 kg de resíduos e uma taxa de geração *per capita* de 0,619 kg/hab.\*dia. Essa taxa de geração está em consonância com dados da literatura e pesquisas relacionadas. Os resíduos gerados pelos habitantes de Perdígão são compostos por 37,89% de matéria orgânica, 27,13% de plástico, 11,80% de rejeitos, 11,05% de papel e papelão, 5,80% de têxtil, 2,80% de couro e borracha, 2,24% de vidro, 0,85% de metais não ferrosos e 0,45% de outros materiais (eletrônicos e contaminantes químicos e biológicos).

Considerando o crescimento populacional e a possível implantação da coleta seletiva, bem como a composição gravimétrica dos resíduos, estima-se que seja possível recuperar 3.451,39 toneladas de resíduos por ano até 2035.

Apesar de ser uma cidade de pequeno porte, Perdígão/MG apresenta uma grande parcela de materiais que podem ser comercializados ou reaproveitados em outras atividades. A implementação de iniciativas para separação e recuperação de recicláveis, como a coleta seletiva, evidencia grande potencial para atingir bons resultados. Levando em consideração a realidade atual do município, onde há custos associados aos serviços de transporte e destinação final dos resíduos, a recuperação e comercialização desses materiais representam uma alternativa viável para reduzir tais despesas, levando em conta a geração atual e futura de recicláveis no município.

De modo geral, a administração pública tem nas mãos problemas sérios para serem resolvidos e oportunidades para serem aproveitadas. É preciso atentar-se, principalmente, à questão relacionada à presença de contaminantes e resíduos da indústria calçadista em meio ao resíduo comum. Mas, por outro lado, devido às características físicas da geração dos RSU, há uma grande oportunidade no que se refere à comercialização dos recicláveis e reutilização de diversos materiais. Com um planejamento e gerenciamento adequados dos resíduos, a administração municipal pode reduzir os custos com a limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, além de aumentar a arrecadação municipal.

## 5 REFERÊNCIAS

ABBASI, Maryam; EL HANANDEH, Ali. Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence modelling approaches. **Waste Management**, v. 56, p. 13–22, out. 2016. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.05.018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE - ABREMA. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024**. São Paulo, 2024. Disponível em: <<https://www.abrema.org.br/>>. Acesso em: 05 jan 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. **Resolução da Diretoria Colegiada nº 222, de 28 de março de 2018**. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2018.

BENÍTEZ, Sara Ojeda *et al.* Mathematical modeling to predict residential solid waste generation. **Waste Management**, v. 28, p. S7–S13, jan. 2008. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.03.020

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005**. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2005.

CORREIA, Juliana Elisabete *et al.* Caderno de reciclagem: programa gestão de resíduos sólidos 2019-2022. **Fundação Parque Tecnológico Itaipú**. Foz do Iguaçu, PR. 2023. Disponível em: <<https://blog.pti.org.br/wp-content/uploads/2023/05/Caderno-GRS-20-2-compactado.pdf>>. Acesso em: 04 mai 2024.

COSTA, Leonardo Estefanini Barreto *et al.* Gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos domiciliares e perfil socioeconômico no município de Salinas, Minas Gerais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 3, n. 2, p. 73–90, 3 fev. 2013.

COUTO, Bruno de Oliveira Costa *et al.* A composição gravimétrica como ferramenta fundamental na gestão dos resíduos sólidos: estudo de caso do município de Rio Verde/GO. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 6, p. 404–410, 6 jul. 2020. DOI: 10.6008/ESS2179-6858.2012.002.0005

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <<http://www.feam.br/component/content/article/15/2010-publicacoes-pmsl>>. Acesso em: 03 mai 2024.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Cartilha de orientações: estudo gravimétrico de resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <<http://www.feam.br/component/content/article/15/2010-publicacoes-pmsl>>. Acesso em: 03 mai 2024.

GARCIA, Leila Posenato; ZANETTI-RAMOS, Betina Giehl. Gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde: uma questão de biossegurança. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 20, n. 3, p. 744–752, jun. 2004. DOI: 10.1590/S0102-311X2004000300011

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Perdigão**. 2024. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/perdigao/panorama>>. Acesso em: 30 abr 2024.

KAZA, Silpa *et al.* **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Washington, DC: World Bank, 2018. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/d3f9d45e-115f-559b-b14f-28552410e90a>>. Acesso em: 04 mai 2024.

KHAN, D.; KUMAR, A.; SAMADDER, S.R. Impact of socioeconomic status on municipal solid waste generation rate. **Waste Management**, v. 49, p. 15–25, mar. 2016. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.01.019

LOZANO LAZO, Denise P.; BOJANIC HELBINGEN, Cynthia; GASPARATOS, Alexandros. Household waste generation, composition and determining factors in rapidly urbanizing developing cities: case study of Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 25, n. 1, p. 565–581, 10 jan. 2023. DOI: 10.1007/s10163-022-01535-1

MAALOUF, Amani; MAVROPOULOS, Antonis. Re-assessing global municipal solid waste generation. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, v. 41, n. 4, p. 936–947, 25 abr. 2023. DOI: 10.1177/0734242X221074116

MENEZES, Rosana Oliveira *et al.* Análise estatística da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares: estudo de caso do município de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 271–282, abr. 2019. DOI: 10.1590/s1413-41522019177437

MIEZAH, Kodwo *et al.* Municipal solid waste characterization and quantification as a measure towards effective waste management in Ghana. **Waste Management**, v. 46, p. 15–27, dez. 2015. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.09.009

MONAVARI, Seyed Masoud *et al.* The effects of socioeconomic parameters on household solid-waste generation and composition in developing countries (a case study: Ahvaz, Iran). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 4, p. 1841–1846, 29 abr. 2012. DOI: 10.1007/s10661-011-2082-y

MONTEIRO, José Henrique Penido *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2001. Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM. Disponível em: <<https://www.ibam.org.br/>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

OTONIEL, Buenrostro Delgado; LILIANA, Márquez-Benavides; FRANCELIA, Pinette Gaona. Consumption patterns and household hazardous solid waste generation in an urban settlement in México. **Waste Management**, v. 28, p. S2–S6, jan. 2008. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.03.019

PERDIGÃO. **Lei 1.696 de 09 de agosto de 2018**. Aprova o Plano Municipal de Saneamento Básico e dá outras providências. Disponível em: <[https://perdigao.mg.gov.br/imagens/li\\_arquivos/1/arquivos\\_1082018124400.pdf](https://perdigao.mg.gov.br/imagens/li_arquivos/1/arquivos_1082018124400.pdf)>. Acesso em: 18 fev. 2024.

REZENDE, Jozrael Henriques *et al.* Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 1–8, mar. 2013. DOI: 10.1590/S1413-41522013000100001

SANTOS, Jerffeson Araújo Dos *et al.* Composição gravimétrica e a taxa de geração per capita de Resíduos Sólidos Domiciliares. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 4, p. 2586–2596, 27 out. 2020. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v5i4-1076

SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA - SIDRA. **Séries Temporais**. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/series-temporais/series-temporais/>>. Acesso em: 30 abr. 2024.

SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA - SIDRA. **Tabela 6892 - Domicílios particulares permanentes ocupados, por destino do lixo**. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6892>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SILVA, Claudionor de Oliveira *et al.* Discretização da estimativa de geração per capita e análise gravimétrica de resíduos sólidos urbanos. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, p. 1–19, 28 jun. 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n3e8128

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. **Diagnóstico temático manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília: 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>>. Acesso em: 19 abr. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. **Série histórica: Perdigão**. 2022. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 30 abr. 2024.

TRIVIÑO-PINEDA, Jairo-Smith; SANCHEZ-RODRIGUEZ, Aminaél; PELÁEZ, Nicolás Pinel. Biogas production from organic solid waste through anaerobic digestion: A meta-analysis. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 9, p. 100618, jun. 2024. DOI: 10.1016/j.cscee.2024.100618

VILLALBA, Luciano *et al.* Household solid waste characterization in Tandil (Argentina): Socioeconomic, institutional, temporal and cultural aspects influencing waste quantity and composition. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 152, p. 104530, jan. 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104530

VON SPERLING, Marcos. **Estudos preliminares para projetos**. In: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2º ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1996. p. 227–238.

**CAPÍTULO III: PROJETO DE COLETA SELETIVA PARA MUNICÍPIO DE  
PEQUENO PORTE UTILIZANDO UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO  
GEOGRÁFICA**

Antônio Eduardo dos Santos<sup>1</sup>, Carlos Fernando Lemos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) – Campus Divinópolis/MG. Mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - *Campus Bambuí* MG. E-mail: antonioedu1@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Geoquímica Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF)/INM Espanha. Professor Associado IV da Universidade Federal de Viçosa.

## RESUMO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) prioriza práticas como não geração, redução, reutilização e reciclagem, considerando a destinação final adequada como última solução. Apesar da coleta seletiva ser uma ferramenta essencial, ela ainda é limitada em muitos municípios brasileiros. A utilização de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) tem se destacado, principalmente quando combinada com a otimização das rotas de coleta. Este estudo teve como objetivo dimensionar os equipamentos necessários e otimizar a localização dos PEVs e as rotas de coleta usando um *software* SIG. A metodologia foi dividida em três etapas: coleta de dados, pré-dimensionamento e otimização das rotas. Inicialmente, foram levantados dados georreferenciados sobre as características da cidade, dividindo-a em sete áreas de interesse. No pré-dimensionamento, foram criados três cenários, considerando o aumento gradual na recuperação de recicláveis, seguido de um estudo populacional e determinação do número de PEVs. Na etapa de otimização, foram utilizados o QGIS e o plugin ORS Tools para otimizar as rotas de coleta. O estudo resultou no dimensionamento de 37 PEVs distribuídos pelas áreas de projeto e na criação de dez rotas de coleta, com base nos cenários definidos. Também foram definidos um cronograma de coleta e a frota necessária de caminhões. A criação de cenários permite um gerenciamento eficiente dos recursos e uma mobilização eficaz da população. A criação de cenários para a implantação da coleta seletiva possibilita o gerenciamento eficiente dos recursos e a mobilização social. A combinação do uso de PEVs e a otimização das rotas com SIG geraram bons resultados, sendo recomendado o monitoramento da produtividade e do consumo de combustível visando ao aprimoramento do serviço.

**Palavras-chave:** Coleta seletiva. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Rotas de coleta. SIG.

## ABSTRACT

The National Solid Waste Policy (PNRS) prioritizes practices such as waste prevention, reduction, reuse, and recycling, with proper final disposal considered as the last resort. Although selective collection is an essential tool, it remains limited in many Brazilian municipalities. The use of Voluntary Delivery Points (PEVs) has gained prominence, especially when combined with the optimization of collection routes. This study aimed to dimension the necessary equipment and optimize the location of PEVs and the collection routes using a GIS software. The methodology was divided into three stages: data collection, pre-dimensioning, and route optimization. Initially, georeferenced data on the city's characteristics were gathered, dividing it into seven areas of interest. In the pre-dimensioning stage, three scenarios were created, considering a gradual increase in recyclable recovery, followed by a population study and the determination of the number of PEVs. In the optimization stage, QGIS and the ORS Tools plugin were used to optimize the collection routes. The study resulted in the dimensioning of 37 PEVs distributed across the project areas and the creation of ten collection routes based on the defined scenarios. A collection schedule was also developed, along with the required fleet of trucks. The creation of scenarios enables efficient resource management and effective public mobilization. The combination of using PEVs and route optimization with GIS yielded positive results, with recommendations for monitoring productivity and fuel consumption to further improve the service.

**Keywords:** Selective collection. Municipal solid waste management. Collection routes. GIS.

## 1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010) - define que a destinação final ambientalmente adequada deve ser considerada como última solução no gerenciamento de resíduos sólidos. A legislação também determina que ações de não geração, redução, reutilização e reciclagem sejam priorizadas, com o objetivo de reduzir o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários. Entretanto, 38,9% dos resíduos produzidos no Brasil, o equivalente a 27,9 milhões de toneladas, ainda são destinados para locais inapropriados (ABREMA, 2023).

Embora seja considerada uma ferramenta importante para a sustentabilidade nos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, a coleta seletiva está distante de ser uma realidade em todos os municípios brasileiros, conforme aponta o Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2023. Somente 1.630 municípios implementaram alguma modalidade de coleta seletiva, resultando na recuperação de apenas 5,5% do total de materiais com potencial para reciclagem em 2022 (SNIS, 2023a).

A coleta seletiva é definida como o recolhimento de materiais segregados na fonte de acordo com a sua constituição e pode ser operada de diferentes formas, cabendo à administração local estabelecer a solução mais adequada às condições do município (BRASIL, 2010; CEMPRE, 2018).

Dentre as modalidades, os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) têm se destacado. Esses pontos, compostos por contêineres de armazenamento, são distribuídos pela área do projeto, permitindo que os habitantes depositem voluntariamente seus resíduos. A realização da coleta seletiva por meio de PEVs tem mostrado resultados importantes, quando avaliada a redução na distância percorrida e no tempo gasto nos roteiros de coleta, principalmente quando associado à otimização de rotas em ambiente SIG (BERNARDO; LIMA, 2017a; TURCI *et al.*, 2019).

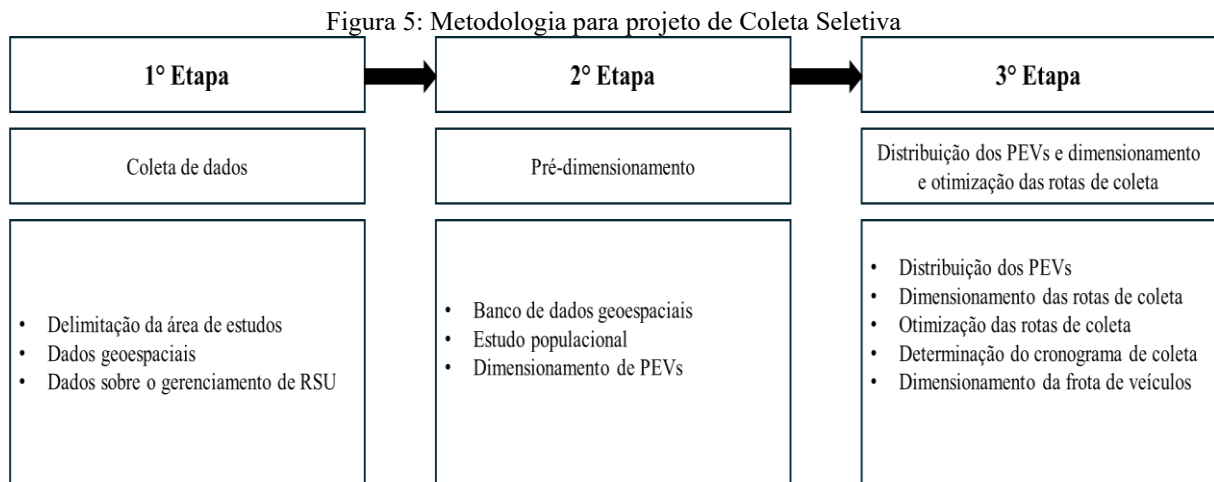
Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um conjunto de ferramentas utilizadas por programas de geoprocessamento que permite analisar o tratamento de dados geográficos, facilitando análises espaciais e auxiliando na gestão de recursos (LIMA; LIMA; SILVA, 2012). Diversos estudos têm utilizado o SIG para otimizar a alocação de PEVs e o roteiro de coleta, resultando em economia de combustível, diminuição do tempo de coleta e, principalmente, diminuição da distância percorrida (KANCHANABHAN *et al.*, 2011; KHAN; SAMADDER, 2016; VU; NG; BOLINGBROKE, 2018). Esses fatores são particularmente relevantes para

municípios de pequeno porte, que enfrentam escassez de recursos financeiros, humanos e de equipamentos (LEITE *et al.*, 2017a).

Assim, o objetivo desta pesquisa foi dimensionar os equipamentos necessários e otimizar a localização de PEVs e as rotas de coleta, utilizando um *software* SIG. Buscou-se observar as características físicas e populacionais da cidade, a fim de propor um sistema adaptado às necessidades locais.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, a metodologia adotada consistiu na adaptação dos processos desenvolvidos por Erfani *et al.* (2017), Gallardo *et al.* (2015) e Sallem *et al.* (2021). De forma geral, a pesquisa foi estruturada em três etapas principais: coleta de dados, pré-dimensionamento e distribuição e otimização das rotas de coleta, conforme Figura 5, abaixo. Cada uma dessas etapas foi executada com o intuito de garantir maior eficiência e adequação às condições locais.



Fonte: Adaptado de Erfani *et al.* (2017), Gallardo *et al.* (2015) e Sallem *et al.* (2021)

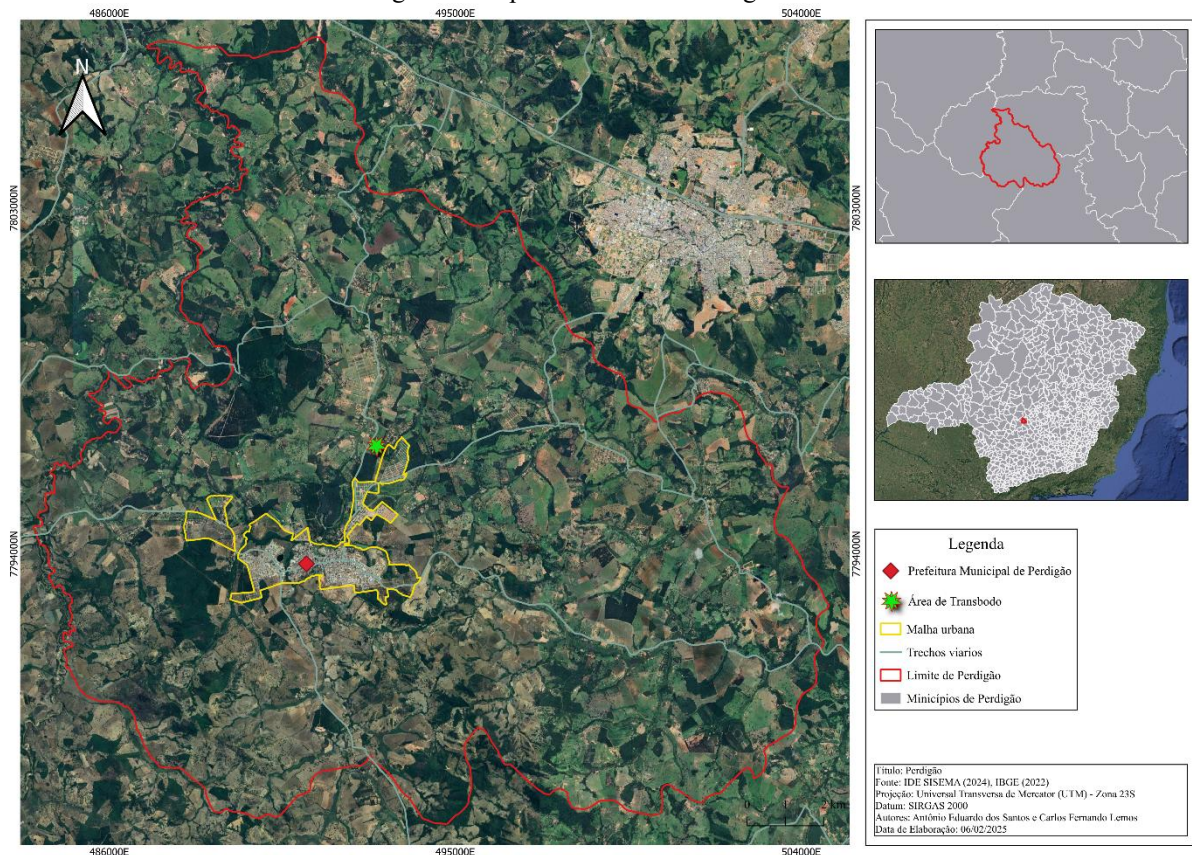
### 2.1 Área de Estudos

Perdigão é uma cidade localizada no centro-oeste mineiro que se estende por cerca de 249,322 km<sup>2</sup> (Figura 6), a 141 km da capital mineira, Belo Horizonte. Com uma população estimada de 12.298 habitantes, conforme o último censo, o município apresenta uma densidade demográfica de 49,21 hab./km<sup>2</sup>. A economia local é predominantemente voltada para a indústria calçadista, e a cidade possui Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,703 e um Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* de R\$18.941,95. O território de Perdigão apresenta vegetação característica do cerrado e de mata atlântica, estando inserido na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. A sede municipal é banhada pelos Córregos Perdigão e Estiva (IBGE, 2022b; IDE SISEMA, 2024).

No que tange ao gerenciamento de resíduos no município, segundo a Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente, toda a área urbana, bem como as principais comunidades rurais do município, são atendidas pelo serviço de coleta de resíduos. A coleta de resíduos domésticos e de limpeza urbana é realizada de forma conjunta, por meio do sistema

porta a porta, sem separação dos materiais. Todo o material coletado é armazenado na área de transbordo municipal e, posteriormente, destinado para um aterro sanitário em Bambuí/MG. Além disso, o município integra o Consórcio Intermunicipal Multifinalitário do Centro-Oeste Mineiro – CIAS Centro-Oeste<sup>6</sup>. Em 2018, foi aprovado o Plano Municipal de Saneamento, instituído pela Lei Municipal 1.696 (PERDIGÃO, 2018), no qual são estabelecidas ações e metas para os serviços de saneamento no município. Todas as ações de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos são efetuadas pela Administração Municipal (SNIS, 2023d).

Figura 6: Mapa da Cidade de Perdígão - MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

## 2.2 Coleta de dados

Com intuito de criar um banco de dados consistentes para início da pesquisa, foram realizadas buscas de informações junto à Prefeitura Municipal e em repositórios digitais de fontes oficiais. Para o presente escopo, coletaram-se informações sobre a população local, o

<sup>6</sup> Município integrantes do CIAS Centro-Oeste: Abaeté, Araújos, Bambuí, Biquinhas, Bom Despacho, Cedro do Abaeté, Conceição do Pará, Córrego Danta, Divinópolis, Dolores do Indaiá, Estrela do Indaiá, Igaratinga, Iguatama, Leandro Ferreira, Luz; Maravilhas, Martinho Campos, Medeiros, Moema, Morada Nova de Minas, Nova Serrana, Onça de Pitangui, Paineiras, Papagaios, Pequi, Perdígão, Pitangui, Pompéu, Quartel Geral, São Gonçalo do Pará, São José da Varginha, São Sebastião do Oeste, Serra da Saudade e Tapiraí (CIAS CENTRO OESTE, 2024).

serviço de coleta realizado no município e dados georreferenciados sobre características físicas do município, como limite territorial, vias municipais, infraestruturas dos serviços de gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e distribuição populacional.

Segundo a Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente do município de Perdigoão-MG, atualmente, a coleta de resíduos atende a população urbana e as principais comunidades rurais. Diante disso, a coleta seletiva será dimensionada de forma a atender toda a população. Desse modo, foi necessário dividir a cidade em áreas de interesse, visando garantir uma estrutura mais adequada às características locais.

Assim, por meio dos dados georreferenciados dos Setores Censitários disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - (IBGE, 2022c) - e do *software* de geoprocessamento QGis, versão 3.40.3 (OSGEO, 2024), as áreas de projeto foram delimitadas. Além dos limites dos setores censitários, para a demarcação de cada área, também foram consideradas as características da cidade, como topografia, vias de acesso, limites da malha urbana e localização das comunidades rurais e distritos pertencentes ao município.

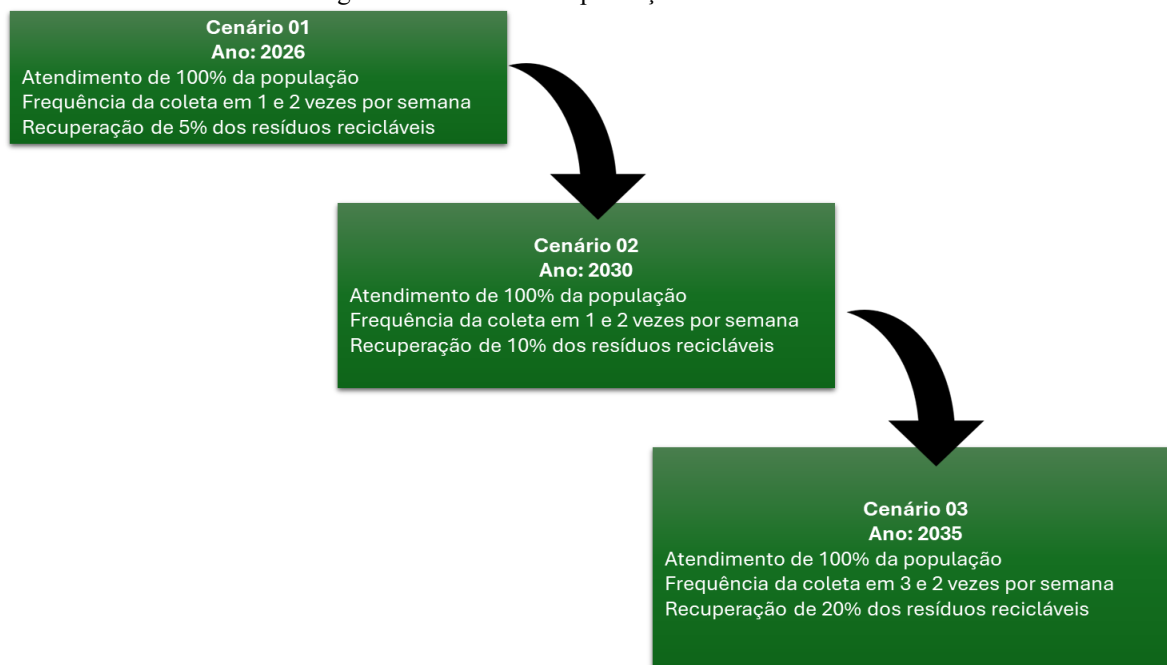
### **2.3 Pré-dimensionamento**

Durante a segunda etapa, que consistiu no dimensionamento dos equipamentos auxiliares da coleta, foi criada uma rede de dados geográficos contendo todas as informações coletadas. De acordo com Erfani *et al.* (2017), a criação de uma rede de dados geográficos que integra diversos dados e características possibilita a solução de variadas situações, além de permitir considerar restrições e hierarquias. Dessa forma e em consonância com os trabalhos de Gallardo *et al.* (2015) e Sallem *et al.* (2021), efetuaram-se o levantamento e a organização de dados espaciais em ambiente SIG, utilizando-se o programa QGis, versão 3.40.3 (OSGEO, 2024). Foram consideradas as informações geográficas relativas à delimitação das áreas de interesse, distribuição populacional, vias de acesso e logradouros, bem como potenciais locais para a instalação dos PEVs.

Durante o processo de dimensionamento da coleta seletiva, considerou-se a implantação dos serviços de maneira progressiva. Dessa forma, a aquisição dos PEVs e demais equipamentos e o planejamento e execução de ações de mobilização social foram programados para ocorrer de forma gradual. Para essa finalidade, foram criados três cenários, conforme ilustrado na Figura 7. Na elaboração de cada cenário, foi considerada a necessidade de atendimento a toda a população; no entanto, prevendo a coleta apenas de uma fração do total

de resíduos gerados. Definiu-se a quantidade de resíduos a ser recuperada em cada etapa, bem como a frequência adequada para a coleta.

Figura 7: Cenários de implantação da coleta seletiva



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Dessa forma, uma vez definidas as áreas de atuação, torna-se necessário determinar a população futura de cada uma delas conforme estabelecido nos cenários. De acordo com os dados do último Censo Populacional, a cidade contava com 12.268 habitantes (IBGE, 2022b) distribuídos por seu território, de modo que 10.820 residem na zona urbana (88,20%), e 1.448, na zona rural (11,80%) (IBGE, 2022d). Adicionalmente, com base na distribuição da população por setor censitário (IBGE, 2022a), foi possível estimar a população atual em cada área de interesse.

Conforme estudos populacionais ainda não publicados, para um horizonte de 10 anos, em 2035, a cidade abrigará 19.283 habitantes. Ao associar a projeção populacional à porcentagem da população residente em cada área de projeto atualmente, torna-se viável estimar a população futura para cada uma dessas áreas, considerando os critérios estabelecidos nos cenários.

Para a determinação da quantidade de PEVs necessários, primeiramente, deve-se estimar a geração diária de resíduos em cada área. Segundo dados ainda não publicados, a geração *per capita* (GPC) no município é de 0,61 kg/hab.dia; porém, os resíduos secos (papel/papelão, plástico, vidro e metal não ferrosos) representam 41,27% do montante gerado no município, resultando em uma GPC de recicláveis secos de 0,25 kg/hab.\*dia.

Com base na composição gravimétrica dos resíduos gerados no município e assumindo que a GPC se mantenha fixa ao longo dos anos, utilizaram-se os dados da população futura para cada área de projeto a fim de calcular o volume de material gerado em cada uma delas, conforme demonstrado na Equação 1.

$$Q = \frac{Popfut \times GPC \times \%Mat}{\gamma} \quad (Eq.1)$$

Onde:

- Q = Quantidade de cada material produzido em cada área (m<sup>3</sup>);
- Popfut = População futura de cada área (hab.);
- GPC = Geração *per capita* (kg/hab.\*dia);
- %Mat = Representatividade do material de acordo com a composição gravimétrica;
- $\gamma$  = Peso específico do material (kg/m<sup>3</sup>).

Adotando valores apresentados por FUNASA (2019), o peso específico de cada material é apresentado no Quadro 5.

Quadro 5: Peso específico dos resíduos sólidos

Resíduo	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )
Papel/papelão	139
Vidro	196
Plástico	65
Metal não ferroso	89

Fonte: Adaptado de FUNASA (2019)

Em seguida, utilizando-se o método demonstrado por Sallem *et al.* (2021), é possível estabelecer o número de contêineres necessário em cada uma das zonas de coleta, com base na geração de resíduos totais da área de interesse e um volume de armazenamento fixo para cada lixeira, conforme Equação 2.

$$Nc = \frac{Q}{D \times V \times Me \times Fr} \quad (Eq.2)$$

Onde:

Nc = Número de contêineres necessários;

Q = Quantidade de RSU produzida em um dia (m<sup>3</sup>/dia);

V = Volume do contêiner (m<sup>3</sup>);

Me = Média de transbordamento dos contêineres (%);

Fr = Fator de frequência (relação entre os dias de produção e o dia de coleta).

Para o dimensionamento do volume dos PEVs, considerou-se um conjunto de quatro contêineres, cada um com capacidade de armazenamento de 0,25 m<sup>3</sup>, com dimensões de

0,50 x 0,5 x 1,00 m. Cada contêiner destina-se ao armazenamento de um tipo de resíduo reciclável: plástico, papel/papelão, vidro e metal não ferrosos.

Segundo Gallardo *et al.* (2015), o coeficiente de multiplicação de contêineres (Me) é utilizado para aumentar o volume disponível para armazenamento ou, neste caso, ampliar a quantidade de contêineres, considerando os dias de maior geração de resíduos e evitando o transbordo do equipamento. Para este estudo, adotou-se um fator Me igual a 1.

Para a definição das rotas, é fundamental que o tempo necessário para a realização de todo o percurso estabelecido não exceda a jornada de trabalho de oito horas diárias. Assim, o tempo de duração de cada roteiro foi calculado por meio da Equação 3.

$$Tc = \frac{D}{V} \times Td + Tpev \times PEV \quad (Eq.3)$$

Onde:

Tc = Tempo total necessário para realização do itinerário (h);

D = Distância total a ser percorrida (km);

V = Velocidade máxima de transporte (km/h);

Td = Tempo necessário para descarregar o caminhão (h);

Tpev = tempo necessário para recolher o material acondicionado em cada PEV (h);

PEV = Número de PEVs atendidos no roteiro (unid).

Para aplicação da Equação 2, adotou-se a velocidade média de transporte de 30 km/h, atendendo ao limite de velocidade para vias locais sem sinalização, conforme o Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997). Para a distância percorrida, considerou-se a extensão total de cada rota planejada. Quanto ao tempo de descarga do caminhão, foi adotado um valor de 30 minutos, enquanto o tempo estimado para a coleta dos resíduos acondicionados em cada PEV foi de, aproximadamente, 15 minutos.

Por fim, para a determinação do número de caminhões coletores e do cronograma de coleta, é essencial, primeiramente, dimensionar e otimizar as rotas de coleta. Para isso, devem ser considerados a capacidade do caminhão, o tempo de execução da rota e os pontos de partida e finalização do percurso. Neste estudo, considerou-se um caminhão do tipo gaiola, com capacidade de 15 m<sup>3</sup>.

## 2.4 Distribuição dos PEVs e otimização do dimensionamento das rotas de coleta

Como critério para a distribuição dos PEVs em cada área de projeto, de maneira mais efetiva, seguiu-se a abordagem utilizada por Ferronato *et al.* (2021) e Khan e Samadder,

(2016), mapeando-se as regiões municipais com maior densidade populacional e que, consequentemente, geram mais resíduos. Para esse fim, com base em informações sobre cada setor censitário (IBGE, 2022a), como a população residente e a sua extensão territorial, associadas aos dados georreferenciados, foi possível realizar essa categorização. No cenário inicial, a distribuição dos PEVs ocorreu apenas nas áreas mais adensadas e, com a evolução dos cenários, os demais conjuntos de contêineres foram gradativamente alocados nas regiões internas menos povoadas.

No que tange à localização de cada PEV, foram definidos alguns critérios para padronizá-las: (1) praças e locais públicos; (2) pontos onde atualmente há acondicionamento de resíduos e grande circulação de pessoas; (3) em frente a escolas municipais; e (4) espaços destinados a serviços públicos.

E, por fim, para o dimensionamento e otimização das rotas de coleta, é utilizado o *plugin* ORS Tools, que é uma ferramenta capaz de criar roteiros a partir do Problema do Caixeiro Viajante (OSGEO, 2024).

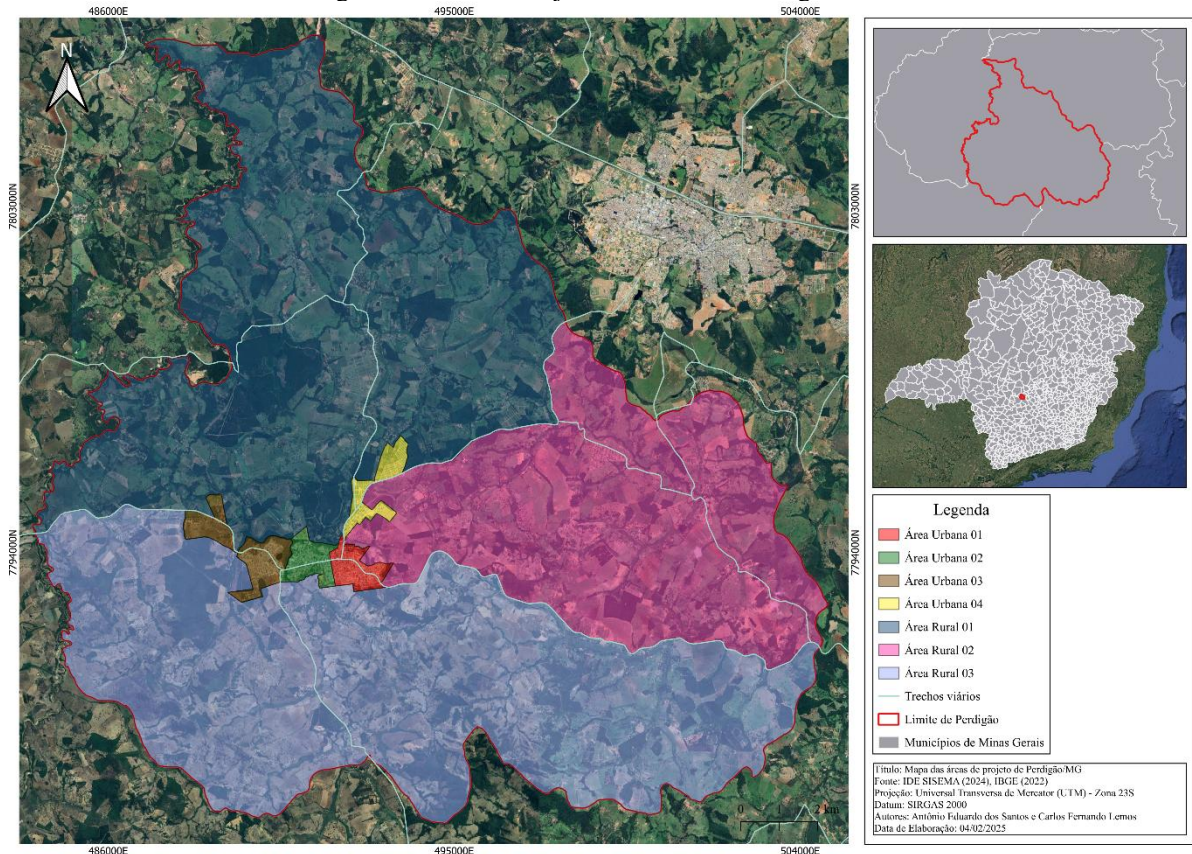
De acordo com Carvalho e Yamakami (2008), o Problema do Caixeiro Viajante consiste na determinação da rota mais curta, que parte de um ponto inicial, percorre todos os locais de um conjunto previamente definido e retorna a um ponto final. Seguindo essa lógica, foram indicados o ponto de início da coleta (garagem), os pontos do conjunto (PEVs) e o ponto final (área de transbordo). Ao término do processamento, o sistema gera a rota de coleta mais eficiente para cada uma das áreas, garantindo a passagem por todos os pontos delimitados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Coleta de dados

A delimitação de áreas de projeto tem como objetivo otimizar o planejamento da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Para o município de Perdigoão/MG, foram estabelecidas sete áreas de projeto, sendo quatro urbanas e três rurais, conforme Figura 8.

Figura 8: Áreas de Projeto da cidade de Perdigoão - MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

A extensão territorial, a população de cada área de projeto (IBGE, 2022a) e a respectiva densidade populacional são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6: Características territoriais e populacionais de cada área de projeto

Área de projeto		Extensão Territorial (km <sup>2</sup> )	População em 2022	Densidade Populacional (hab./km <sup>2</sup> )
Área Urbana 01	AU01	1,285	3.560	2769,566
Área Urbana 02	AU02	1,324	2.794	2109,794
Área Urbana 03	AU03	2,580	2.670	1034,804
Área Urbana 04	AU04	1,375	1.268	922,115
Área Rural 01	AR01	91,4457	769	8,409
Área Rural 02	AR02	57,1281	885	15,492
Área Rural 03	AR03	94,1835	322	3,419
Total		249,322	12.268	

Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

De modo geral, observa-se que a região urbanizada da cidade representa apenas 2,63% da extensão territorial total. No entanto, essa área abriga 83,89% da população. Ao analisar as densidades populacionais, verifica-se que a AU01 apresenta a maior concentração populacional, seguida pela AU02, sendo que a AU01 é predominantemente residencial, abrangendo escolas, comércios e grande parte das indústrias do município. Já a AU02, apesar de também ser uma área residencial, inclui o centro comercial da cidade, onde estão localizados bancos, a igreja matriz, a praça central, a rodoviária e a única escola estadual do município.

As áreas rurais correspondem a 97,37% da extensão territorial do município, porém são caracterizadas por baixa densidade populacional, abrigando apenas 16,11% da população. Os distritos e comunidades rurais pertencentes ao município estão distribuídos entre as três áreas de projeto rurais, sendo a AR02 aquela que concentra as comunidades mais populosas. Além disso, a área de transbordo do município está localizada na AR01.

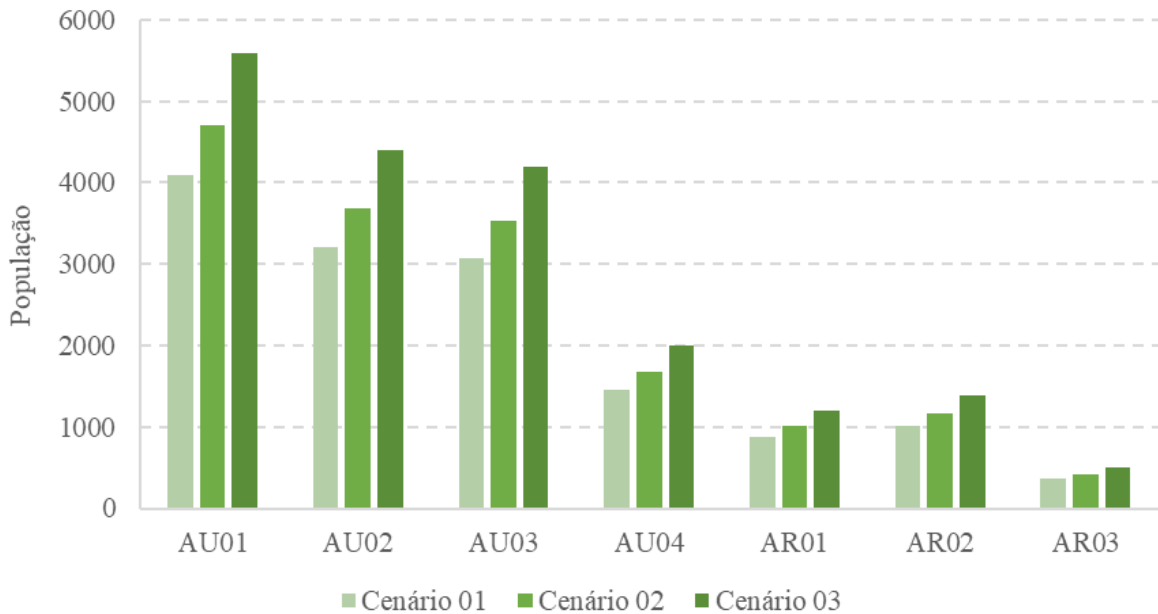
Nota-se uma pequena discrepância entre os percentuais da população urbana e rural das áreas de projeto e aquelas consideradas pelo IBGE. Essa diferença ocorre porque alguns setores censitários foram incorporados às áreas rurais durante o processo de delimitação das áreas de projeto. No entanto, por englobarem comunidades rurais mais urbanizadas, esses setores são classificados como urbanos pelo IBGE.

### 3.2 Pré-dimensionamento

A criação da base de dados espaciais foi realizada por meio da associação de informações sobre a rede de vias urbanas e vicinais, a distribuição populacional e a localização dos pontos de apoio para o gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no município, sendo eles a garagem dos veículos e a área de transbordo municipal. A partir dessa rede de informações, efetuaram-se o dimensionamento e a distribuição dos PEVs por todo o município.

Quanto ao estudo populacional de cada uma das áreas de projeto, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a estimativa de crescimento populacional, conforme os critérios estabelecidos em cada cenário de evolução da coleta seletiva.

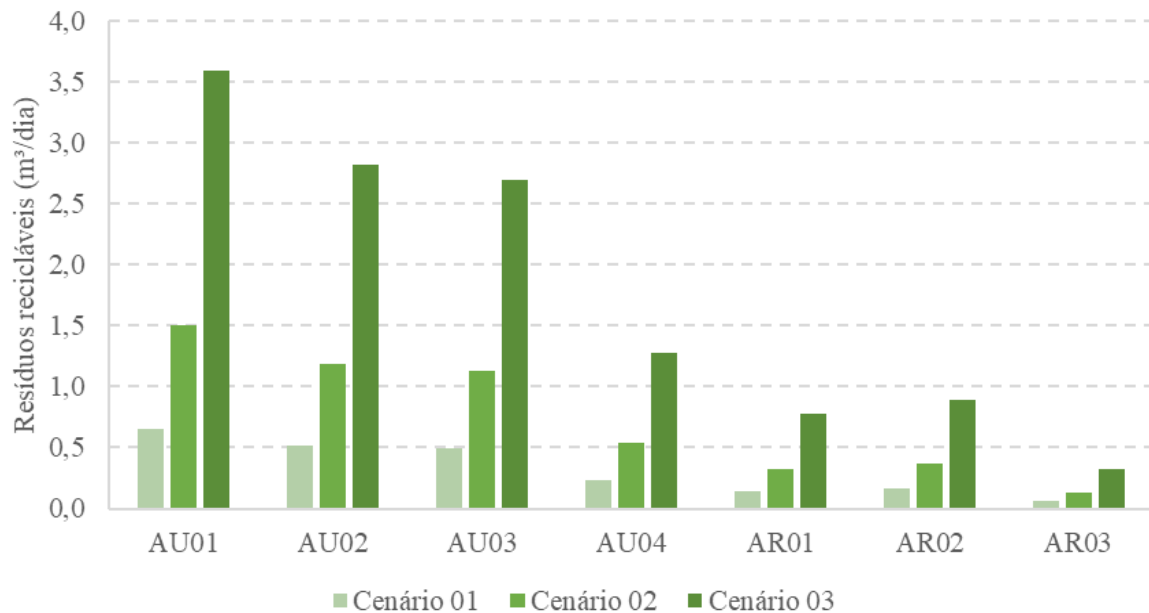
Gráfico 9: Crescimento populacional de Perdigoão/MG de acordo com os cenários de implantação da coleta seletiva



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Ao associar os dados populacionais à GPC de resíduos recicláveis e às parcelas de recuperação de resíduos previstas em cada cenário, estimou-se o volume a ser acondicionado nos PEVs e recolhido pela coleta seletiva (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Gráfico 10: Resíduos recicláveis a serem recuperados pela coleta seletiva



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

De modo geral, observa-se que a recuperação dos resíduos será concentrada nas áreas AU01, AU02 e AU03. As demais áreas, por serem menos populosas, apresentam valores menores para a recuperação dos resíduos. Além disso, observa-se um aumento considerável no

volume de recicláveis a serem recuperados em todas as áreas no Cenário 03. Esse aumento é explicado pelos parâmetros estabelecidos, nos quais o incremento no volume a ser recuperado para o cenário em questão é de 20%, enquanto, no Cenário 02, é de apenas 10%.

Ressalta-se que esse aumento será realizado de maneira gradual e sempre acompanhado por ações de mobilização social e de educação ambiental. Bringhenti e Günther (2011) afirmam que, apesar da baixa adesão inicial em ações de coleta seletiva, com a continuidade das ações de mobilização e educação ambiental, entre outras iniciativas semelhantes, a participação social tende a aumentar. Assim, entende-se que, durante a evolução dos cenários, é essencial que ações mobilizadoras sejam consistentes, auxiliando na criação de uma consciência ambiental e contribuindo para a eficiência da coleta seletiva.

Em seguida, com base na geração de resíduos em cada área, determina-se o número de conjuntos de contêineres (PEV) necessários para acondicionar todos os resíduos. Para isso, a frequência de coleta é um fator que interfere diretamente no dimensionamento dos PEVs (KHAN; SAMADDER, 2016). Caso sejam consideradas frequências de coleta menos constantes, será necessário um maior número de PEVs, o que pode impactar no tempo de execução do itinerário de coleta e nos custos do serviço. Por outro lado, caso sejam consideradas frequências de coleta mais constantes, o número de PEVs será reduzido, porém será necessário o dimensionamento de mais itinerários, o que também pode afetar os custos da execução dos serviços. Dessa forma, visando à otimização das rotas e do número de PEVs necessário, foi estabelecida a seguinte frequência de coleta para cada área de projeto (Quadro 7).

Quadro 7: Frequência de coleta para área de projeto

Cenário	Área de Projeto	Frequência de coleta
1	AU01, AU02 e AU03	2 vezes na semana
	AU04, AR01, AR02 e AR03	1 vez na semana
2	AU01, AU02 e AU03	2 vezes na semana
	AU04, AR01, AR02 e AR03	1 vez na semana
3	AU01, AU02 e AU03	3 vezes na semana
	AU04, AR01, AR02 e AR03	2 vezes na semana

Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Nota-se que, para as áreas de projeto que apresentam maior geração de resíduos, foi necessária a realização da coleta em dois dias semana. Já no Cenário 03, no qual se estima a recuperação do maior percentual de recicláveis, foi preciso aumentar a frequência de coleta em todas as áreas. Essa configuração tem como principal objetivo a otimização do número de PEVs e, posteriormente, a quantidade de rotas de coleta. Ao final, para o Cenário 01, foram necessários 13 conjuntos de contêineres; para o Cenário 02, 26 conjuntos; e, para o Cenário 03, 37, conforme detalhado no Quadro 8.

Quadro 8: Número de PEVs de acordo com cada cenário

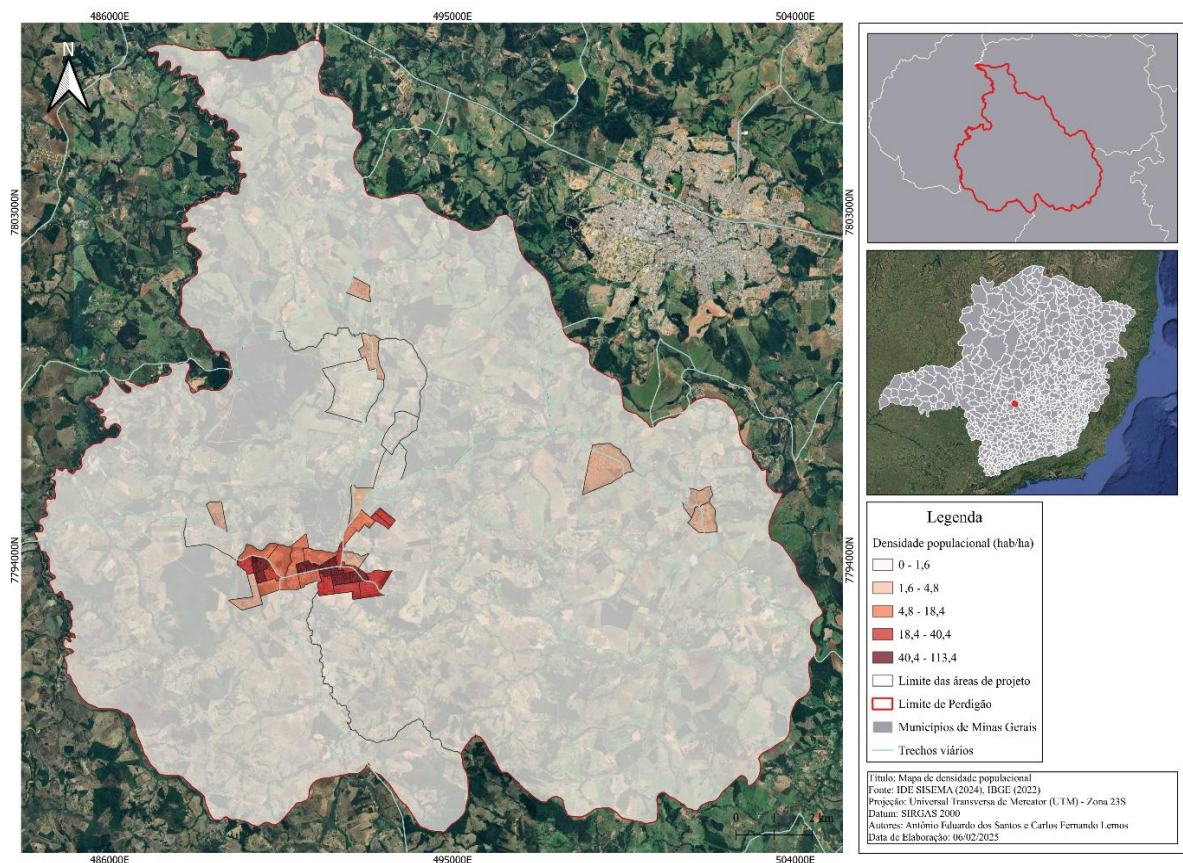
Área de projeto	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03
AU01	3	6	9
AU02	2	5	7
AU03	2	4	7
AU04	2	4	5
AR01	1	3	3
AR02	2	3	4
AR03	1	1	2
Total	13	26	37

Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

### 3.3 Otimização da localização dos contêineres e dimensionamento das rotas de coleta

Com o intuito de alocar todos os PEVs de forma a garantir uma espacialização compatível com as características populacionais da cidade, foi elaborado o mapa representativo das densidades populacionais de cada área de projeto, utilizando as delimitações dos setores censitários, conforme apresentado na Figura 9.

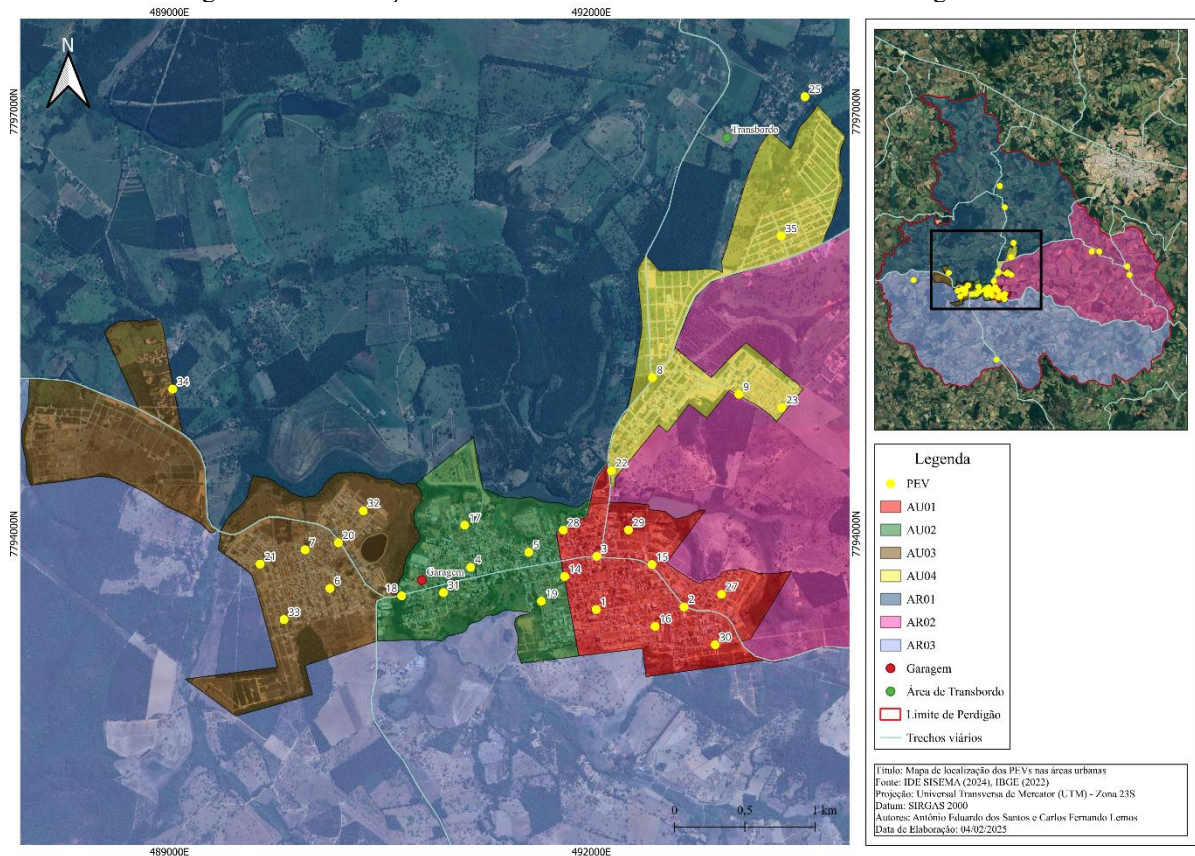
Figura 9: Mapa de densidade populacional da cidade de Perdigoão - MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

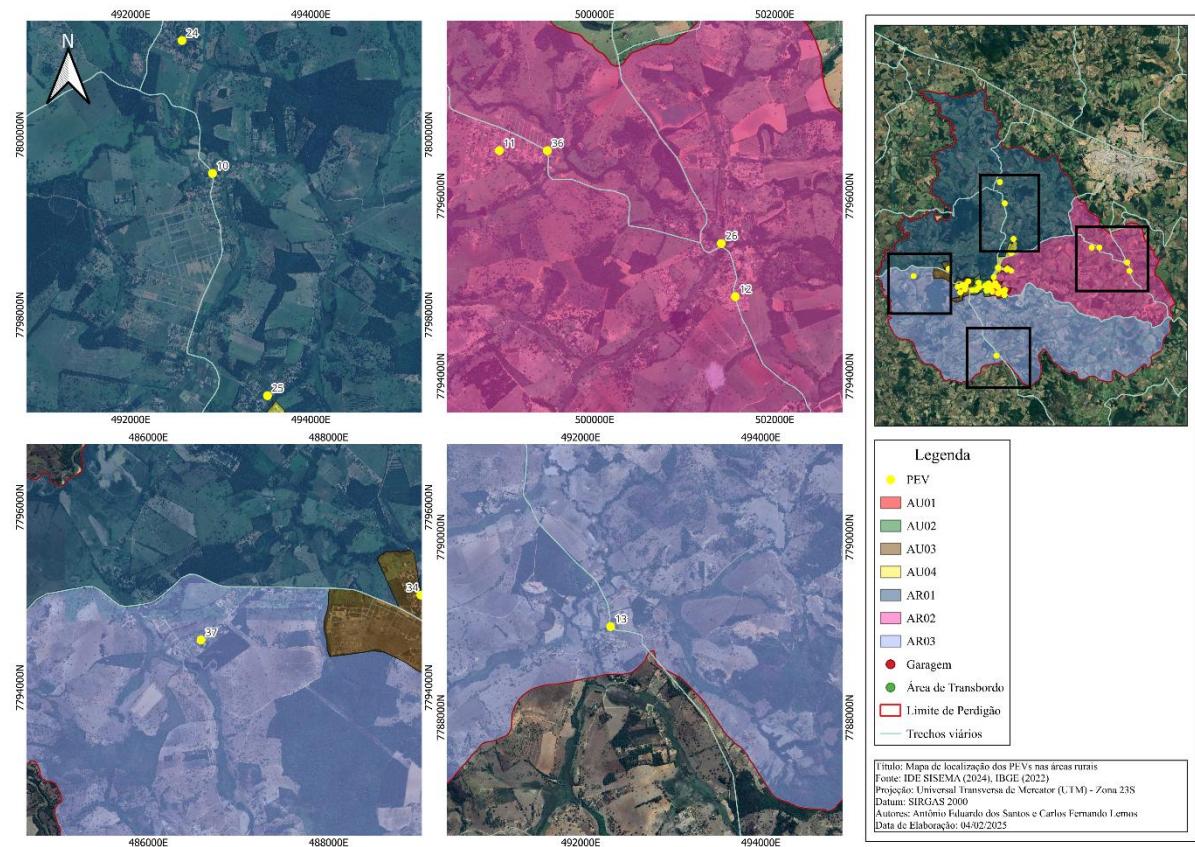
Com base nessa informação e atendendo aos critérios de priorização para a instalação dos equipamentos, os PEVs foram distribuídos conforme a Figura 10 e a Figura 11. O código, os cenários e as coordenadas de cada um dos PEVs são apresentados no Quadro 9.

Figura 10: Localização dos PEVs nas áreas urbanas da cidade de Perdígão - MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Figura 11: Localização dos PEVs nas áreas rurais da cidade de Perdígão - MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Quadro 9: Localização dos PEVs da cidade de Perdigoão - MG

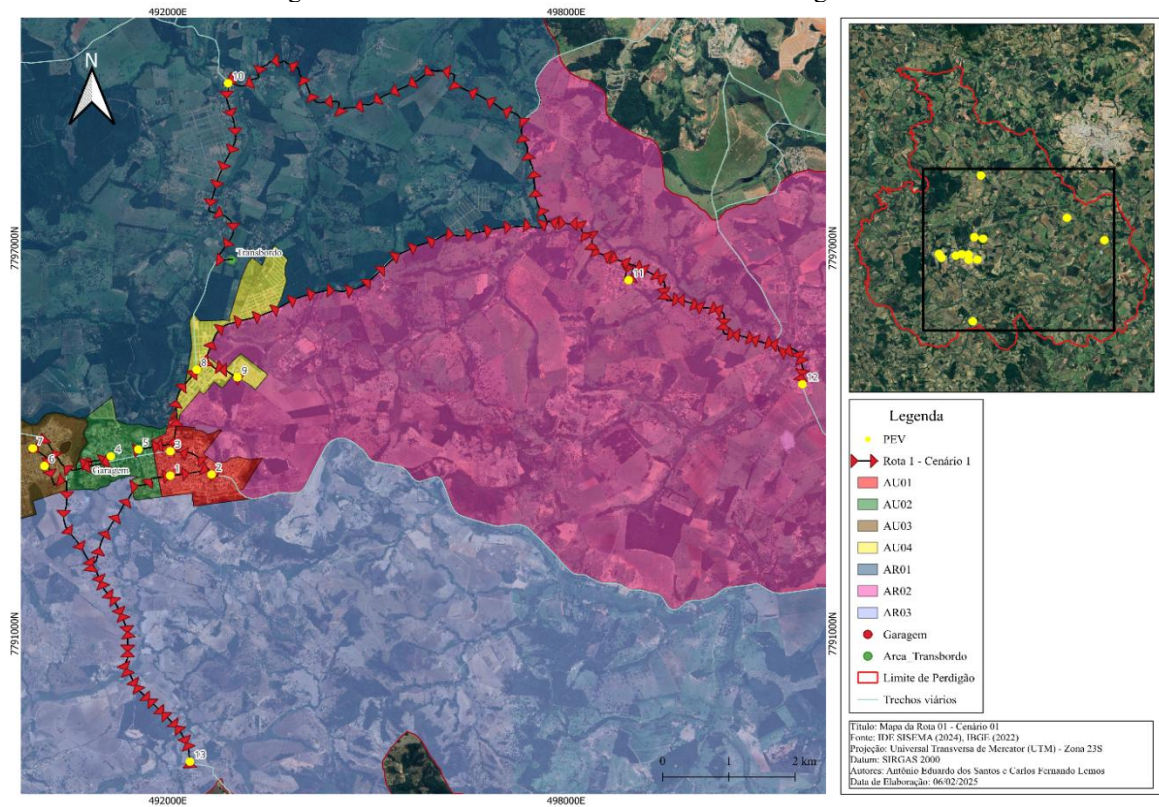
<b>Código</b>	<b>Cenário</b>	<b>Área de Projeto</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>
1	1	AU01	45°4'34,02" W	19°57'19,12" S
2	1	AU01	45°4'12,54" W	19°57'18,51" S
3	1	AU01	45°4'33,89" W	19°57'6,79" S
4	1	AU02	45°5'4,74" W	19°57'9,33" S
5	1	AU02	45°4'50,53" W	19°57'5,87" S
6	1	AU03	45°5'39,19" W	19°57'14,20" S
7	1	AU03	45°5'45,25" W	19°57'5,27" S
8	1	AU04	45°4'20,22" W	19°56'25,50" S
9	1	AU04	45°3'59,10" W	19°56'29,37" S
10	1	AR01	45°4'3,90" W	19°54'0,41" S
11	1	AR02	45°0'36,35" W	19°55'40,19" S
12	1	AR02	44°59'6,21" W	19°56'32,91" S
13	1	AR03	45°4'23,84" W	19°59'43,94" S
14	2	AU01	45°4'41,72" W	19°57'11,46" S
15	2	AU01	45°4'20,36" W	19°57'8,72" S
16	2	AU01	45°4'19,61" W	19°57'23,02" S
17	2	AU02	45°5'6,20" W	19°56'59,61" S
18	2	AU02	45°5'21,64" W	19°57'15,94" S
19	2	AU02	45°4'47,43" W	19°57'17,20" S
20	2	AU03	45°5'37,13" W	19°57'3,66" S
21	2	AU03	45°5'56,24" W	19°57'8,55" S
22	2	AU04	45°4'30,27" W	19°56'47,02" S
23	2	AU04	45°3'48,58" W	19°56'32,43" S
24	2	AR01	45°4'15,53" W	19°53'12,46" S
25	2	AR01	45°3'42,92" W	19°55'20,61" S
26	2	AR02	44°59'11,59" W	19°56'13,70" S
27	3	AU01	45°4'3,35" W	19°57'15,61" S
28	3	AU01	45°4'42,07" W	19°57'0,76" S
29	3	AU01	45°4'26,12" W	19°57'0,72" S
30	3	AU01	45°4'4,92" W	19°57'27,25" S
31	3	AU02	45°5'11,37" W	19°57'15,18" S
32	3	AU03	45°5'31,01" W	19°56'56,27" S
33	3	AU03	45°5'50,41" W	19°57'21,40" S
34	3	AU03	45°6'17,58" W	19°56'28,10" S
35	3	AU04	45°3'48,74" W	19°55'52,79" S
36	3	AR02	45°0'18,00" W	19°55'40,19" S
37	3	AR03	45°7'41,544" W	19°56'44,28" S

Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Após a definição dos locais onde instalar os PEVs, as rotas de coleta foram dimensionadas e otimizadas. Esse processo considerou o tempo da jornada de trabalho de 8 horas, a fim de evitar itinerários que ultrapassassem esse limite. As rotas são apresentadas nas Figura 12, Figura 13,

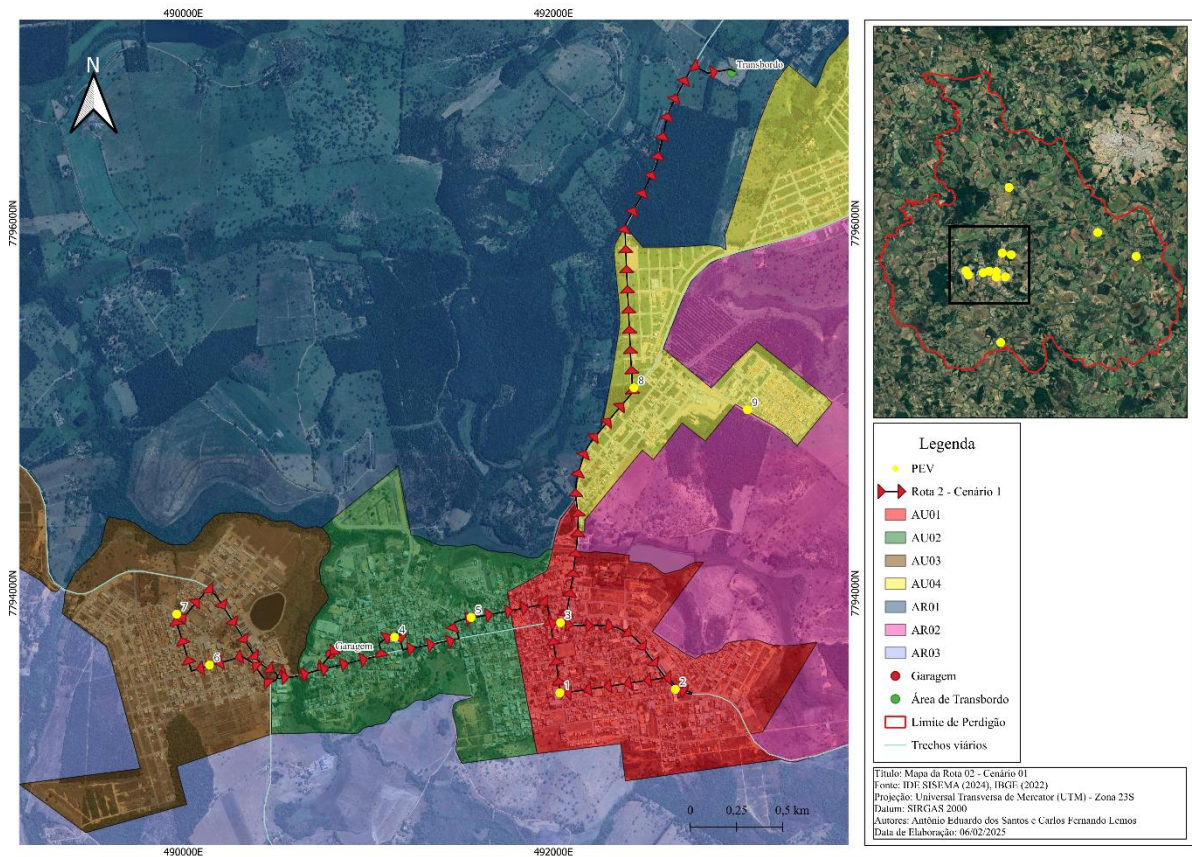
Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20 e Figura 21.

Figura 12: Rota 01 – Cenário 01 da cidade de Perdigoão - MG



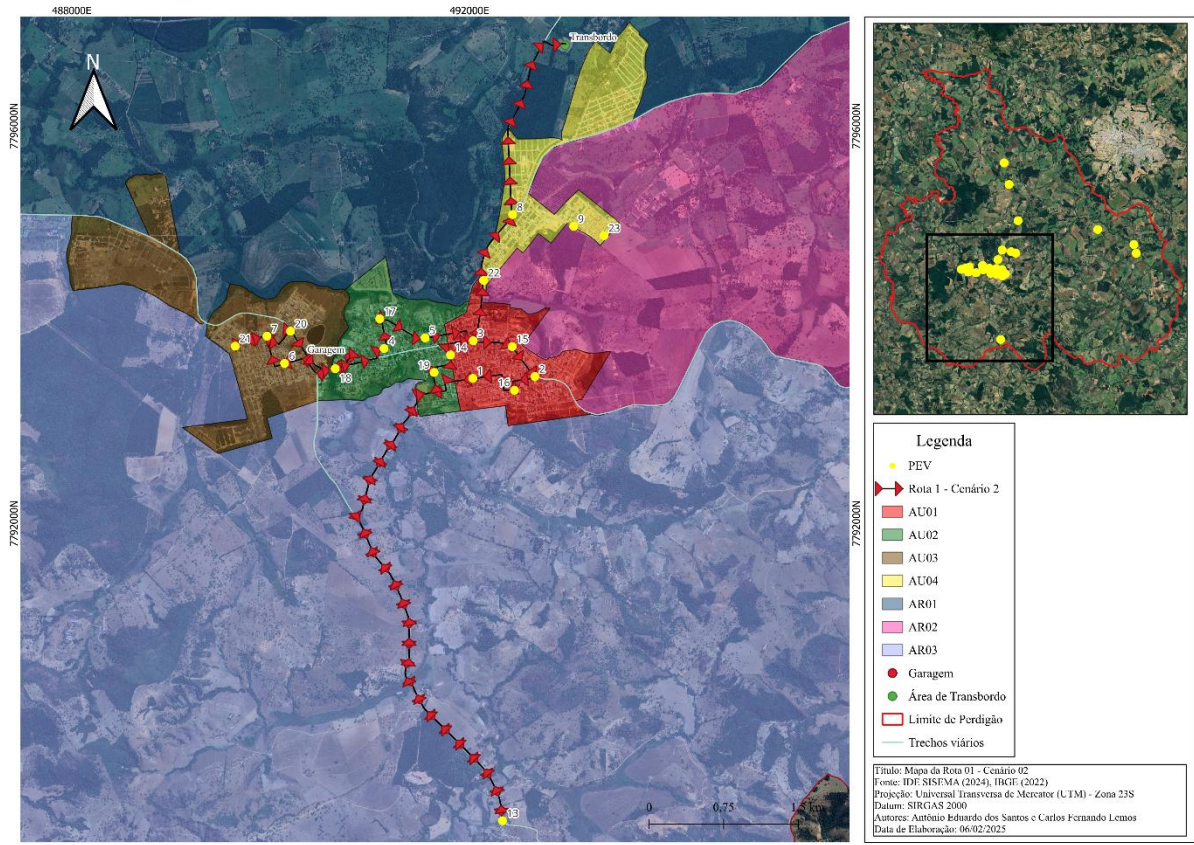
Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Figura 13: Rota 02 – Cenário 01 da cidade de Perdigoão - MG



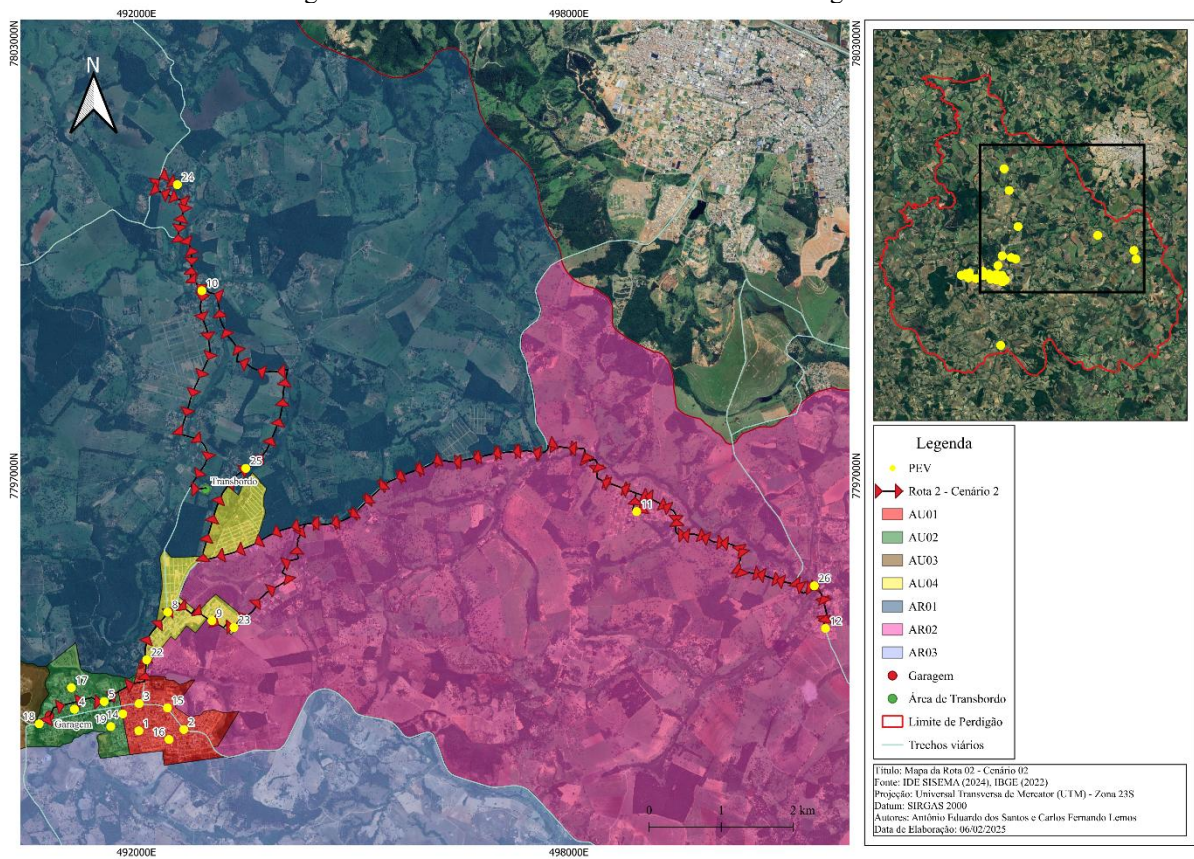
Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Figura 14: Rota 01 – Cenário 02 da cidade de Perdigoão - MG



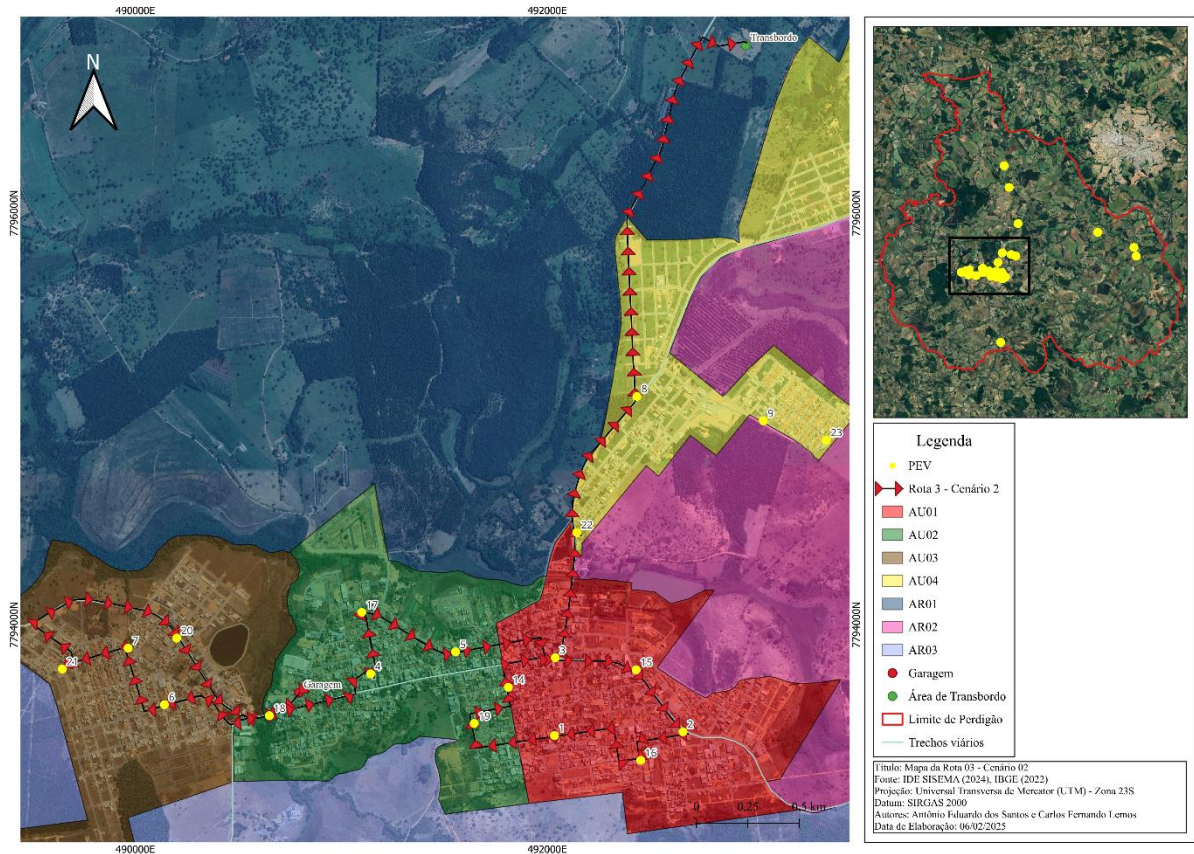
Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Figura 15: Rota 02 – Cenário 02 da cidade de Perdigoão - MG



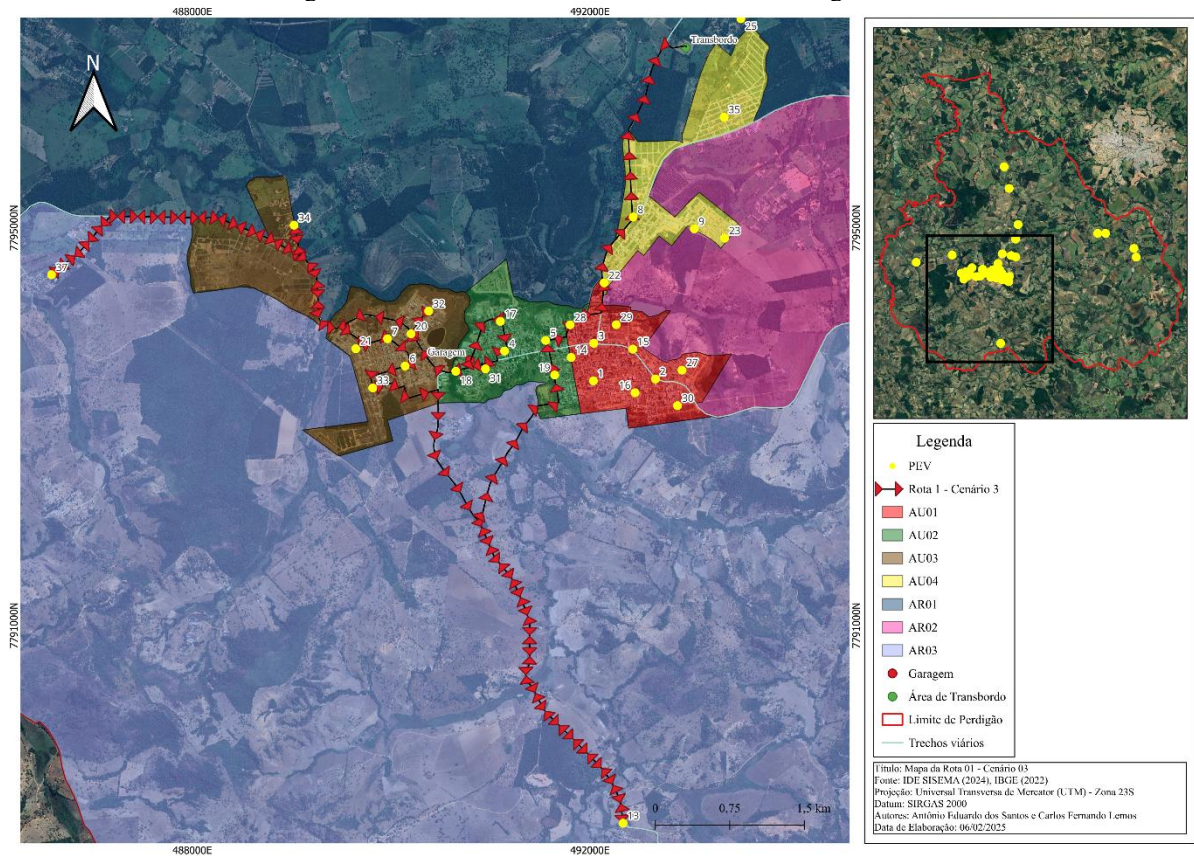
Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Figura 16: Rota 03 – Cenário 02 da cidade de Perdigoão - MG



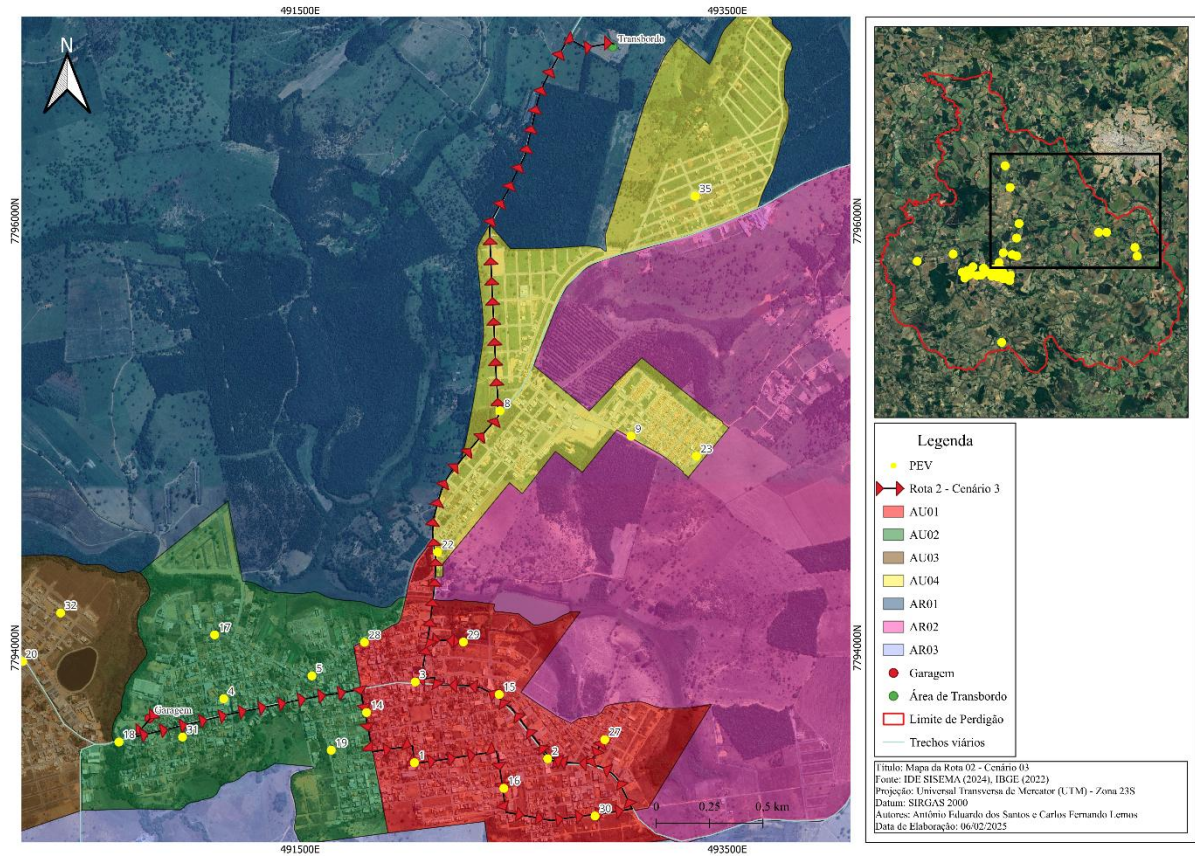
Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Figura 17: Rota 01 – Cenário 03 da cidade de Perdigoão - MG



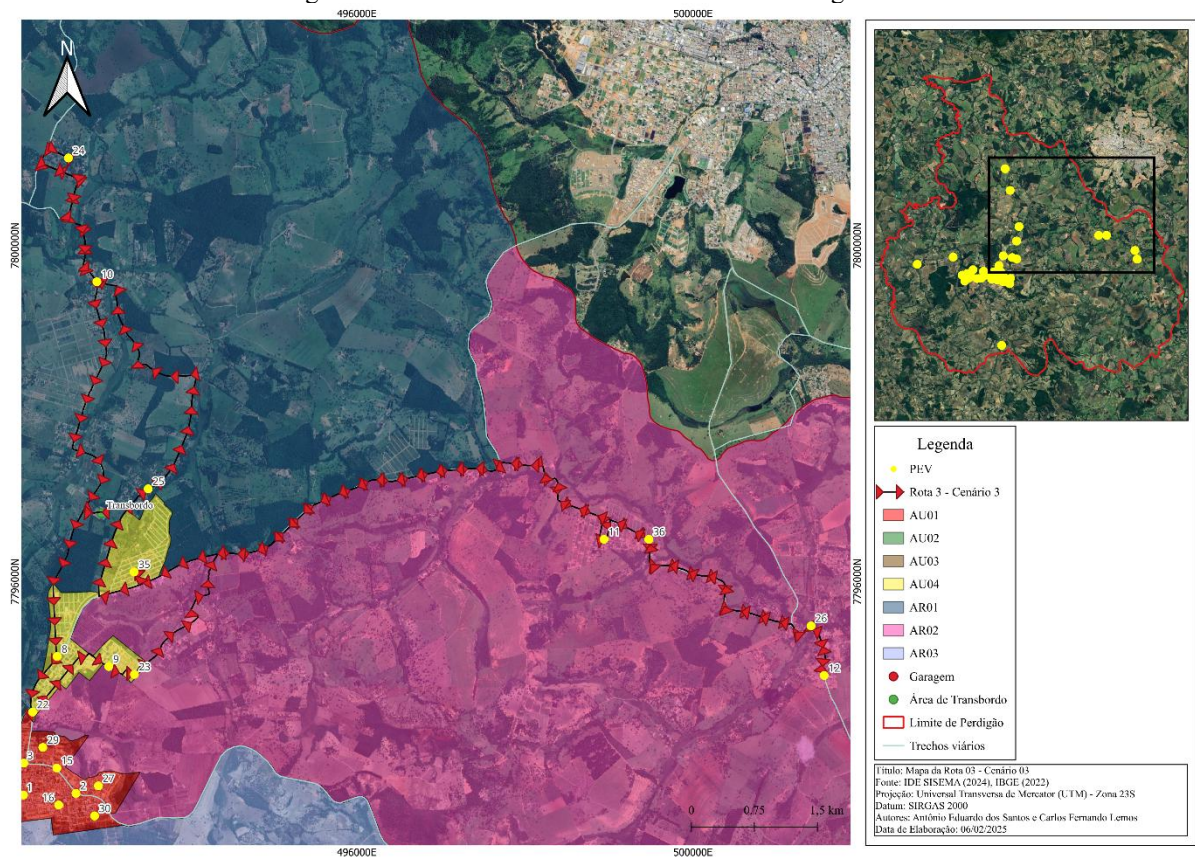
Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Figura 18: Rota 02 – Cenário 03 da cidade de Perdígão - MG



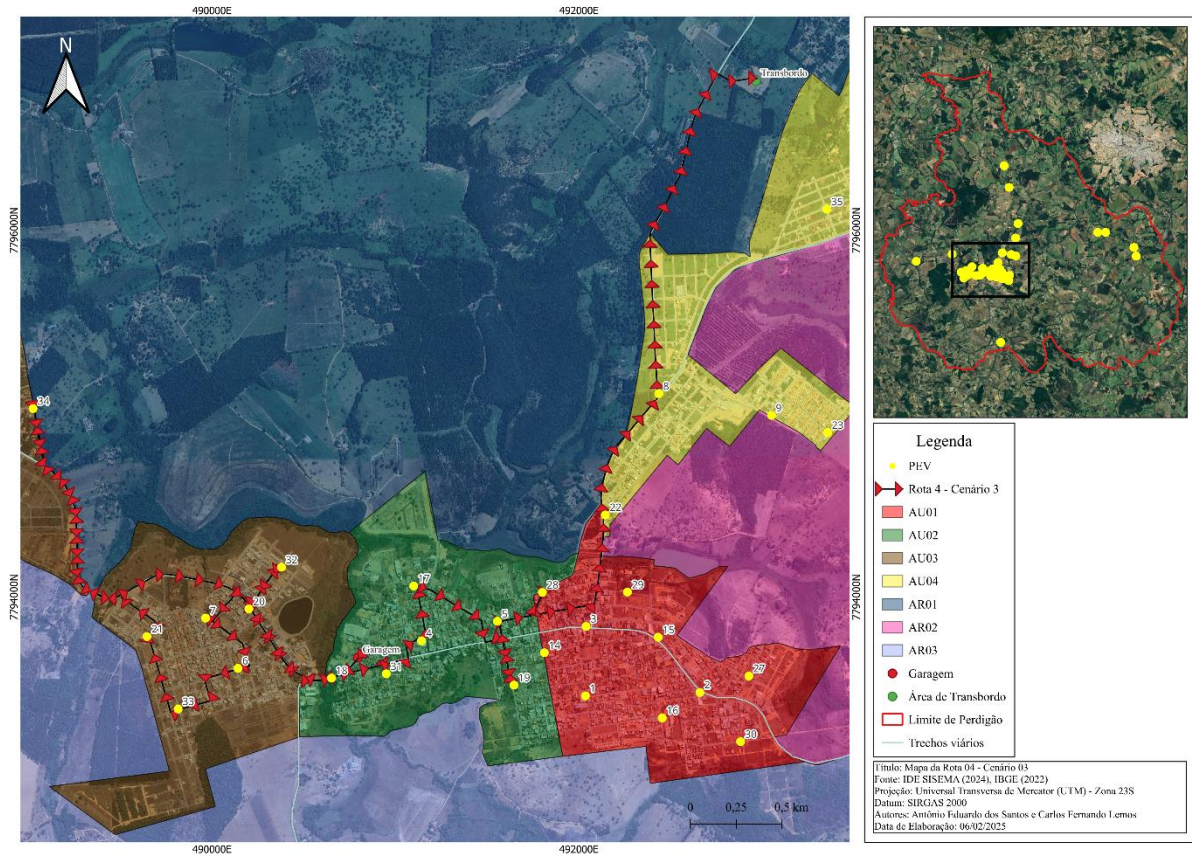
Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Figura 19: Rota 03 – Cenário 03 da cidade de Perdígão - MG



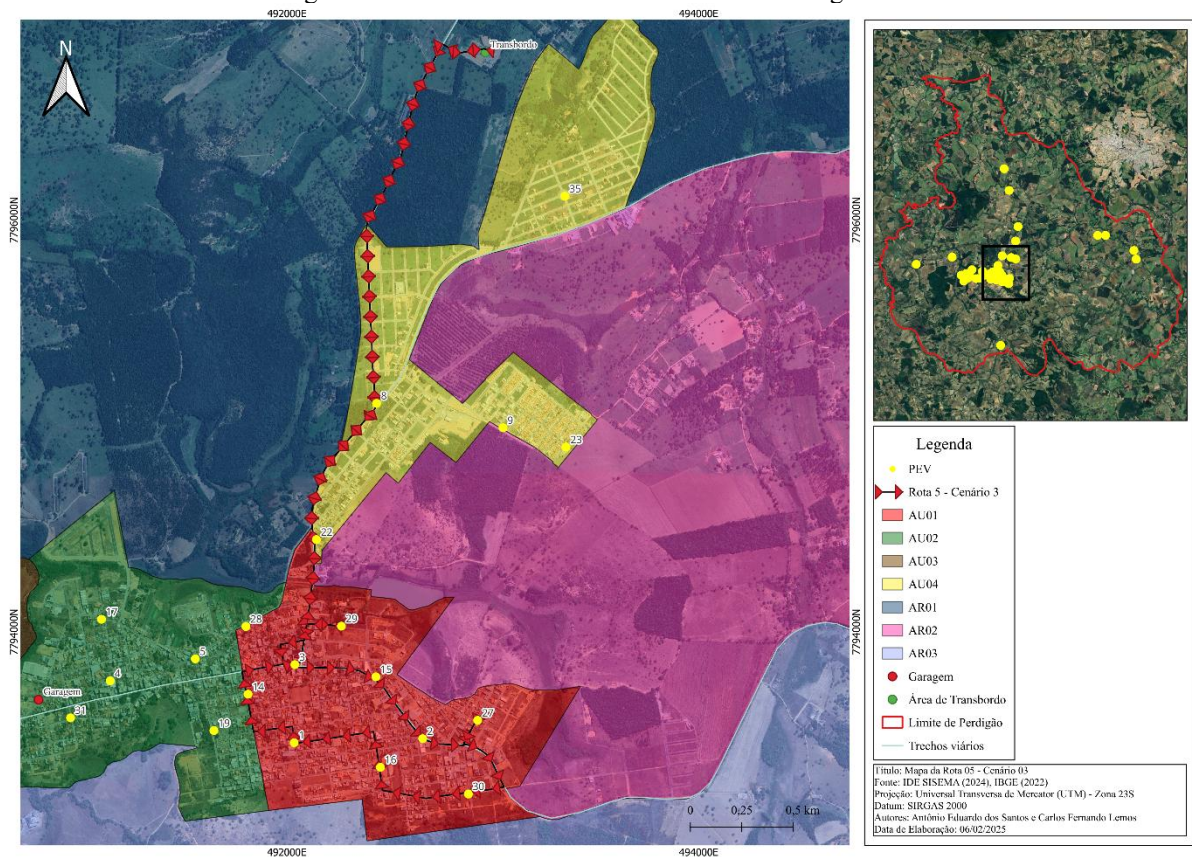
Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Figura 20: Rota 04 – Cenário 03 da cidade de Perdigoão - MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Figura 21: Rota 05 – Cenário 03 da cidade de Perdigoão - MG



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

As características e o detalhamento de cada uma das rotas são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10: Detalhamento das rotas de coleta da cidade de Perdigoão - MG

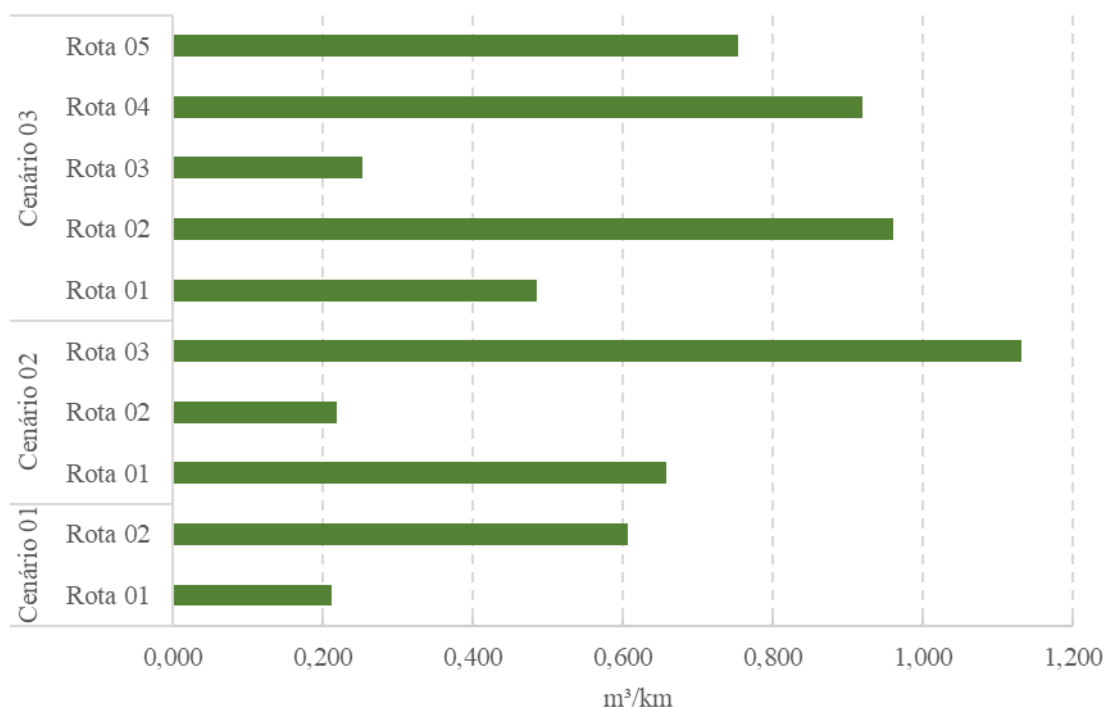
Características	Cenário 01		Cenário 02			Cenário 03				
	Rota 01	Rota 02	Rota 01	Rota 02	Rota 03	Rota 01	Rota 02	Rota 03	Rota 04	Rota 05
Áreas Atendidas	Todas	AU01, AU02, AU03	AU01, AU02, AU03, AR03	AU04, AR01, AR02	AU01, AU02, AU03	AU02, AU03, AR03	AU01	AU04, AR01, AR02	AU02, AU03	AU01
Volume a ser recolhido semanalmente (m <sup>3</sup> )	10,002	5,817	14,327	8,659	13,371	27,964	16,738	20,616	12,845	8,369
Volume recolhido por itinerário (m <sup>3</sup> )	10,002	5,817	14,327	8,659	13,371	13,982	8,369	10,308	12,845	8,369
Nº PEVs atendidos	13,00	7,00	16,00	10,00	15,00	16,00	9,00	12,00	14,00	9,00
Extensão do trajeto (km)	47,403	9,589	21,785	39,600	11,822	28,819	8,724	40,796	13,983	11,110
Tempo de trajeto (horas)	5,330	2,570	5,226	4,320	4,644	5,461	3,040	4,857	4,466	3,120
Frequência	1 vez por semana	1 vez por semana	1 vez por semana	1 vez por semana	1 vez por semana	2 vezes por semana	2 vezes por semana	2 vezes por semana	1 vez por semana	1 vez por semana
Extensão do trajeto total (km)	47,403	9,589	21,785	39,600	11,822	57,638	17,448	81,592	13,983	11,110
Tempo de trajeto total (horas)	5,330	2,570	5,226	4,320	4,644	10,921	6,081	9,715	4,466	3,120

Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Ao observar individualmente as características de cada rota, percebe-se que a distância de deslocamento até as áreas rurais e o número de PEVs visitados a cada rota impactam consideravelmente na extensão e duração dos itinerários. Como exemplo, os itinerários que atendem as áreas rurais apresentam maior extensão de trajeto, com destaque para a Rota 01 do Cenário 01, Rota 03 do Cenário 03 e Rota 02 do Cenário 02. Quando comparados os tempos de trajeto, a Rota 01 do Cenário 03, a Rota 01 do Cenário 01 e a Rota 01 do Cenário 02 se destacam.

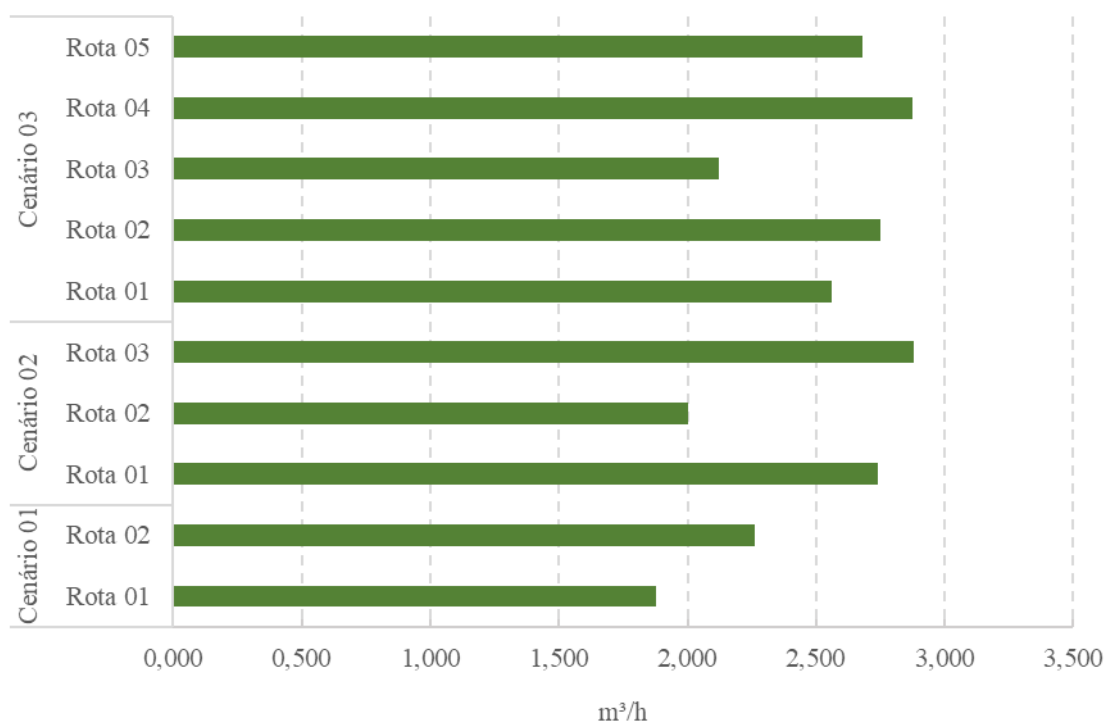
De modo a facilitar a comparação das rotas, e de forma análoga a Ferreira *et al.* (2017) e Teixeira *et al.* (2014), foram calculados os índices de produtividade no que se refere ao volume recolhido por extensão do trajeto (m<sup>3</sup>/km) e volume recolhido por tempo de execução do itinerário (m<sup>3</sup>/h), conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Gráfico 11: Índice de produtividade de volume recolhido por extensão das rotas



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Gráfico 12: Índice de produtividade de volume recolhido por tempo de execução dos itinerários



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Apesar das rotas do Cenário 2 apresentarem alguns picos de produtividade relacionados à quantidade de material recolhido por tempo de coleta, de modo geral, percebe-se que as rotas dimensionadas para o Cenário 03 alcançam resultados ligeiramente superiores.

Os resultados para o índice relacionado à extensão do trajeto também apontam as rotas do Cenário 03 como mais produtivas, embora haja maiores discrepâncias entre itinerários do mesmo cenário. Isso ocorre porque, embora o Cenário 03 apresente rotas com trajetos e tempos de execução dos itinerários mais longos, o volume a ser recolhido é superior aos demais, contribuindo para o aumento de sua produtividade.

No que tange à definição do cronograma de coleta, foram consideradas as frequências de coleta de cada rota e de recolhimento estabelecidas no dimensionamento dos PEVs, os pontos de partida e término das rotas e o tempo de execução de cada uma delas. Além disso, foi adotada uma distribuição homogênea das rotas durante a semana, evitando sobrecarregar qualquer rota. Assim, o cronograma para coleta dos resíduos é apresentado no Quadro 11.

Quadro 11: Cronograma de coleta

Rotas		Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Cenário 01	Rota 01		X			
	Rota 02				X	
Cenário 02	Rota 01		X			
	Rota 02			X		
	Rota 03				X	
Cenário 02	Rota 01	X				X
	Rota 02	X				X
	Rota 03	X				X
	Rota 04			X		
	Rota 05			X		

Fonte: dos Santos; A. E., Lemos; C. F. (2024)

Por fim, para a determinação do número de caminhões coletores necessário, considerando especialmente a frequência das rotas, o volume a ser recolhido, o tempo para execução dos cenários e a capacidade do caminhão, infere-se que, para o Cenário 1, é necessário apenas um caminhão, do tipo gaiola, de 12 m<sup>3</sup>; para o Cenário 2, apenas um caminhão, do tipo gaiola, de 15 m<sup>3</sup>; e, para o Cenário 3, são necessários dois caminhões, um de 12 m<sup>3</sup> e outro de 15 m<sup>3</sup>. A frota estabelecida não considera os veículos reserva.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa utilizou uma metodologia dividida em três etapas: coleta de dados, pré-dimensionamento e distribuição dos PEVs, e otimização do dimensionamento de rotas de coleta. O município foi dividido em sete áreas de projeto, adotando-se o horizonte de planejamento de 10 anos. Foram criados três cenários para implantação da coleta seletiva, nos quais foram dimensionados 37 PEVs e 10 rotas de coleta, atendendo às sete áreas de projeto. A distribuição dos contêineres e o dimensionamento e otimização das rotas de coleta foram desenvolvidos em ambiente SIG. Ao fim, estipularam-se um cronograma de coleta e a frota de caminhões coletores adequados a cada cenário.

A criação de cenários para a implantação da coleta seletiva, além de garantir a aplicação de recursos de maneira escalonada, permitindo seu melhor gerenciamento, ainda assegura uma espacialização de tempo para que a população seja mobilizada a contribuir com o serviço. Esse aspecto é de extrema importância, uma vez que a utilização de contêineres para coleta seletiva demanda grande participação popular (CEMPRE, 2018).

A associação da coleta utilizando os PEVs e a otimização das rotas, por meio de programas SIG, revelou bons resultados, possibilitando a criação de cenários com rotas adequadas às condições locais do município, visando ao atendimento da população urbana e rural.

Sugere-se que, após a implantação dos sistemas, seja realizado o monitoramento dos índices de produtividade, bem como a inclusão de um terceiro índice que mensure o volume recolhido pela quantidade de combustível gasto. Esse acompanhamento pode fornecer informações cruciais para identificar rotas pouco produtivas e garantir a melhoria contínua da coleta seletiva.

## 5 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE - ABREMA. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023**. São Paulo, 2023. Disponível em: <<https://www.abrema.org.br/panorama/>>. Acesso em: 4 fev. 2025.
- BERNARDO, M.; LIMA, R. DA S. 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, n. suppl 1, p. 385–395, out. 2017. DOI: 10.1590/2175-3369.009.sup11.ao10
- BERTICELLI, R.; DECESARO, A.; PANDOLFO, A.; PASQUALI, P. B. Contribuição da coleta seletiva para o desenvolvimento sustentável municipal. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 781–796, 11 abr. 2020. DOI: 10.17765/2176-9168.2020v13n2p781-796
- BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Institui o Código de Trânsito Brasileiro**. Diário Oficial da União, 1997.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2010.
- BRINGHENTI, J. R.; GÜNTHER, W. M. R. Participação social em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 421–430, dez. 2011. DOI: 10.1590/S1413-41522011000400014
- CARVALHO, M. B.; YAMAKAMI, A. Meta-heurística Híbrida de Sistema de Colônia de Formigas e Algoritmo Genético para o Problema do Caixeiro Viajante. **TEMA - Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v. 9, n. 1, 12 mar. 2008. DOI: 10.5540/tema.2008.09.01.0031
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4º ed. São Paulo. Disponível em: <<https://cempre.org.br/manuais/>> Acesso em 04 fev. 2025.
- CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL MULTIFACETÁRIO DO CENTRO OESTE MINEIRO - CIAS CENTRO OESTE. **Municípios Consorciados**. Disponível em: <<https://consorcioCIAS.com.br/municipios-consorciados/>>. Acesso em: 7 set. 2024.
- ERFANI, S. M. H.; DANESH, S.; KARRABI, S. M.; SHAD, R. A novel approach to find and optimize bin locations and collection routes using a geographic information system. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 7, p. 776–785, 12 jul. 2017. DOI: 10.1177/0734242X17706753
- FERREIRA, F.; AVELINO, C.; BENTES, I.; MATOS, C.; TEIXEIRA, C. A. Assessment strategies for municipal selective waste collection schemes. **Waste Management**, v. 59, p. 3–13, jan. 2017. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.10.044
- FERRONATO, N.; PORTUGAL ALARCÓN, G. P.; GUISBERT LIZARAZU, E. G.; TORRETTA, V. Assessment of municipal solid waste collection in Bolivia: Perspectives for avoiding uncontrolled disposal and boosting waste recycling options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 167, p. 105234, abr. 2021. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105234

FUNASA - Fundação Nacional da Saúde. **Manual de Saneamento**. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506>>. Acesso em: 5 fev. 2025.

GALLARDO, A.; CARLOS, M.; PERIS, M.; COLOMER, F. J. Methodology to design a municipal solid waste pre-collection system. A case study. **Waste Management**, v. 36, p. 1–11, fev. 2015. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.11.008

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades: Perdígão. Censo 2022.** 2022a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/perdigao/pesquisa/10102/122229>>. Acesso em: 5 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha de Setores Censitários**, 2022b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html>>. Acesso em: 5 set. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Tabela 9923 - População residente, por situação do domicílio**, 2022c. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/9923>>. Acesso em: 1 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Agregados por setores básico**, 2022d. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>>. Acesso em: 1 fev. 2025.

INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS - IDE SISEMA. **Perdígão**. Disponível em: <<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>>. Acesso em: 7 set. 2024.

KANCHANABHAN, T.; ABBAS MOHAIDEEN, J.; SRINIVASAN, S.; KALYANA SUNDARAM, V. L. Optimum municipal solid waste collection using geographical information system (GIS) and vehicle tracking for Pallavapuram municipality. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, v. 29, n. 3, p. 323–339, 14 mar. 2011. DOI: 10.1177/0734242X10366272

KHAN, D.; SAMADDER, S. Allocation of solid waste collection bins and route optimisation using geographical information system: A case study of Dhanbad City, India. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, v. 34, n. 7, p. 666–676, 19 jul. 2016. DOI: 10.1177/0734242X16649679

LEITE, A. P.; NOGUEIRA, T. H. L.; EDWIGES, T.; RECH, A. L. Limitações do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos em município de pequeno porte. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 2, p. 382–396, 30 set. 2017. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0030

LIMA, R. DA S.; LIMA, J. P.; SILVA, T. V. D. V. Roteirização em arcos com um sistema de informações geográficas para transportes: aplicação em coleta de resíduos sólidos urbanos. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 2, p. 180–196, jun. 2012. DOI: 10.1590/S2238-10312012000200010

OSGEO. **QGIS, Versão 3.40.3**, 2024. Disponível em: <<https://qgis.org/download/>>. Acesso em: 5 fev. 2025.

PMP – Prefeitura Municipal de Perdígão. Lei 1.696 de 09 de agosto de 2018. Aprova o Plano Municipal de Saneamento Básico e dá outras providências. **Diário Oficial**, 2018.

SALLEM, R.; SERBAJI, M. M.; ALAMRI, A. M.; KALLEL, A.; TRABELSI, I. Optimal routing of household waste collection using ArcGIS application: a case study of El Bousten

district, Sfax city, Tunisia. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 11, p. 1038, 31 jun. 2021. DOI: 10.1007/s12517-021-07265-2

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEMAENTO- SNIS. **Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2023a. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>>. Acesso em: 8 set. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEMAENTO- SNIS. **Série histórica. Resíduos Sólidos: Perdigão**. Brasília, 2023b. Disponível em: <<https://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 8 set. 2024.

TEIXEIRA, C. A.; AVELINO, C.; FERREIRA, F.; BENTES, I. Statistical analysis in MSW collection performance assessment. **Waste Management**, v. 34, n. 9, p. 1584–1594, set. 2014. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.04.007

TURCI, L. F. R.; SANCINETTL, G. P.; BRAGA, D. S.; CARNIETTO, F.; JUAZEIRO, L. H. S.; REIS, C. G. DOS. PROJETO PILOTO DE PONTO DE ENTREGA VOLUNTÁRIA DE MATERIAL RECICLÁVEL EM BAIRRO DO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS-MG. **Revista Brasileira Multidisciplinar (ReBram)**, v. 22, n. 1, p. 193, 2019. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2019.v22il.587

VU, H. L.; NG, K. T. W.; BOLINGBROKE, D. Parameter interrelationships in a dual phase GIS-based municipal solid waste collection model. **Waste Management**, v. 78, p. 258–270, ago. 2018. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.05.050

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – CERTIFICADOS

A seguir, os certificados de participação em seminários e congressos utilizando dados produzidos pela pesquisa.

Figura 22: Participação do VIII Seminário dos Estudantes de Pós-Graduação (SEP)



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos. C. F.

Figura 23: Participação A no 7º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos. C. F.

Figura 24: Participação B no 7º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos. C. F.

Figura 25: Participação no XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental



Fonte: dos Santos; A. E., Lemos. C. F.

## APÊNDICE B: DETALHAMENTO DO PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO

Atendendo a um dos requisitos exigidos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para a conclusão dos cursos de Mestrados Profissionais, como Produto Técnico-Tecnológico (PTT), foi elaborado um manual para auxiliar o planejamento e a implantação do serviço de coleta seletiva em municípios de pequeno porte. Os usos e aplicações dessa tipologia de documento alinham-se à proposta da pesquisa e ainda permitem direcionar e auxiliar na instalação dessa atividade.

Direcionado aos gestores municipais, principalmente a aqueles responsáveis pelos serviços de saneamento, o manual tem como objetivo orientar e propor uma linha metodológica que direcione o dimensionamento e a implantação da coleta seletiva em municípios de pequeno porte.

Além de capa, sumário, listas de imagens, de figuras e de tabelas, introdução, objetivos e referencial teórico, o conteúdo do manual foi dividido e agrupado em 4 seções, para melhor compreensão e produção das informações necessárias para o dimensionamento do serviço. As quatro etapas são: diagnóstico, planejamento, implantação e operação, e monitoramento.

A etapa de diagnóstico consiste, principalmente, no direcionamento para quais dados e informações sobre a cidade deverão ser reunidos. Desse modo, cientes da importância de se conhecer a população local atual e futura, de acordo com o horizonte de projeto, o manual indica os principais métodos de projeção populacional. Outro fator crucial é identificar qualitativa e quantitativamente os resíduos sólidos urbanos gerados na municipalidade. Assim, o manual instrui sobre a realização do ensaio de gravimetria e determinação da massa específica dos resíduos, detalhando as etapas de amostragem, pesagem e análise dos dados. Além disso, fornece meios de identificação da geração diária total e *per capita* de resíduos. Também é indicada a necessidade da avaliação das condições dos caminhões coletores e da quantidade de colaboradores à disposição, além das instalações físicas e maquinário. Para a etapa de criação do banco de dados para o diagnóstico, é apresentado um modelo de questionário de modo a direcionar e facilitar o processo de recolhimento de informações.

Em seguida, o manual direciona o processo de planejamento da coleta. Dessa forma, apresentam-se as modalidades de coleta seletiva, bem como suas peculiaridades, para que cada gestor consiga identificar qual delas melhor se adequa à sua realidade. Após essa parte inicial, é detalhado o processo de dimensionamento dos equipamentos e das rotas de coleta. O manual

instrui sobre o dimensionamento do número de PEVs necessário, o cálculo do número de roteiros e caminhões requeridos, além dos processos de otimização das rotas de coleta.

A terceira seção do manual instrui sobre as etapas de implantação e operação do serviço. Com isso em mente, detalha-se sobre a contratação de colaboradores (caso necessário) e o incentivo da criação de associações de catadores. Também é citado sobre a necessidade de adequação das instalações físicas para operação adequada do serviço. Caso não haja um espaço disponível, é sugerida a necessidade da compra, construção ou locação de um galpão e maquinários para a realização da segregação, pesagem e armazenamento dos materiais recolhidos para a venda. A indicação da implantação gradual da coleta seletiva é incentivada, apontando critérios para a seleção de um bairro-piloto e a posterior expansão do serviço. Essa seção também conta com instruções sobre a capacitação dos colaboradores, visando, principalmente, à segurança e saúde.

Por fim, o manual apresenta um bloco sobre o monitoramento e avaliação da coleta. São sugeridos indicadores por meio dos quais o responsável pelo serviço poderá avaliar o desempenho e a qualidade dos serviços. Por exemplo, população atendida com o serviço, porcentagem de materiais recuperados, massa de resíduos recolhidos a cada quilômetro de coleta, entre outros. E, tomando esses dados como direcionamentos, será possível realizar adequações no serviço com o objetivo de melhoria contínua.

No que se refere à linha de pesquisa do Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental – MPSTA, o referido produto e a pesquisa se inserem no segmento de Planejamento e Gestão Ambiental. Essa linha de pesquisa foca no manejo sustentável dos recursos ambientais, conciliando consumo e preservação ambiental. É notório que a coleta seletiva desempenha um papel importante na cadeia da Economia Circular, promovendo a reciclagem, além de aliviar a pressão por mais matéria-prima virgem.

Devido ao fato de o manual estar inserido em tema atual e colaborar para cumprimento de objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), ele poderá ser aplicado por diversos municípios que compartilhem das características para as quais ele foi idealizado, ou seja, municípios de pequeno porte. Cientes de que 3823 municípios brasileiros (68,64%) contam com população de até 20 mil pessoas, o manual tem um grande potencial de impacto. Cidades de pequeno porte apresentam diversas dificuldades, dentre elas, a falta de recursos financeiros e humano. A criação de um manual voltado especialmente para esses municípios tem condições de causar mudanças no cenário de gerenciamento de resíduos urbanos.

A estrutura determinada para o manual permite uma alta replicabilidade, justamente por seu objetivo em fornecer suporte e direcionamentos para que uma grande parcela de municípios brasileiros se aproxime das metas estabelecidas pela PNRS. Sua aplicabilidade resulta de seu enfoque em um problema presente em todo o país.

A pesquisa e o produto (manual) adequam e aplicam o conhecimento já consolidado. A inovação do produto reside na adaptação de práticas estabelecidas para a realidade da maioria dos municípios brasileiros.

Por fim, devido às características técnicas e científicas presentes no manual e na pesquisa, ambos podem ser caracterizados como produtos de média complexidade. As estratégias aplicadas já são consolidadas no meio científico, porém há a combinação de diversas metodologias que permitem atingir os objetivos esperados. São realizados estudos populacionais, investigações de campo e análises geoespaciais, com o objetivo de criar uma metodologia linear e objetiva.



**INSTITUTO FEDERAL**

Minas Gerais  
Campus Bambuí

# **MANUAL PARA IMPLANTAÇÃO DE COLETA SELETIVA EM CIDADES DE PEQUENO PORTE**

Diretrizes para planejamento e implantação

# **MANUAL PARA IMPLANTAÇÃO DE COLETA SELETIVA EM CIDADES DE PEQUENO PORTE**

Diretrizes para planejamento e implantação

## FICHA TÉCNICA

2025. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG).

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte, desde que a obra original seja devidamente referenciada.

### GESTORES DO IFMG:

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG - 38900-000 - [www.bambui.ifmg.edu.br](http://www.bambui.ifmg.edu.br)

REITOR DO IFMG - Prof. Dr. Rafael Bastos Teixeira

PRÓ-REITORA DE INOVAÇÃO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - Prof. Dr. Humberto Garcia de Carvalho

DIRETOR DE INOVAÇÃO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DO IFMG/BAMBUÍ – Prof. Dr. Gustavo Augusto Soares

COORDENADORA DO MPSTA/IFMG BAMBUÍ - Prof. Dra. Ana Cardoso Clemente Ferreira  
Filha de Paula

### AUTORES

Antônio Eduardo dos Santos (Aluno)

Carlos Fernando Lemos (Orientador)

Ariane Flávia do Nascimento (Coorientadora)

## APRESENTAÇÃO

Este documento é uma produção técnica oriunda da dissertação “Diagnóstico Situacional e Projeto de Coleta Seletiva para Município de Pequeno Porte” apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Cientes de que municípios de pequeno porte enfrentam escassez de recursos financeiros e humanos, este manual tem como objetivo fornecer diretrizes para o planejamento, diagnóstico, dimensionamento, implantação e monitoramento da coleta seletiva, visando à sua viabilidade e eficiência.

Ao longo do manual, são apresentados os procedimentos para a realização do diagnóstico, abrangendo tanto a consulta a bases de dados oficiais quanto a coleta de informações em campo e a execução dos principais testes aplicáveis à coleta seletiva. Em seguida, são descritas as verificações e dimensionamentos necessários para o planejamento do serviço, incluindo a utilização de *softwares* e *plugins* gratuitos que podem ser empregados no processo.

A etapa de implantação é abordada com a criação de cenários, permitindo a otimização dos investimentos disponíveis. São também sugeridas ações para mobilização social e capacitação das equipes de coleta. Além disso, recomenda-se a aplicação do Ciclo PDCA, uma metodologia voltada à melhoria contínua do programa e sua eficiência operacional.

Por fim, o manual propõe indicadores de avaliação e monitoramento, essenciais para a geração de dados e informações que subsidiam a tomada de decisão, possibilitando ajustes estratégicos no programa de coleta seletiva.

Este documento representa um guia técnico geral, e recomenda-se que gestores municipais avaliem a necessidade de adaptações conforme as especificidades locais.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de separação dos resíduos .....	126
Figura 2: Composição gravimétrica dos RSU no Brasil .....	127
Figura 3: Informações que integram a rede de geodados .....	130
Figura 4: Direcionamento para criação dos cenários de implantação da coleta .....	132
Figura 5: PEV instalado ao lado de um posto de combustível em João Monlevade/MG...	136
Figura 6: Instalação do <i>plugin</i> ORS Tools.....	138
Figura 7: Configuração do ORS Tools.....	139
Figura 8: Seleção dos pontos de coleta .....	140
Figura 9: Pontos selecionados para cálculo da rota de coleta .....	141
Figura 10: Aplicação do Ciclo PDCA na coleta seletiva .....	148

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estimativa da geração <i>per capita</i> de acordo com a população .....	124
Quadro 2: Categorias dos RSU .....	125
Quadro 3: Peso específico dos resíduos recicláveis .....	134

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	122
DIAGNÓSTICO .....	123
Determinação da geração <i>per capita</i> .....	124
Composição gravimétrica .....	124
Geração <i>per capita</i> de recicláveis .....	127
Peso específico aparente .....	128
Infraestrutura atual .....	128
PLANEJAMENTO E DIMENSIONAMENTO DA COLETA.....	129
Rede de dados geoespaciais .....	130
Definição das áreas de projeto .....	131
Criação de cenários de implantação.....	132
Estudo populacional.....	133
Dimensionamentos e distribuição dos PEVs .....	134
Dimensionamento e otimização das rotas utilizando SIG.....	137
Definição do cronograma de coleta e da frota de caminhões coletores .....	142
IMPLANTAÇÃO DA COLETA SELETIVA.....	144
Mobilização social .....	145
Adequação da estrutura física .....	146
Capacitação da equipe .....	147
Implantação e expansão da coleta seletiva .....	147
Comercialização dos Recicláveis .....	149
MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO .....	150
Indicadores de produção.....	151
Avaliação periódica .....	152
CONCLUSÃO .....	153
REFERÊNCIAS .....	154

APÊNDICES .....156

    APÊNDICE I – Questionário para levantamento de informações pertinentes à coleta seletiva .....156

## INTRODUÇÃO

A destinação ambientalmente adequada ainda é um grande problema no que tange ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. Somente no ano de 2023, foram gerados 81 milhões de toneladas de RSU, entretanto apenas 58,5% foram destinados corretamente. No que se refere à reciclagem, apenas 6,7 milhões de toneladas de material seco foram desviados e encaminhados para centros de reciclagem, o que corresponde a 8,3% do total de resíduos gerados no ano (ABREMA, 2024).

Apesar de prevista pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei 12.305 (Brasil, 2010), a coleta seletiva ainda está longe de ser uma realidade em todos os municípios brasileiros. De acordo o Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, publicado em 2023, somente em 1.630<sup>1</sup> municípios brasileiros foi identificada ao menos alguma iniciativa relacionada à coleta seletiva (SNIS, 2023).

Essa realidade se deve, em grande parte, aos elevados custos de implantação da coleta seletiva em comparação com a coleta convencional, mesmo havendo potencial retorno financeiro (Campos-Alba *et al.*, 2021). Esses custos estão associados a diversos fatores, como densidade populacional, interesse turístico, nível de escolaridade, topografia, produção de resíduos, estrutura viária, método de coleta e distância de transporte (Guerrini *et al.*, 2017).

Além disso, a instalação da coleta seletiva, frequentemente, demanda a aquisição de equipamentos, reformas e adaptações em estruturas existentes ou até mesmo a construção de usinas de triagem, além do aumento do corpo de colaboradores. Nesse contexto, os municípios de pequeno porte, que representam 68,64% das cidades brasileiras<sup>2</sup> (IBGE, 2024), frequentemente enfrentam dificuldades devido à escassez de recursos financeiros e humanos, o que inviabiliza a implantação desse serviço (Leite *et al.*, 2017). MONTEIRO *et al.* (2001) relatam que o maior desafio para o desenvolvimento dos programas de reciclagem é a garantia de sua autossustentabilidade econômica.

Diante desse cenário, o presente manual tem como objetivo apresentar uma metodologia que abrange os processos de planejamento, projeto e implantação da coleta seletiva, com foco em municípios de pequeno porte, permitindo a criação de um sistema adequado às condições locais.

---

<sup>1</sup> O Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, publicado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, em 2023, reuniu informações de 5.060 municípios, o que representa 90,8% dos municípios brasileiros.

<sup>2</sup> Segundo dados do IBGE, publicados em 2024, 3.823 municípios brasileiros abrigavam até 20 mil habitantes.

## DIAGNÓSTICO

A etapa de diagnóstico é essencial para determinação dos métodos de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e para a garantia de uma abordagem adequada ao contexto local. Esse processo ocorre a partir do levantamento de dados e informações acerca do sistema em utilização no que se refere à gestão e manejo dos resíduos sólidos.

Dentre seus objetivos, podem-se listar:

- **Avaliação da situação atual:** por meio do levantamento de informações, é possível compreender a real dimensão dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos em execução no local de projeto. São identificados os fluxos dos resíduos, ou seja, qual o tratamento aplicado para cada tipologia, a geração *per capita* e a composição gravimétrica dos resíduos gerados, bem como as infraestruturas, equipamentos e equipes alocadas nesses serviços, entre outros aspectos.
- **Identificação de problemas e oportunidades:** a identificação de problemas, como ineficiência da coleta, infraestrutura inadequada, áreas desassistidas pelos serviços e baixa adesão da população, auxilia no direcionamento de esforços e recursos, garantindo a execução eficiente dos serviços para toda a população. Esse processo também pode indicar oportunidades, como a possibilidade da organização dos catadores de recicláveis e a criação de novos postos de trabalho.
- **Rede de informações para tomada de decisão:** a consolidação das informações coletadas possibilita a criação de uma base sólida de dados, fundamental para subsidiar o planejamento e dimensionamento dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos.

Diante disso, esta etapa do manual descreve a metodologia para a realização das principais análises necessárias ao planejamento e implementação da coleta seletiva.

Além disso, no APÊNDICE I, baseado nas diretrizes propostas por CEMPRE (2018), é apresentado um modelo de questionário destinado aos gestores municipais, visando ao levantamento de informações essenciais ao processo de dimensionamento da coleta seletiva.

## Determinação da geração *per capita*

A geração *per capita* (GPC) corresponde à quantidade de resíduos que cada habitante produz por dia em uma determinada área. Uma das formas de determiná-la é por meio do histórico de pesagens dos resíduos destinados ao aterro sanitário. Assim, com base nesse histórico, no período analisado e na população do município, a geração *per capita* é determinada pela aplicação da Equação 1.

$$GPC \text{ (kg/hab x dia)} = \frac{\text{Massa total de resíduos (kg)}}{n^\circ \text{ dias x } n^\circ \text{ habitantes}} \quad (\text{Eq.1})$$

Para casos nos quais o município não realiza o controle de destinação dos RSU, pode-se utilizar a estimativa apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Estimativa da geração *per capita* de acordo com a população

Tamanho da cidade	População urbana (habitantes)	Geração <i>per capita</i> (kg/hab*dia)
Pequena	Até 30 mil	0,50
Média	De 30 mil a 500 mil	De 0,50 a 0,80
Grande	De 500 mil a 5 milhões	De 0,80 a 1,00
Megalópole	Acima de 5 milhões	Acima de 1,00

Fonte: Monteiro *et al.* (2001)

## Composição gravimétrica

A composição gravimétrica corresponde ao percentual de cada tipologia de resíduo em relação à massa total da amostra analisada. A sua definição exige planejamento e realização de ensaios de determinação gravimétrica.

No que compete ao planejamento, uma vez que, em cidades de pequeno porte, não há uma separação clara entre bairros comerciais, industriais e residenciais (classe alta, média e baixa), os resíduos coletados tendem a não apresentar grandes variações entre um bairro e outro. Além disso, devido ao tamanho reduzido dos bairros, muitas vezes, o caminhão coletor, em uma única rota, recolhe resíduos de mais de um bairro. Dessa forma, os resíduos, ao chegarem à área de descarte, já apresentam uma grande diversidade de materiais.

Entretanto, a geração de resíduos pode variar conforme o dia da semana, feriados ou finais de semana. Diante disso, recomenda-se a execução do teste em diferentes dias com características distintas. Por exemplo, sugere-se a realização em cinco dias, sendo três dias úteis, um feriado e um final de semana (caso haja coleta nesse período). Além disso, indica-se a utilização de resíduos recolhidos por rotas que atendam diferentes áreas da cidade.

No que diz respeito à realização do teste, primeiramente, o montante de resíduos deverá ser disposto sobre uma lona, em local plano, seco e protegido de intempéries. O primeiro passo é remover todo o material do interior das embalagens, como sacos, sacolas e caixas. Logo após, o material deverá ser homogeneizado. Durante todas as etapas do ensaio, é fundamental que os profissionais utilizem Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados, para garantir a segurança.

Após a homogeneização do material, dá-se início ao processo de quarteamento, segundo as orientações da NBR 10.007 (ABNT, 2004). Neste processo, o material é dividido em quatro partes iguais, selecionando-se duas partes diagonais e descartando as demais. As partes selecionadas deverão ser novamente reviradas, homogeneizadas e subdivididas em quatro partes iguais, repetindo-se o processo até se obter um volume final de 1 m<sup>3</sup>. Para garantir esse volume, podem ser utilizados quatro tambores metálicos de 0,25 m<sup>3</sup> cada, para acondicionar a amostra necessária para o ensaio. É importante, ao armazenar os resíduos no interior dos tambores, evitar compactá-los, de modo a evitar interferências na determinação do peso específico aparente.

Posteriormente, o material deverá ser separado em 15 categorias diferentes (Quadro 2), seguindo as orientações fornecidas pela (FEAM, 2017), conforme Figura 1.

Quadro 2: Categorias dos RSU

Categoria	Exemplos
Resto de comida	Restos alimentares, cascas de legumes e frutas
Poda	Podas de árvores, galhos, flores, grama
Plástico	Sacolas em geral, sacos, garrafas PET, recipientes de produtos de limpeza, isopores, látex, sacos de rafia, utensílios de cozinha
Papel e papelão	Revistas, jornais, cadernos, livros, pastas, embalagens, caixas
Vidro	Copos, garrafas de bebidas, pratos, espelho, embalagens de produtos de limpeza, embalagens de produtos de beleza, embalagens de produtos alimentícios
Metal ferroso	Palha de aço, alfinetes, agulhas, embalagens de produtos alimentícios
Metal não ferroso	Latas de bebidas, restos de chumbo, fiação elétrica, restos de cobre, painéis de alumínio
Pedra, terra, louça e cerâmica	Pratos, xícaras, entulhos, tijolos, terra, pedras, cascalho, vasos de flores
Madeira	Tábuas, caixas, palitos de picolé e fósforo, móveis, lenha
Couro e borracha	Sapatos, mochilas, cintos, balões, bolsas de couro, tapetes
Têxtil	Roupas, cobertores, tecidos, bolsas de pano, aparas
Contaminante biológico	Medicamentos, cotonete, papel higiênico, curativos, gases e panos com sangue, fraldas descartáveis, absorventes higiênicos, seringas, lâminas de barbear, cabelos e pelos, luvas
Contaminante químico	Lâmpadas, inseticidas, colas em geral, cosméticos, pilhas e baterias, embalagens pressurizadas, canetas com carga, papel carbono, latas com tintas, filmes fotográficos
Eletroeletrônico	Celulares, computadores e componentes, rádios, eletrodomésticos

Categoria	Exemplos
Diversos	Lápis de cera, embalagens metalizadas, giz, pontas de cigarro, rolhas, cartões de crédito, velas de cera, restos de sabão e sabonete, carvão, sacos de aspirador de pó, lixas e outros materiais de difícil identificação

Fonte: FEAM (2017)

Figura 1: Processo de separação dos resíduos



Fonte: dos Santos, A. E.; Lemos, C. F.; Nascimento, A. F, 2025

Após a segregação, os materiais deverão ser armazenados em recipientes identificados para cada tipologia de resíduo e, subsequentemente, pesados. Para determinar a

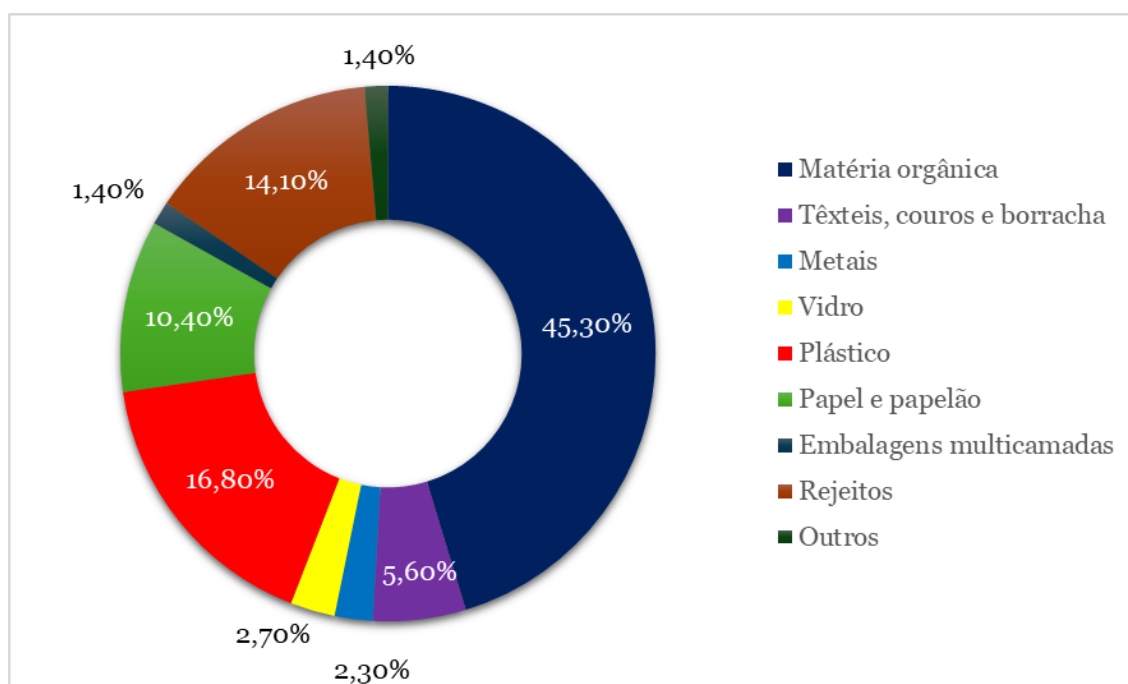
representatividade de cada fração em relação ao total, utiliza-se a razão entre a massa de cada fração e a massa total da amostra, conforme Equação 2:

$$\text{Fração (\%)} = \frac{\text{Peso de cada fração (kg)}}{\text{Peso total da amostra (kg)}} \times 100 \quad (\text{Eq.2})$$

Após esse processo, os dados são tabulados e analisados, permitindo a construção de um gráfico representando a composição gravimétrica dos resíduos gerados no município. A título de exemplo, a ABRELPE, em 2020, publicou a estimativa da composição gravimétrica dos resíduos gerados no Brasil, apresentada na Figura 2.

Como análise complementar, associando a geração *per capita* e a composição gravimétrica, é possível determinar a geração *per capita* de cada tipologia de resíduo. Essa análise é essencial para o planejamento da coleta seletiva, pois define a quantidade diária de material reciclável gerado.

Figura 2: Composição gravimétrica dos RSU no Brasil



Fonte: (ABREMA, 2020)

## Geração *per capita* de recicláveis

A geração *per capita* de recicláveis consiste na geração diária de resíduos recicláveis por cada habitante. Essa determinação é essencial para o dimensionamento dos equipamentos e rotas da coleta seletiva.

Para isso, utiliza-se a associação entre a geração *per capita* determinada anteriormente e a composição gravimétrica obtida a partir do ensaio realizado, conforme Equação 3.

$$\text{GPC}_{\text{recicláveis}} = \text{GPC} \times \text{comp. grav. recicláveis} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

- GPCrecicláveis = geração *per capita* de recicláveis (kg/habxdia);
- GPC = geração *per capita* total do município;
- Comp.grav.recicláveis = representatividade de cada resíduo determinada pela composição gravimétrica.

## Peso específico aparente

O peso específico aparente é caracterizado pela relação entre a massa do resíduo solto, sem qualquer compactação, e o volume que ele ocupa. Para sua definição, somam-se as massas aferidas no processo de determinação gravimétrica, dividindo-as pelo volume total analisado, conforme Equação 4.

$$\text{Peso específico aparente (kg/m}^3\text{)} = \frac{(\text{Peso total dos resíduos} - \text{peso dos tambores}) \text{ (kg)}}{\text{Volume total (m}^3\text{)}} \text{ Eq.(4)}$$

## Infraestrutura atual

O diagnóstico da infraestrutura atual consiste no levantamento das informações relacionadas à frota de veículos, equipamentos, equipe de coleta e edifícios à disposição dos serviços de manejo e limpeza urbana. Essa análise permite verificar a necessidade de aquisição de novos caminhões e equipamentos, bem como a contratação de novos funcionários para compor a equipe responsável pela coleta. Também são identificados possíveis locais para a estruturação da usina de triagem, além da avaliação da necessidade de locação, construção ou reforma de um edifício já existente para tal finalidade.

Além disso, avalia-se a qualidade das vias e dos pontos de acondicionamento de resíduos distribuídos pela cidade. Também é verificada a existência de catadores autônomos no município e a possibilidade de estruturação de uma associação de catadores.

## PLANEJAMENTO E DIMENSIONAMENTO DA COLETA

A etapa de planejamento e dimensionamento da coleta consiste no desenvolvimento e concepção de todos os processos envolvidos na implantação dos serviços de coleta seletiva, visando, principalmente, à eficiência e à sustentabilidade. É essencial que essa etapa seja planejada de forma a garantir que os sistemas dimensionados sejam adequados às características locais, levando em consideração suas particularidades e desafios.

Dessa forma, é criada uma **rede de informações geoespaciais** para garantir a correta alocação das infraestruturas e a elaboração das rotas de coleta. Além disso, por meio desses dados, o território municipal é setorizado, criando-se **áreas de projeto** que facilitam a análise e o dimensionamento das rotas. A delimitação dessas áreas também direciona o desenvolvimento dos **estudos populacionais**, permitindo uma análise mais precisa por meio da regionalização do território.

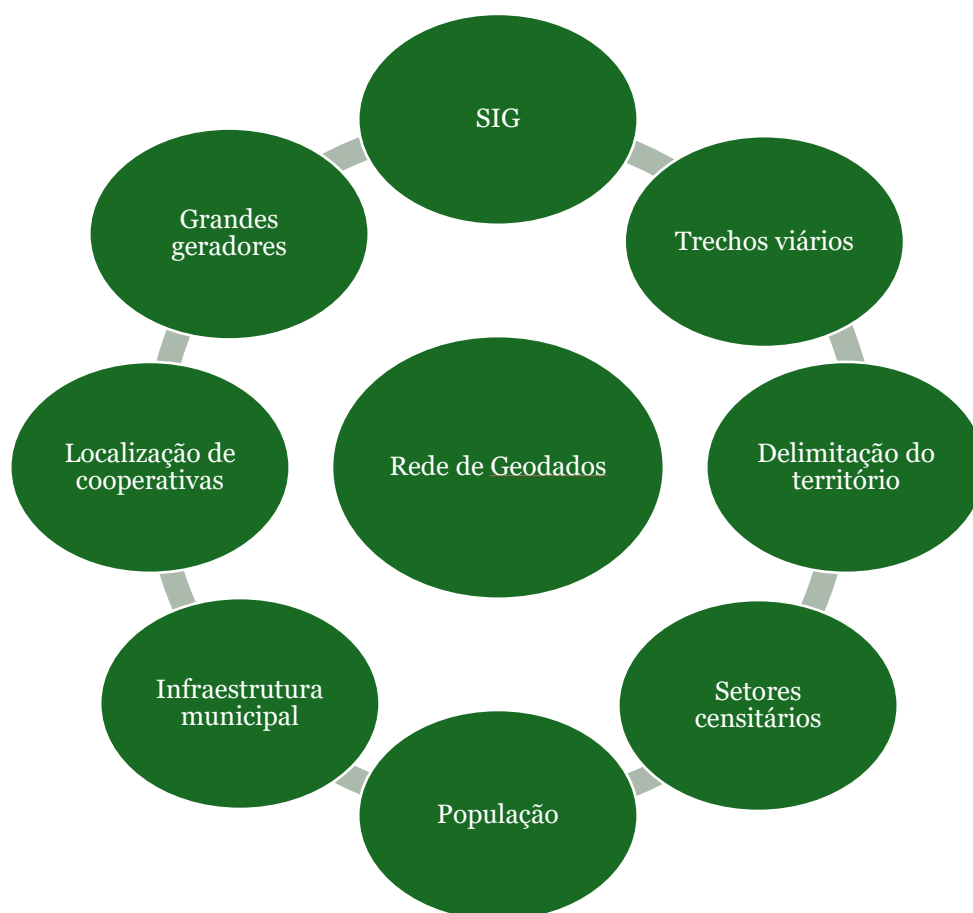
Nessa etapa, também são definidos os objetivos e as metas da coleta seletiva, possibilitando a **criação de cenários de implantação**. Esses cenários permitem uma implantação escalonada da coleta seletiva, garantindo a adequação de possíveis incompatibilidades do projeto e a correta alocação dos serviços.

A partir das informações coletadas e definidas até o momento, é efetuado o **dimensionamento dos PEVs e das rotas de coleta**, que, posteriormente, é otimizado utilizando-se programas GIS. Por fim, nesta etapa, são definidos o **cronograma de coleta e a frota de caminhões coletores necessária**.

## Rede de dados geoespaciais

A rede de geodados, ou rede de dados geoespaciais, é um conjunto de informações organizadas em um programa SIG (Sistema de Informação Geográfica), conforme exemplificado na Figura 3. Esse conjunto de informações e características geográficas locais, estruturadas em uma rede, possibilita a solução de variadas situações, além de permitir considerar restrições e hierarquias (Erfani *et al.*, 2017).

Figura 3: Informações que integram a rede de geodados



Fonte: dos Santos, A. E.; Lemos, C. F.; Nascimento, A. F, 2025

De forma a reunir essas informações, buscam-se os dados em fontes oficiais, a saber:

- Delimitação da extensão territorial do município, disponibilizada pelo IBGE Estatística;
- Delimitações dos setores censitários, disponibilizados pelo IBGE Geociências;
- População residente em cada setor censitário, disponibilizado pelo IBGE Geociências;
- Principais trechos viários, disponibilizados pelo IDE SISEMA.

Além dessas informações, alguns dados georreferenciados precisam ser coletados em campo, tais como:

- Local de destinação final dos resíduos produzidos no município;
- Áreas de transbordo (se existir);
- Usina de triagem (se existir);
- Cooperativas de reciclagem (se existir);
- Grandes geradores;
- Garagem da Prefeitura Municipal.

Com base nesses dados, programas SIG, como o QGIS (OSGeo, 2024), são utilizados para organizá-los e estruturar a rede de informações. Essa rede auxiliará na delimitação das áreas de projeto, na distribuição dos PEVs e, principalmente, na definição e otimização das rotas de coleta.

## Definição das áreas de projeto

As áreas de projeto constituem a setorização do território do município com objetivo de otimizar o dimensionamento da coleta seletiva, garantindo a adequação do serviço às características locais. Essa divisão permite considerar a distribuição populacional, as condições de acesso aos bairros e a topografia local.

Para a divisão do território municipal em áreas de projeto, recomenda-se, em primeira instância, a utilização das delimitações dos setores censitários, pois, ao respeitar seus limites, torna-se mais prático realizar os estudos populacionais para cada setor, visando estimar a população em cada região.

Em segunda instância, consideram-se as características locais, como os trechos viários e a topografia, permitindo agrupar bairros e regiões com condições geográficas semelhantes e acessos compartilhados. Essa abordagem contribui diretamente para a otimização das rotas de coleta.

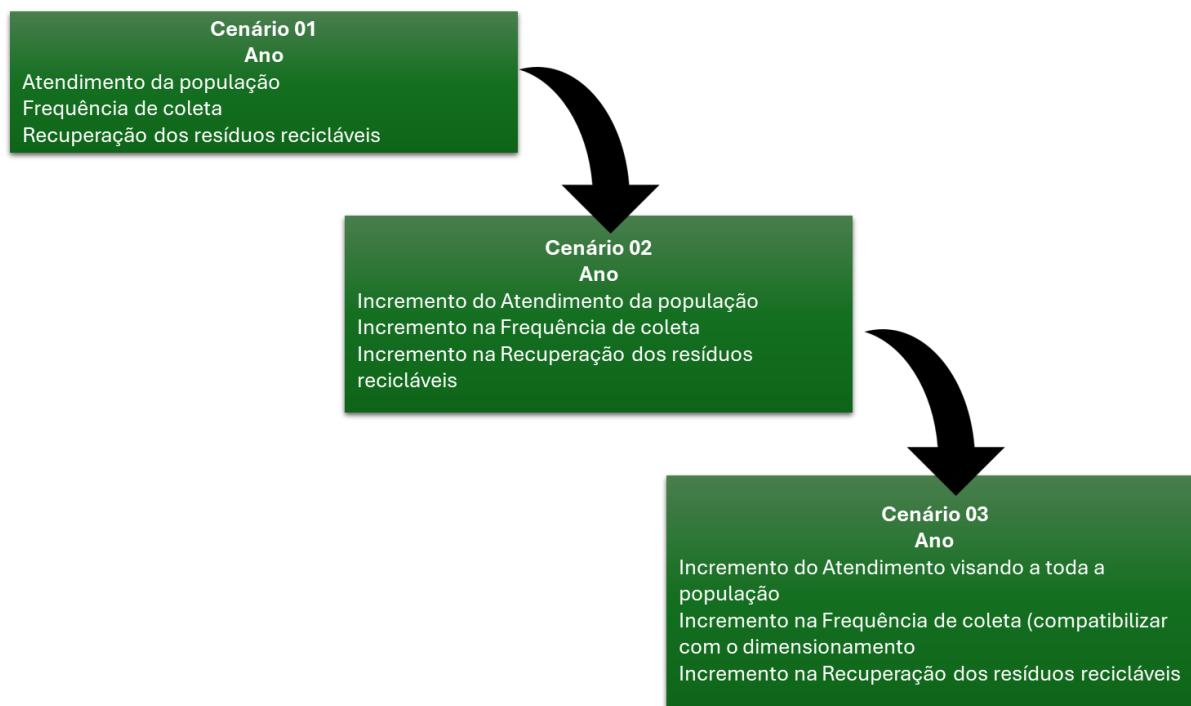
Por fim, é essencial separar as áreas urbanas das áreas rurais. Devido às diferenças significativas na densidade populacional e, conseqüentemente, na geração diária de resíduos, é fundamental que essas regiões sejam delimitadas de forma distinta. Essa diferenciação possibilita uma distribuição mais eficiente dos equipamentos de coleta, como os PEVs.

## Criação de cenários de implantação

A criação de cenários de implantação tem como objetivo viabilizar a implantação escalonada e progressiva da coleta seletiva, garantindo a alocação controlada de recursos públicos e possibilitando ajustes conforme eventuais desafios identificados ao longo do processo.

Para a construção desses cenários, podem ser consideradas diferentes combinações de condições a serem implementadas, conforme exemplificado na Figura 4.

Figura 4: Direcionamento para criação dos cenários de implantação da coleta



Fonte: dos Santos, A. E.; Lemos, C. F.; Nascimento, A. F, 2025

Conforme apresentado, o planejamento da implantação da coleta seletiva pode iniciar atendendo toda a população desde o princípio ou, alternativamente, pode ser implementado de forma gradual, ampliando a cobertura conforme a evolução dos cenários. A mesma lógica se aplica à frequência da coleta e à parcela de resíduos recicláveis que se pretende recuperar ao longo do tempo.

Para isso, é fundamental definir metas claras para a implantação e operação da coleta seletiva. Exemplos incluem: qual a maior parcela de recuperação de recicláveis a ser alcançada; qual a cobertura máxima prevista; qual o nível desejado de segregação dos resíduos; e em que período cada meta deverá ser atingida. A delimitação de metas intermediárias, ou seja, cenários progressivos, permite um acompanhamento mais preciso da implantação.

Além disso, fatores como infraestrutura disponível no município, possibilidade de aquisição ou adequação de equipamentos e maquinários, bem como a viabilidade de implantação de usinas de triagem, devem ser cuidadosamente analisados para garantir a concretização das ações de cada cenário proposto.

## Estudo populacional

O estudo populacional tem como objetivo estimar o crescimento da população ao longo dos anos do horizonte de projeto, bem como a população final esperada. Essa estimativa possibilita prever a geração de resíduos ao longo do tempo, auxiliando no planejamento da expansão da coleta seletiva.

Como método de projeção populacional, pode-se aplicar o método geométrico. De acordo com Von Sperling (1996), ele consiste na estimativa do crescimento populacional obedecendo a uma taxa constante. É comumente empregado para projeções de curto e médio prazo, e sua aplicação é realizada por meio das Equações 5 e 6.

$$kg = \frac{\ln(P1) - \ln(P2)}{t1 - t0} \quad Eq.(5)$$

$$Pt = P0 * e^{Kg*(t-t0)} \quad Eq.(6)$$

Onde:

- Kg = taxa de crescimento;
- Po = população inicial da série de dados;
- P1 = população no ano final da série de dados;
- Pt = população para o ano estimado;
- To = ano inicial da série de dados;
- T1 = ano final da série de dados;
- T = ano estimado.

Para a consulta de dados populacionais em marcos temporais anteriores, recomenda-se a análise dos Censos mais recentes, disponibilizados pelo SIDRA (2024).

No que se refere à estimativa populacional para cada área de projeto, pode-se utilizar a proporção entre as populações de cada setor censitário. Dessa forma, ao somar a população dos setores censitários que compõem cada área, é possível determinar a população total da região. A representatividade de cada área pode ser calculada dividindo sua população pela população total do município, conforme apresentado na Equação 7.

$$\%pop.area\_proj. = \frac{\sum pop.setor}{pop.total} \quad Eq. (7)$$

Onde:

- %pop.area\_proj = representatividade da população de cada área de projeto;
- $\sum pop.setor$  = somatório da população de cada setor censitário que compõe a área de projeto;
- Pop.total = população total do município.

Por fim, considerando a representatividade populacional de cada área, pode-se estimar sua progressão ao longo do tempo, utilizando a taxa de crescimento populacional calculada e as delimitações estabelecidas nos cenários propostos.

## Dimensionamentos e distribuição dos PEVs

O dimensionamento dos PEVs inicia-se pela estimativa da geração de resíduos recicláveis a serem recolhidos pela coleta seletiva. Para isso, utiliza-se a Equação 8.

$$Q = \frac{Popfut * GPC * \%Mat}{\gamma} \quad (Eq.8)$$

Onde:

- Q = Quantidade de cada material produzido em cada área (m<sup>3</sup>);
- Popfut = População futura de cada área (hab.);
- GPC = Geração *per capita* (kg/hab.dia);
- %Mat = Representatividade do material de acordo com a composição gravimétrica;
- $\gamma$  = Peso específico do material (kg/m<sup>3</sup>).

O peso específico de cada material é fornecido pela FUNASA (2019), conforme Quadro 3.

Quadro 3: Peso específico dos resíduos recicláveis

Resíduo	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )
Papel/papelão	139
Vidro	196
Plástico	65
Metal não ferroso	89

Fonte: Adaptado de FUNASA (2019)

A estimativa de material é realizada em volume, pois os materiais recicláveis possuem baixa densidade, ou seja, apresentam pequena massa, mas grande volume. Dessa forma, o dimensionamento dos PEVs e das rotas de coleta torna-se mais preciso.

Posteriormente, por meio do método utilizado por Sallem *et al.* (2021), determina-se o número de contêineres necessário em cada uma das áreas de projeto. Esse cálculo considera a geração de resíduos recicláveis de cada área de interesse e um volume de armazenamento fixo para cada lixeira, conforme Equação 9.

$$Nc = \frac{Q}{D*V*Me*Fr} \quad (Eq.9)$$

Onde:

- Nc = Número de contêineres necessário;
- Q = Quantidade de RSU produzidos em um dia (m<sup>3</sup>/dia);
- V = Volume do contêiner (m<sup>3</sup>);
- Me = Média de transbordamento dos contêineres (%);
- Fr = Fator de frequência (relação entre os dias de produção pelo dia de coleta).

O Me corresponde ao coeficiente de multiplicação de contêineres e, segundo Gallardo *et al.* (2015), é utilizado para aumentar o volume de armazenamento dos PEVs. Caso o volume dos contêineres seja fixo, o coeficiente Me ajustará a quantidade necessária de PEVs para atender à demanda, evitando o transbordamento dos equipamentos.

No que compete ao volume dos contêineres que compõem os PEVs, recomenda-se a utilização de equipamentos com dimensões adequadas às condições de urbanização da cidade. Ou seja, para determinar o tamanho desses equipamentos, deve-se considerar a disponibilidade de espaço para sua instalação, conforme Figura 5.

Importante ressaltar que o dimensionamento dos PEVs deve ser realizado para cada um dos cenários, atendendo às metas e delimitações estabelecidas.

Figura 5: PEV instalado ao lado de um posto de combustível em João Monlevade/MG



Fonte: dos Santos, A. E.; Lemos, C. F.; Nascimento, A. F, 2025

Após dimensionamento, como critério para distribuição dos PEVs em cada área de projetos de maneira mais efetiva, recomenda-se a abordagem adotada por Ferronato *et al.* (2021) e Khan e Samadder (2016). O primeiro passo é mapear as regiões do município com maior densidade populacional, pois estas, consequentemente, apresentam maior geração de resíduos.

Com esse objetivo, utilizando os dados de setores censitários do (IBGE, 2022), como população residente e extensão territorial de cada setor, aliados a informações georreferenciadas, é possível criar um mapa de densidade populacional e categorizar as áreas de projeto.

No cenário inicial, a distribuição dos PEVs prioriza o atendimento às regiões mais densamente povoadas. Com a evolução dos cenários, os demais conjuntos de contêineres são gradativamente alocados nas áreas menos povoadas do município.

Além disso, devem-se estabelecer critérios para seleção dos locais de instalação dos equipamentos. Preferencialmente, os PEVs devem ser instalados em locais públicos e com grande trânsito de pessoas, como as praças, escolas e em espaços destinados aos serviços públicos.

## Dimensionamento e otimização das rotas utilizando SIG

O processo de dimensionamento e otimização das rotas não é linear, exigindo múltiplos ajustes e adequações até a definição de um conjunto de itinerários adequados às características locais e compatíveis com as considerações estabelecidas nos cenários. Dessa forma, o dimensionamento deve ser realizado paralelamente à elaboração das rotas e ao cálculo do tempo necessário para percorrer cada itinerário.

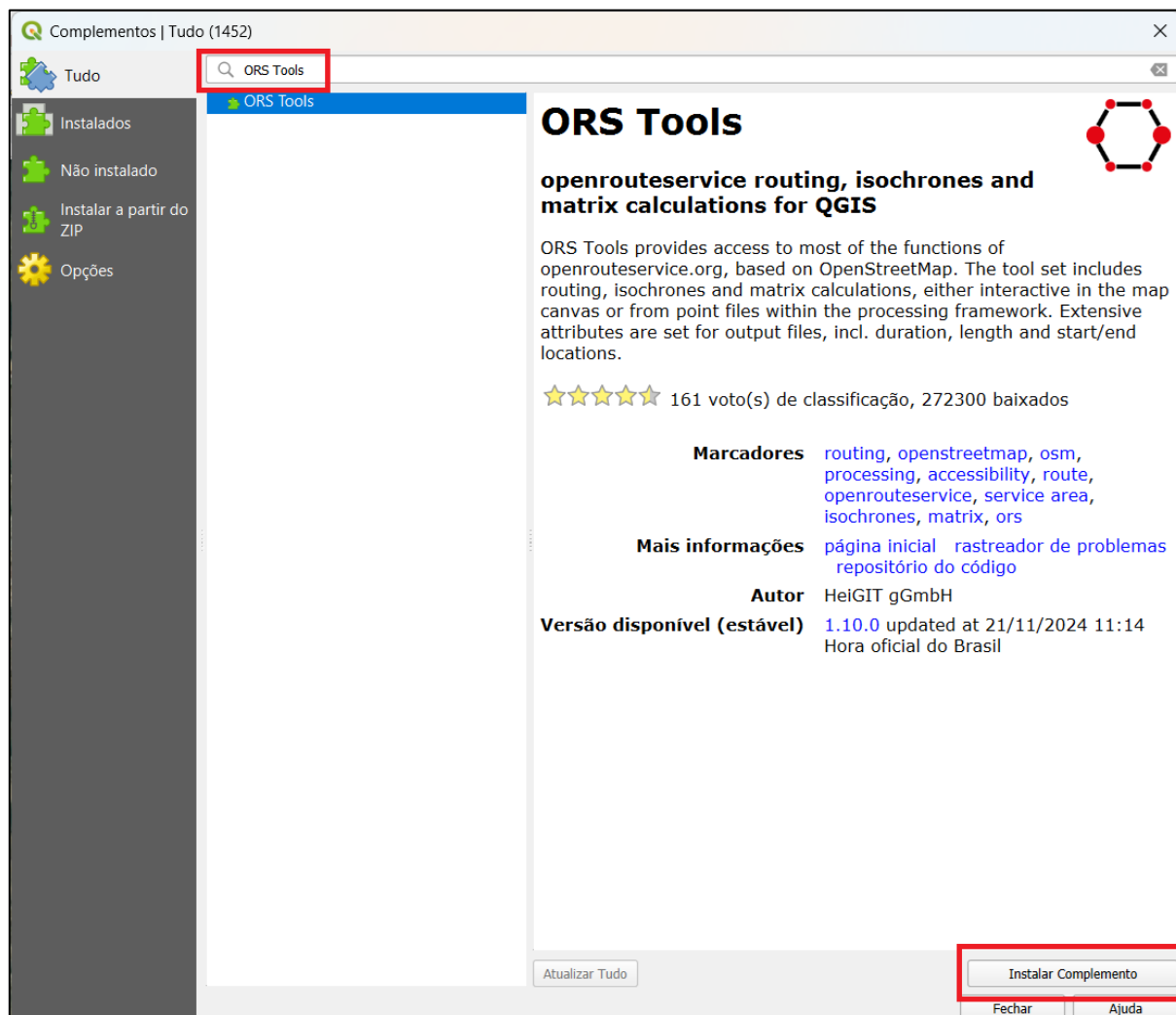
No que tange à elaboração das rotas, utilizam-se o QGIS (OSGeo, 2024) e o *plugin* ORS Tools, que permite a geração de roteiros baseados no Problema do Caixeiro Viajante. Esse problema, conforme descrito por Carvalho e Yamakami (2008), consiste na determinação da rota mais curta, que parte de um ponto inicial, percorre todos os locais de um conjunto previamente definido e retorna a um ponto final.

Assim, para a definição dos roteiros de coleta, são estabelecidos:

- O ponto de início da coleta (garagem de veículos);
- Os pontos de entrega voluntária (PEVs);
- O ponto final (área de transbordo, se houver).

Após o processamento, o *software* gera automaticamente a rota de coleta mais eficiente para cada área, garantindo que todos os PEVs sejam atendidos com o menor percurso possível.

Para utilizar o ORS Tools no QGIS, é necessário instalá-lo na interface do programa. Para isso, é preciso acessar a aba “Complementos” e, em seguida, o item “Gerenciar e instalar complementos”. Na janela que se abre, busca-se pelo ORS Tools e realiza-se a instalação, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6: Instalação do *plugin* ORS Tools

Fonte: OSGeo (2024)

Após a instalação, é necessário configurar o ORS Tools corretamente para que ele calcule a rota conforme as necessidades do projeto, como ilustrado na Figura 7.

### Passo a passo para configuração do ORS Tools

- Definição do modo de transporte
  - Seleciona-se a opção “driving-car”, que assegura que o cálculo da rota seguirá os sentidos das vias e suas restrições, considerando o trânsito de veículos automotores.
- Configuração avançada (*Advanced Configuration*)
  - Habilita-se a opção “*Traveling Salesman*”, que utiliza o Problema do Caixeiro Viajante para calcular a melhor rota entre os pontos definidos.
  - Em seguida, seleciona-se a opção “*Fix Both*”, indicando que os pontos de início e fim da rota são fixos e não podem ser otimizados.

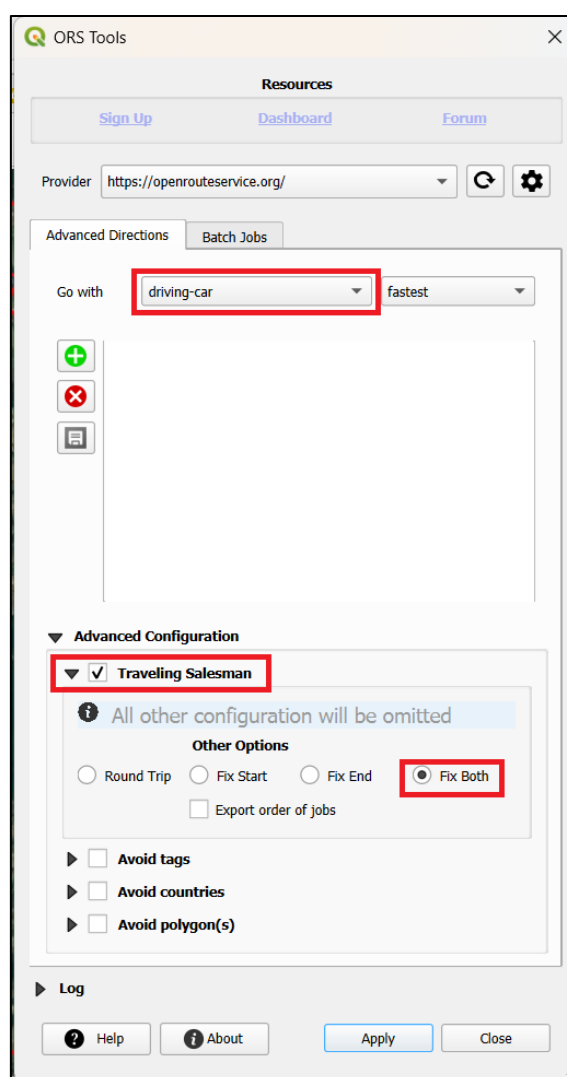
## Aplicação na coleta seletiva

No contexto da coleta seletiva, os pontos fixos representam:

- O ponto de partida: a garagem dos veículos de coleta;
- O ponto de destino: a usina de triagem ou outro local destinado ao armazenamento dos resíduos recicláveis.

Com essa configuração, o ORS Tools otimizará a rota de coleta, garantindo que todos os PEVs sejam percorridos da forma mais eficiente possível dentro dos parâmetros estabelecidos.

Figura 7: Configuração do ORS Tools



Fonte: OSGeo (2024)

Após essas configurações, procede-se à seleção dos pontos de instalação dos PEVs, conforme ilustrado na Figura 8. Para isso:

- Clica-se no botão de adicionar pontos no ORS Tools;

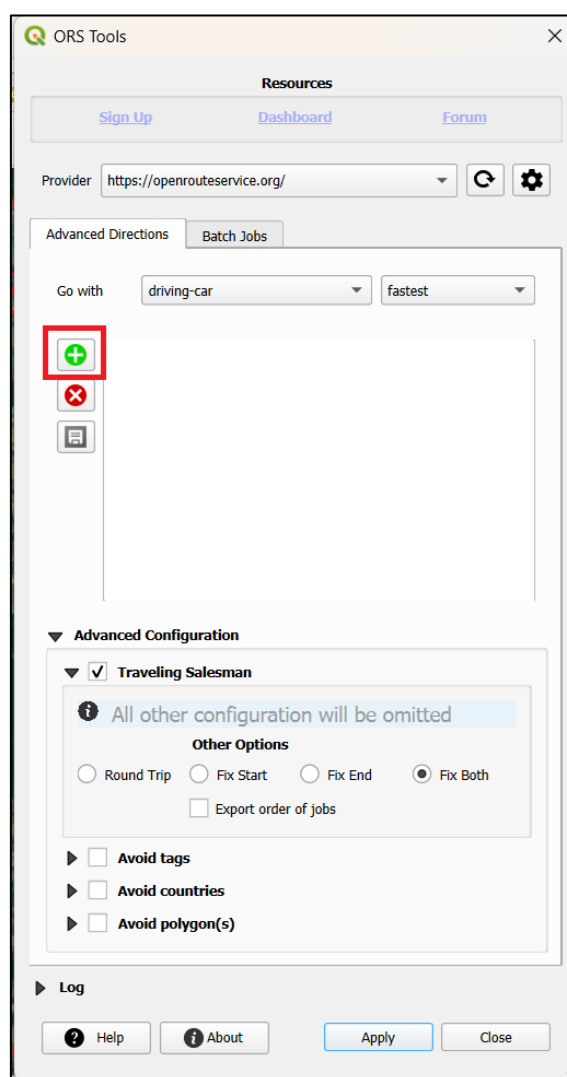
- Selecionam-se todos os pontos de coleta previamente definidos no SIG.

É fundamental lembrar que as rotas devem ser calculadas considerando-se as delimitações dos cenários, levando em conta fatores como:

- Frequência da coleta prevista para cada área;
- Capacidade do caminhão coletor, garantindo que o volume coletado esteja dentro dos limites operacionais do veículo.

Essa abordagem assegura que a logística da coleta seletiva seja otimizada, reduzindo custos operacionais e melhorando a eficiência do serviço.

Figura 8: Seleção dos pontos de coleta



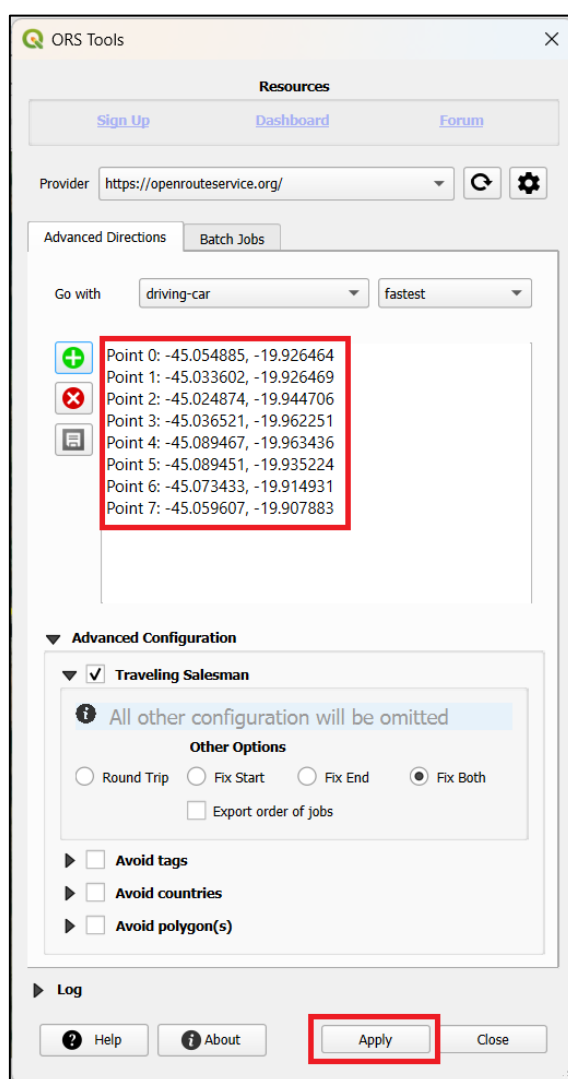
Fonte: OSGeo (2024)

Como a opção de pontos fixos para início e fim foi selecionada, é essencial que, no momento da seleção dos pontos, a seguinte ordem seja respeitada:

- Selecionar primeiro o ponto de início da rota, correspondente à garagem dos veículos de coleta;
- Selecionar os pontos intermediários, correspondentes aos PEVs definidos para o cenário analisado;
- Selecionar, por último, o ponto de destino, que representa a usina de triagem ou outro local de acondicionamento dos resíduos recicláveis.

Após a seleção de todos os pontos, o programa exibirá as coordenadas de cada um deles. Em seguida, deve-se clicar na opção "Apply" (Figura 9), permitindo que o ORS Tools processe as informações e gere um arquivo *shapefile* temporário contendo a rota otimizada. Após esse processo, a rota pode ser ajustada, se for preciso.

Figura 9: Pontos selecionados para cálculo da rota de coleta



Fonte: OSGeo (2024)

Utilizando a extensão do trajeto e o número de PEVs atendido, calcula-se o tempo necessário para percorrer todo o percurso e recolher os materiais. Para isso, é aplicada a Equação 10.

$$T_c = \frac{D}{V} * T_d + T_{pev} * PEV \quad (Eq.10)$$

Onde:

- $T_c$  = Tempo total necessário para realização do itinerário (h);
- $D$  = Distância total a ser percorrida (km);
- $V$  = Velocidade máxima de transporte (km/h);
- $T_d$  = Tempo necessário para descarregar o caminhão (h);
- $T_{pev}$  = tempo necessário para recolher o material acondicionado em cada PEV (h);
- $PEV$  = Número de PEVs atendido no roteiro (unid.).

Para aplicação da Equação 10, a velocidade das vias pode ser definida de acordo com dois critérios:

- Velocidade estabelecida pela legislação municipal para cada tipo de via;
- Velocidade média de transporte de 30 km/h, conforme o limite de velocidade para vias locais sem sinalização, segundo o Código de Trânsito Brasileiro (Brasil, 1997).

A distância percorrida é determinada com base na extensão total de cada rota planejada. Os tempos de operação adotados são:

- Tempo de descarga do caminhão: 30 minutos;
- Tempo médio de coleta dos resíduos em cada PEV: aproximadamente 15 minutos.

É fundamental que o tempo total de execução da rota não exceda as 8 horas da jornada de trabalho. Além disso, deve-se verificar se a capacidade do caminhão coletor é suficiente para armazenar todo o volume estimado da rota. Caso contrário, devem-se considerar alternativas, como dividir a rota em dois ou mais itinerários menores ou utilizar dois ou mais caminhões coletores.

## Definição do cronograma de coleta e da frota de caminhões coletores

Após a definição das rotas de coleta, da quantidade de itinerários e do tempo de execução das coletas, elabora-se o cronograma de coleta. É essencial que a distribuição das rotas ao longo da semana seja homogênea, evitando sobrecarga em determinados dias.

Com o cronograma estabelecido, é definida a quantidade de veículos coletores necessária. Nesse processo, deve-se priorizar a utilização do menor número possível de caminhões, considerando a escassez de recursos financeiros enfrentada por municípios de pequeno

porte (Leite *et al.*, 2017), que, muitas vezes, não dispõem de capacidade para aquisição de novos veículos.

Dessa forma, a otimização das rotas e do cronograma contribui para a redução de custos operacionais e para a eficiência do sistema de coleta seletiva.

## IMPLANTAÇÃO DA COLETA SELETIVA

A implantação da coleta seletiva envolve uma série de processos e ações coordenadas para garantir o sucesso do serviço. É essencial que as diretrizes definidas na etapa de planejamento e dimensionamento sejam atendidas, principalmente no que se refere aos critérios operacionais e de expansão da coleta.

Um dos principais desafios para a efetivação da coleta seletiva é a participação da população, pois a separação dos resíduos na fonte depende de mudanças nos hábitos dos moradores. Dessa forma, é essencial que se realizem ações contínuas de **mobilização social** durante todo o processo de implantação e execução do serviço.

Além do engajamento comunitário, a **adaptação da infraestrutura urbana** também se faz necessária. Isso inclui:

- Instalação dos PEVs em locais estratégicos;
- Construção ou reforma de uma usina de triagem para o processamento dos recicláveis;
- Aquisição de caminhões adaptados para a coleta seletiva.

A **capacitação da equipe** é outro fator crítico para a eficiência do serviço. Treinamentos sobre segregação adequada dos resíduos, manuseio seguro dos materiais e logística otimizada garantem tanto a segurança dos trabalhadores quanto a qualidade dos materiais recuperados.

Por fim, considerando-se que um dos principais objetivos da coleta seletiva é a **comercialização dos recicláveis**, torna-se indispensável mapear o comércio local e identificar potenciais compradores, de modo a desenvolver uma logística eficiente para a destinação dos resíduos.

## Mobilização social

De acordo com (CEMPRE, 2018), a efetividade da coleta seletiva está diretamente associada aos esforços e investimentos realizados em ações direcionadas à conscientização e sensibilização da população. Ainda segundo os autores, quanto maior a participação voluntária em programas de coleta seletiva, menor é o custo total para os cofres públicos. Dessa maneira, são necessários o planejamento cuidadoso e a execução contínua das atividades de mobilização social.

Por esse motivo, indicam-se algumas ações que podem ser desenvolvidas junto a comunidades:

- Desenvolvimento de campanhas de comunicação e sensibilização:
  - Criação de uma identidade visual e *slogan* para a campanha auxilia no processo de familiarização da população ao programa;
  - Distribuição de materiais informativos (*folders*, cartazes, adesivos) com ilustrações didáticas sobre quais são os resíduos recicláveis, como separá-los em casa e como acondicioná-los nos PEVs;
  - Divulgação do programa por meio das mídias sociais abrangendo conteúdos educativos. Podem ser criados pequenos vídeos, *posts* e enquetes com intuito de aumentar o engajamento e a participação popular;
  - Panfletagem e montagem de estandes em feiras e eventos comunitários visando apresentar o programa, seus benefícios e resultados.
- Educação ambiental nas escolas:
  - Realização de palestras e oficinas sobre a coleta seletiva e temas correlatos, como reciclagem e resíduos sólidos recicláveis;
  - Desenvolvimento de atividades escolares, como concursos para criação da mascote do programa e competições de recolhimento de materiais;
  - Implementação de pontos de coleta dentro das escolas, incentivando a participação ativa dos alunos e seus familiares.
- Envolvimento da Comunidade:
  - Realização de reuniões comunitárias com intuito de apresentar o programa e, depois de sua implantação, compartilhar os resultados alcançados;

- Realização de mutirões para limpeza e recolhimento dos resíduos em áreas degradadas, indicando o correto descarte dos materiais;
- Parcerias com igrejas, associações de bairro e organizações sociais para a divulgação de informações sobre o programa e incentivo à participação comunitária.
- Parcerias com instituições e comércio local:
  - Sensibilização de comerciantes e empresários locais ofertando a instalação de PEVs em seus estabelecimentos;
  - Criação e adoção de um selo verde municipal a ser concedido a estabelecimentos que adotam práticas sustentáveis e que contribuem com a coleta seletiva;
  - Conscientização de grandes geradores, como indústrias e supermercados, para que eles implantem os próprios programas de reciclagem.

## Adequação da estrutura física

A adequação da estrutura física municipal consiste em uma série de adaptações e mudanças a serem realizadas no processo de gerenciamento dos resíduos desempenhado no município, de modo a garantir a correta execução da coleta seletiva. Nesse sentido, é preciso:

- Instalação dos PEVs nos locais já definidos no processo de planejamento e dimensionamento da coleta seletiva;
- Instalação de sinalização urbana indicando a localização dos PEVs;
- Implantação das rotas de coleta conforme estruturado na etapa de planejamento e dimensionamento da coleta seletiva;
- Indicação de locais para recebimento de materiais de grandes volumes que não são comportados pelos PEVs;
- Incentivo à criação de associações e cooperativas de catadores e programas de auxílio para complemento de renda;
- Adequação da frota de veículos coletores;
- Busca de recursos públicos para aprimoramento do programa de coleta seletiva.

## Capacitação da equipe

A capacitação de toda a equipe e agentes envolvidos na coleta seletiva é importante para garantir a execução adequada dos serviços e evitar o descarte inadequado. Nesse sentido, indicam-se:

- Treinamento dos catadores e cooperativas sobre a classificação e segregação dos resíduos, técnicas de pesagem, armazenamento e comercialização dos recicláveis;
- Capacitação de motoristas e coletores sobre o correto manuseio dos resíduos, principalmente com relação ao vidro, e os protocolos de segurança;
- Instrução de agentes comunitários e líderes locais para auxiliarem no processo de interlocução com a comunidade e compartilhamento direto de informações;
- Oficinas de empreendedorismo e gestão para cooperativas visando à capacitação de agentes sobre a administração de cooperativas, acesso a programas de incentivo e linhas de crédito, e oportunidades do mercado de recicláveis;
- Capacitação de servidores e gestores municipais sobre as normas ambientais pertinentes à coleta seletiva e às diretrizes e objetivos da Política Nacional dos Resíduos Sólidos;
- Reciclagem das capacitações e promoção de encontros entre os diversos agentes envolvidos na coleta seletiva para troca de experiências e coleta de sugestões de melhoria do programa.

## Implantação e expansão da coleta seletiva

A implantação e expansão da coleta seletiva devem seguir rigorosamente as diretrizes estabelecidas na etapa de planejamento e dimensionamento da coleta seletiva. Nesse sentido, a utilização do Ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) é essencial para garantir a instalação adequada do programa, além de permitir a constante avaliação e ajustes com base em informações e dados coletados a partir de avaliações sistemáticas.

O ciclo PDCA é uma metodologia de melhoria contínua que usa a gestão de qualidade para identificar, coordenar e executar aprimoramentos em diversos processos (Ferreira e Magalhães, 2021).

Assim, a instalação e implantação da coleta seletiva são efetuadas por meio da utilização do Ciclo PDCA, conforme Figura 10.

Figura 10: Aplicação do Ciclo PDCA na coleta seletiva



Fonte: dos Santos, A. E.; Lemos, C. F.; Nascimento, A. F, 2025

A implantação da coleta seletiva, pautada no Ciclo PDCA, inicia-se na etapa de Planejamento (*Plan*), a qual compreende os processos de definição dos cenários de implantação, dimensionamento dos PEVs, otimização das rotas e a definição do cronograma e da frota.

Logo após, é a etapa de Execução (*Do*), que engloba as etapas de implantação da coleta, como a realização das ações de mobilização social e de educação ambiental, capacitação da equipe envolvida na coleta seletiva, realização das adequações necessárias na infraestrutura urbana e o início das atividades da coleta.

Posteriormente, inicia-se a etapa de Verificação (*Check*), por meio da qual é realizado o monitoramento da coleta, determinando-se a eficiência utilizando dados e informações colhidas pelos indicadores e *feedbacks* oferecidos pelos diversos agentes envolvidos no programa.

Por fim, com base nas etapas anteriores, é iniciada a etapa de Ação (*Act*), compreendida pelos ajustes eventuais nas rotas de coleta, no aprimoramento da capacitação da equipe e na intensificação da mobilização social.

Importante ressaltar que o Ciclo PDCA deve ser aplicado durante todo o processo de implantação e expansão da coleta seletiva, e não apenas durante a evolução de cenários.

## Comercialização dos Recicláveis

A existência de um mercado para a comercialização dos recicláveis é essencial para a efetividade da coleta seletiva. Nesse sentido, é importante realizar o mapeamento do mercado local e regional para identificar potenciais compradores, de modo a definir logísticas de transporte dos materiais, elaborar estratégias de valorização destes e garantir a viabilidade econômica do programa. Assim, esse processo envolve:

- Identificação de empresas ou indústrias recicladoras interessadas na compra dos materiais recicláveis;
- Mapeamento da demanda pelos diferentes tipos de resíduos recicláveis;
- Avaliação dos preços praticados no mercado, bem como das condições de venda para cada tipo de material;
- Realização de parcerias com cooperativas e associações de catadores visando fortalecer o processo de compra e venda e garantir melhores condições na comercialização dos materiais;
- Criação e implantação de incentivos fiscais com intuito de atrair empresas recicladoras (ou qualquer comprador) e estimular o comércio de recicláveis no município.

Reforça-se que, ao estruturar um mercado sólido de comercialização dos recicláveis, é possível agregar valor aos resíduos, fortalecer a economia circular local e, ainda, gerar emprego e renda para todos os envolvidos na coleta seletiva.

## MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO

O monitoramento e avaliação do desempenho da coleta seletiva são processos indispensáveis para a garantia da eficácia, evolução e expansão do serviço ao longo do tempo. Essa etapa deve ser aplicada logo após o início das atividades, a partir da criação de uma rotina de monitoramento que compreende a coleta de dados, o cálculo de **indicadores de produção** e a divulgação dos resultados.

De modo geral, o monitoramento consiste no acompanhamento sistemático das atividades relacionadas à coleta seletiva. Esse processo permite identificar problemas operacionais, implantar melhorias no programa e subsidiar a tomada de decisão por parte dos administradores. Já a **avaliação** do programa envolve a análise periódica dos resultados, comparando-os com as metas e objetivos definidos.

Além disso, o processo de avaliação periódica possibilita analisar a evolução da coleta e direcionar esforços e investimentos para sua melhoria.

## Indicadores de produção

De forma a monitorar a eficiência do programa de coleta seletiva, apontam-se os seguintes indicadores:

- Quantidade de resíduos recicláveis coletada (ton./mês) – Avalia a efetividade da separação na fonte e o crescimento do programa ao longo do tempo:

$$\text{Recicláveis coletados (ton/mês)} = \frac{\text{Total de recicláveis coletados}}{1 \text{ mês}}$$

- Recicláveis recuperados – RecRecup (%) – Mede a quantidade de materiais recicláveis recuperados com relação a todo RSU coletado na cidade:

$$\text{RecRecup (\%)} = \frac{\text{Recicláveis recolhidos} - \text{Recicláveis contaminados}}{\text{Total de RSU coletado}}$$

- Índice de contaminação dos materiais recicláveis - Cont (%) – Mede a presença de resíduos não recicláveis no material coletado, indicando a necessidade de ações educativas.

$$\text{Cont (\%)} = \frac{\text{Materiais contaminados}}{\text{Total de recicláveis recolhidos}}$$

- Custo operacional por tonelada de reciclável coletado (R\$/ton.): Avalia a viabilidade econômica do programa:

$$\text{Custo operacional (R\$/ton)} = \frac{\text{Custo total do programa}}{\text{Massa total recolhida}}$$

- Índice de eficiência das rotas (esses índices devem ser calculados por rota de coleta):
  - Quantidade de recicláveis coletada por quilômetro percorrido (kg/km):

$$\text{Rotas (kg/km)} = \frac{\text{Quantidade de recicláveis recolhidos (kg)}}{\text{Extensão total da rota (km)}}$$

- Quantidade de recicláveis coletada por tempo de execução da rota (kg/h):

$$\text{Rotas (kg/h)} = \frac{\text{Quantidade de recicláveis recolhidos (kg)}}{\text{Tempo total de execução da rota (h)}}$$

- Quantidade de recicláveis coletada pelo consumo de combustível (kg/L):

$$\text{Rotas (kg/L)} = \frac{\text{Quantidade de recicláveis recolhidos (kg)}}{\text{Consumo de combustível (kg/L)}}$$

Esses indicadores têm a finalidade de fornecer dados e informações para subsidiar processos de adequação, visando à melhoria contínua do programa. Dessa forma, recomenda-se que a coleta de dados para o monitoramento seja iniciada simultaneamente ao início da execução do programa.

## Avaliação periódica

A avaliação periódica consiste na averiguação da qualidade da execução dos serviços e pode ser realizada por diferentes formas, incluindo:

- Verificações em campo: acompanhamento das equipes de coleta para garantir o cumprimento das rotas estabelecidas;
- Análises gravimétricas periódicas: avaliação da composição dos resíduos coletados para identificar a necessidade de ajustes na coleta seletiva;
- Pesquisas de percepção pública: aplicação de questionários ou entrevistas para medir a satisfação da população e identificar dificuldades na participação;
- Análise dos indicadores de produção: monitoramento dos índices de coleta para detectar rotas improdutivas, propor ajustes nos itinerários e avaliar o uso dos PEVs, verificando a necessidade de realocação;
- Reuniões com cooperativas e agentes envolvidos: troca de informações entre catadores, gestores e demais atores do sistema para identificar desafios e propor melhorias no processo.

## CONCLUSÃO

A implantação de programas de reciclagem, como os projetos de coleta seletiva, tem potencial para gerar impactos ambientais, sociais e econômicos positivos, dentre os quais, destacam-se: redução da extração de matéria-prima virgem, aumento da vida útil dos aterros sanitários, criação de novos postos de trabalho e geração de renda para os catadores. Sabendo-se que a coleta seletiva é uma exigência da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), é fundamental que todos os municípios brasileiros se adequem e implantem esse serviço, incluindo os de pequeno porte.

A implementação do programa deve considerar as características locais, como disponibilidade de recursos, participação popular e planejamento para expansão do sistema. Entre os aspectos essenciais a serem observados, destacam-se a mobilização social e a eficiência da coleta seletiva.

O sucesso da coleta seletiva está diretamente relacionado à adesão da população. Por isso, é fundamental que campanhas e ações de educação ambiental sejam contínuas ao longo da implantação e execução do programa. Além disso, a eficiência da coleta assegura bons resultados, oferecendo uma fonte de renda estável para os catadores e diminuindo os custos municipais com o transporte e destinação final dos resíduos.

Por fim, além de ser uma exigência da PNRS, a coleta seletiva pode transformar a percepção da sociedade, promovendo uma maior conscientização ambiental, que pode influenciar positivamente diversas outras áreas (Monteiro *et al.*, 2001).

## REFERÊNCIAS

- ABREMA – ASSOSSIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.abrema.org.br/panorama/>>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- ABREMA – ASSOSSIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024**. São Paulo, 2024. Disponível em: <<https://www.abrema.org.br/panorama/>>. Acesso em: 4 jan. 2025.
- BRASIL. **Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União. Brasília, 2010. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 06 fev. 2025.
- CAMPOS-ALBA, C. M.; GARRIDO-RODRÍGUEZ, J. C.; PLATA-DÍAZ, A. M.; PÉREZ-LÓPEZ, G. The selective collection of municipal solid waste and other factors determining cost efficiency. An analysis of service provision by spanish municipalities. **Waste Management**, v. 134, p. 11–20, out. 2021. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.07.039
- CARVALHO, M. B.; YAMAKAMI, A. Meta-heurística Híbrida de Sistema de Colônia de Formigas e Algoritmo Genético para o Problema do Caixeiro Viajante. **TEMA - Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v. 9, n. 1, 12 mar. 2008. DOI: 10.5540/tema.2008.09.01.0031
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4º ed. São Paulo. Disponível em: <<https://cempre.org.br/manuais/>> Acesso em 04 fev. 2025.
- ERFANI, S. M. H.; DANESH, S.; KARRABI, S. M.; SHAD, R. A novel approach to find and optimize bin locations and collection routes using a geographic information system. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 7, p. 776–785, 12 jul. 2017. DOI: 10.1177/0734242X17706753
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <<http://www.feam.br/component/content/article/15/2010-publicacoes-pmsl>>. Acesso em: 03 mai 2024.
- FERREIRA, F. DO E. S. R.; MAGALHÃES, E. M. Utilização do ciclo PDCA para melhoria de qualidade e aumento de produtividade em uma multinacional do polo industrial de Manaus. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e524101321609, 20 out. 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i13.21609
- FERRONATO, N.; PORTUGAL ALARCÓN, G. P.; GUISBERT LIZARAZU, E. G.; TORRETTA, V. Assessment of municipal solid waste collection in Bolivia: Perspectives for avoiding uncontrolled disposal and boosting waste recycling options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 167, p. 105234, abr. 2021. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105234
- FUNASA - Fundação Nacional da Saúde. **Manual de Saneamento**. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506>>. Acesso em: 5 fev. 2025.
- GALLARDO, A.; CARLOS, M.; PERIS, M.; COLOMER, F. J. Methodology to design a municipal solid waste pre-collection system. A case study. **Waste Management**, v. 36, p. 1–11, fev. 2015. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.11.008
- GUERRINI, A.; CARVALHO, P.; ROMANO, G.; CUNHA MARQUES, R.; LEARDINI, C. Assessing efficiency drivers in municipal solid waste collection services through a non-

parametric method. **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 431–441, mar. 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.079

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha de Setores Censitários**, 2022b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html>>. Acesso em: 5 set. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativas da População para julho de 2024**. 2024 Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>>. Acesso em: 06 fev. 2025.

KHAN, D.; SAMADDER, S. Allocation of solid waste collection bins and route optimisation using geographical information system: A case study of Dhanbad City, India. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, v. 34, n. 7, p. 666–676, 19 jul. 2016. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.01.019

LEITE, A. P.; NOGUEIRA, T. H. L.; EDWIGES, T.; RECH, A. L. Limitações do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos em município de pequeno porte. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 2, p. 382–396, 30 set. 2017. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0030

MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO, M. A. F. DE; BRITO, J. C. X. DE; ALMEIDA, T. P. F. DE; MANSUL, G. L. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM, , 2001. Disponível em: <<https://www.ibam.org.br/>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

OSGEO. **QGIS, Versão 3.40.3**, 2024. Disponível em: <<https://qgis.org/download/>>. Acesso em: 5 fev. 2025.

SALLEM, R.; SERBAJI, M. M.; ALAMRI, A. M.; KALLEL, A.; TRABELSI, I. Optimal routing of household waste collection using ArcGIS application: a case study of El Bousten district, Sfax city, Tunisia. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 11, p. 1038, 31 jun. 2021. DOI: 10.1007/s12517-021-07265-2

SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA - SIDRA. **Séries Temporais**. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/series-temporais/series-temporais/>>. Acesso em: 30 abr. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. **Diagnóstico temático manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília: 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>>. Acesso em: 08 set 2024.

VON SPERLING, Marcos. **Estudos preliminares para projetos**. In: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2º ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1996. p. 227–238.

## APÊNDICES

### APÊNDICE I – Questionário para levantamento de informações pertinentes à coleta seletiva

Questionário para levantamento de informações pertinentes à coleta seletiva
Responsável pelo preenchimento:
Data:
<b>Legislação</b>
Existe um plano estadual de resíduos sólidos em seu estado?
Existe um plano diretor regional de resíduos sólidos que abranja O município? Em caso afirmativo, como a soluções definidas para o município estão sendo cumpridas? Caso não estejam sendo cumpridas, por quê?
O município tem um plano diretor? Em caso afirmativo, como os resíduos sólidos municipais estão contemplados nesse plano?
O município integra algum consórcio de gestão e destinação final de resíduos sólidos?
O município tenho um plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos? Em caso afirmativo, ele está sendo cumprido? Caso não esteja sendo cumprido, por quê?
O município já sofreu alguma sanção, por parte do poder público estadual, sobre sua disposição de resíduos sólidos? Em caso afirmativo, quais as medidas tomadas?
<b>Limpeza urbana e/ou coleta de resíduos sólidos</b>
Quais os tipos de resíduos sólidos produzidos no município? (Domiciliar, público, de serviços de saúde, agrícola, industrial, portos, aeroportos, terminais rodoviários, terminais ferroviários, resíduos da construção civil)
Quanto de cada tipo de resíduo sólido é gerado em O município (t/mês)? E o total gerado (t/mês)?
Quantos maquinários (caminhões, tratores, etc) a cidade dispõe para a realização da coleta? Qual o número de colaboradores envolvidos no serviço?
Quais os tipos de resíduos sólidos que a prefeitura ou empresa contratada recolhe? E qual o total recolhido (t/mês)?
O município cobra pelo serviço de limpeza urbana e/ou coleta de resíduo sólido? Em caso positivo, qual a forma de cobrança? (Tarifa específica, taxa junto ao IPTU, tarifa por serviços especiais, outra forma)
Qual a porcentagem do orçamento municipal é destinada aos serviços de limpeza urbana e/ou coleta de resíduos (%)?
Quanto a prefeitura gasta com os serviços de limpeza pública e/ou de coleta e transporte do resíduo domiciliar (R\$/mês)? Quanto a prefeitura gasta com outros serviços de coleta e transporte (R\$/mês)? Total (R\$/mês)?
Qual a porcentagem de domicílios no O município tem os resíduos sólidos recolhidos (%)?
Qual a composição dos resíduos sólidos domiciliar coletado (%)?

## Questionário para levantamento de informações pertinentes à coleta seletiva

### Área de transbordo

Existe área de transbordo? Em caso afirmativo, qual é a quantidade de Resíduos sólidos é destinado para esse local?

### Destino e quantidade de resíduos sólidos coletados

Onde se dá a destinação final dos resíduos sólidos municipais?

Como é feito o controle da quantidade de resíduos sólidos a serem destinados? (Pesado em balança, outra forma)

Lixão a céu aberto	Quantos?
--------------------	----------

Aterro controlado	Quantos?
-------------------	----------

Estação de compostagem	Quantos?
------------------------	----------

Estação de triagem para reciclagem	Quantos?
------------------------------------	----------

Incineração	Quantos?
-------------	----------

Despejo em local inadequado	Quantos?
-----------------------------	----------

Total	Quantos?
-------	----------

Quem é(são) proprietário(s) da(s) área(s) utilizada(s) para a disposição final dos resíduos? (A prefeitura, entidade prestadora do serviço, particular, outro)

Quais os custos destas áreas para a prefeitura?

Onde fica(m) o(s) local(ais) de destinação dos resíduos sólidos? Dentro do perímetro urbano: próximo às residências? Próximo às áreas de proteção ambiental? Outras áreas?

Quanto a prefeitura gasta com os serviços de destinação final dos resíduos sólidos (excluindo os serviços de limpeza pública e/ou coleta e transporte) (R\$/mês)? (Incluindo todos os custos, como mão de obra, manutenção, operação, energia, combustíveis, entre outros).

### Informações sobre catadores de resíduos sólidos

A prefeitura tem conhecimento sobre a presença de catadores nas unidades de destinação final dos resíduos sólidos? Sim? Qual a quantidade total de pessoas? Quantidade de pessoas até 14 anos? Maiores de 14 anos? Não?

Existe algum trabalho social desenvolvido com os catadores?

Existe residências próximo ao Aterro controlado?

Qual o número estimado de pessoas que residem próximo ao aterro sanitário? Quantidade de pessoas até 14 anos? Maiores de 14 anos? Não?

### Informações sobre distritos/ bairros com serviço de limpeza e/ou coleta de resíduos sólidos

Quais os bairros e distritos nos quais são oferecidos os seguintes serviços:

Limpeza urbana

### Questionário para levantamento de informações pertinentes à coleta seletiva

Coleta de RSU

Coleta seletiva

Remoção de resíduos da construção civil

Coleta de resíduos especiais

Tratamento e disposição final

Em quais bairros os distritos há os seguintes locais de destinação final de resíduos?

Lixão a céu aberto

Deposito em locais alagáveis

Aterro controlado

Estação de compostagem

Usina de triagem e reciclagem

Incinerador

Despejo em local inadequado

#### Prevendo a situação futura do município

Qual é a estimativa de crescimento do seu município para 5 anos? 10 anos? 15 anos? 20 anos? (aumento de população, aumento de área urbana, aumento da industrialização, entre outros)

Qual deverá ser a quantidade de resíduos sólidos a ser gerada no seu município daqui a 5, 10, 15, 20 anos (ton/mes)

Quais as principais metas para o município para daqui a 5, 10, 15, 20 anos com relação a:

Coleta e transporte?

Tratamento dos resíduos sólidos?

Disposição final?

Qual a situação do município com relação a:

Novos locais para destinação dos resíduos sólidos?

Recuperação de áreas contaminadas por lixões e aterros controlados?

Programas de educação e conscientização ambiental?

Ações regionais (programas com municípios vizinhos)?