

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL

JULIANA MESSIAS DORNELAS

Comportamento temporal e espacial do quantitativo da coleta de resíduos sólidos em
Uberlândia- MG

Uberlândia
2022

JULIANA MESSIAS DORNELAS

Comportamento temporal e espacial do quantitativo da coleta de resíduos sólidos em
Uberlândia- MG

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, para obtenção do título de “Mestre”.

Área de concentração: Meio Ambiente e Qualidade Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães

Uberlândia

2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

D713 2023	Dornelas, Juliana Messias, 1981- Comportamento temporal e espacial do quantitativo da coleta de resíduos sólidos em Uberlândia-MG [recurso eletrônico] / Juliana Messias Dornelas. - 2023. Orientador: Ednaldo Carvalho Guimarães. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Qualidade Ambiental. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.17 Inclui bibliografia. 1. Desenvolvimento sustentável. I. Guimarães, Ednaldo Carvalho, 1967-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Qualidade Ambiental. III. Título. CDU: 502.33
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental
BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 2512-6717 - www.ppgmq.iciag.ufu.br - ppgmq@iciag.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Qualidade Ambiental (PPGMQ)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 01/2023, PPGMQ				
Data:	20 de janeiro de 2023	Hora de início:	15:00	Hora de encerramento:	17:30
Matrícula da Discente:	12112MQA014				
Nome da Discente:	JULIANA MESSIAS DORNELAS				
Título da Trabalho:	COMPORTAMENTO TEMPORAL E ESPACIAL DO QUANTITATIVO DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UBERLÂNDIA - MG				
Área de concentração:	Meio Ambiente e Qualidade Ambiental				
Linha de pesquisa:	Processos Ambientais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Análises e modelagem estatística de dados para variáveis ambientais e agrícolas				

Reuniu-se por meio de web conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), assim composta: Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães (Orientador); Prof.^a Dr.^a Bruna Fernanda Faria Oliveira (UFU); e Prof. Dr. Leandro da Silva Almeida (IFTM).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ednaldo Carvalho Guimarães, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/01/2023, às 17:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruna Fernanda Faria Oliveira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/01/2023, às 17:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leandro da Silva Almeida, Usuário Externo**, em 25/01/2023, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4075121** e o código CRC **55DAE5FB**.

Referência: Processo nº 23117.085391/2022-36

SEI nº 4075121

Aos meus filhos e marido: pelo carinho e apoio
incondicional que sempre demonstraram.

AGRADECIMENTOS

Gratidão,

A DEUS pela graça concedida até aqui e aos meus filhos e marido, pela compreensão e apoio incondicional durante o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento, apoio financeiro e consolidação do programa de pós-graduação stricto sensu em Qualidade Ambiental e demais programas no Brasil.

Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), a Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPP-UFU), ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) e ao Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental – UFU pelo incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento sustentável e ambiental.

Os agradecimentos são extensivos a todos os professores do programa de pós-graduação em Qualidade Ambiental, pela honra que tive de aprender com eles durante esse período de formação, os quais se mostraram disponíveis para me orientar e contribuir com meu aprendizado.

Muito obrigada aos professores, doutora Bruna Fernanda Faria e doutor Leandro da Silva Almeida, por terem aceitado participarem das minhas bancas de qualificações e defesa com importantes contribuições para o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço em especial ao Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães pela parceria, incentivo e disponibilidade dedicada em suas orientações,

Aos técnicos do Departamento de Água e Esgoto do município de Uberlândia-MG, pelo apoio na obtenção dos dados tão indispensáveis para conclusão desse trabalho.

A todos os Catadores de materiais recicláveis de Uberlândia, na pessoa do Sr. João Batista Ferreira (CORU) que colaboram diariamente com o meio ambiente saudável e por melhores condições de vida.

A todos os colegas e pessoas que direta ou indiretamente contribuíram com informações e apoiaram a realização desse trabalho, meu reconhecimento e gratidão!

RESUMO

DORNELAS, JULIANA MESSIAS. **COMPORTAMENTO TEMPORAL E ESPACIAL DO QUANTITATIVO DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UBERLÂNDIA-MG**. 2022. 86 p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG¹.

O volume de produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) e sua destinação é uma preocupação para os poderes públicos dos municípios. A análise estatística do comportamento desse quantitativo produzido de RSU se configura como uma ferramenta com contribuição importante para as políticas públicas do setor. Este trabalho teve o objetivo de aplicar técnicas de análise de séries temporais e de análise de cluster para descrever o comportamento temporal e espacial de produção de RSU na cidade de Uberlândia-MG. Foram utilizados dados do volume de RSU coletados na cidade, tanto da coleta regular convencional quanto da coleta seletiva, que são gerenciados e disponibilizados pelo Departamento Municipal de Águas e Esgoto (DMAE). Aplicou-se a metodologia de séries temporais para verificação de ocorrência de componentes de sazonalidade e de tendência nos dados, ajuste de modelos estatísticos para a descrição do comportamento desse quantitativo ao longo do tempo e utilização dos ajustados para a realização de previsões de volumes futuros. Na análise de cluster, os setores de coleta foram agrupados de acordo com os volumes coletados mensalmente e, posteriormente, para a visualização. Os setores de coleta foram designados e apresentados no mapa da região urbana do município. Os resultados indicaram a ocorrência das componentes de sazonalidade e de tendência nas variáveis analisadas e que os modelos de séries temporais podem ser utilizados para descrever o comportamento do volume produzido de RSU. A análise de cluster permitiu a separação dos setores de coleta em três grupos e, dessa forma, foi possível visualizar, por meio de mapas, a disposição espacial desses setores por volume coletado. Concluiu-se que as ferramentas de análise estatística de dados podem contribuir, de forma significativa com o melhor conhecimento do comportamento do volume coletado de RSU na cidade e, por consequência, contribuir para o planejamento urbano desse serviço prestado à população.

Palavras-chave: lixo; coleta seletiva; gestão de resíduos sólidos urbanos.

¹ Orientador: Ednaldo Carvalho Guimarães – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

ABSTRACT

DORNELAS, JULIANA MESSIAH. **TEMPORAL AND SPATIAL BEHAVIOR OF THE QUANTITATIVES OF SOLID WASTE COLLECTION IN UBERLÂNDIA-MG.** 2022. 86 p. Dissertation (Master in Environmental Quality) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia – MG².

The volume of urban solid waste (RSU) production and its destination is a concern for the public authorities of the municipalities. Statistical analysis of the behavior of this quantity of MSW produced is a tool with an important contribution to public policies in the sector. This work aimed to apply time series analysis and cluster analysis techniques to describe the temporal and spatial behavior of MSW production in the city of Uberlândia-MG. Data from the volume of MSW collected in the city were used, both from conventional regular collection and from selective collection, which are managed and made available by the Municipal Department of Water and Sewage (DMAE). The time series methodology was applied to: verify the occurrence of seasonality and trend components in the data, adjustment of statistical models to describe the behavior of this quantity over time and use of the adjusted ones to make predictions of future volumes. In the cluster analysis, the collection sectors were grouped according to the volumes collected monthly and, later, for visualization, the collection sectors were designated and presented on the map of the urban region of the municipality. The results indicated the occurrence of seasonality and trend components in the analyzed variables and that time series models can be used to describe the behavior of the produced volume of MSW. The cluster analysis allowed the separation of the collection sectors into three groups and, in this way, it was possible to visualize, through maps, the spatial arrangement of these sectors by collected volume. It is concluded that statistical data analysis tools can significantly contribute to a better understanding of the behavior of the collected volume of MSW in the city and, consequently, contribute to the urban planning of this service provided to the population.

Keywords: garbage; selective collect; urban solid waste management.

² Advisor: Ednaldo Carvalho Guimarães – Federal University of Uberlândia (UFU)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização de Uberlândia-MG.	26
Figura 2 - Localização do aterro sanitário em Uberlândia e o processo de coleta dos resíduos.	26
Figura 3 - Representação gráfica da série temporal do quantitativo per capita de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia – MG.	28
Figura 4 - Análise dos resíduos do modelo SARIMA (3,0,0) (2,1,0) ajustado à série temporal de RSU destinados ao aterro sanitário, em Uberlândia – MG.	31
Figura 5 - Série temporal dos RSU destinados ao aterro sanitário, na cidade de Uberlândia-MG, com as estimativas e os intervalos de confiança de 95% para o ano de 2021.	32
Figura 6 - Comparativo entre os dados reais de RSU destinados ao aterro sanitário e os estimados pelo modelo SARIMA (3,0,0) (2,1,0) para 2021.	33
Figura 7 - Produção per capita dos resíduos da coleta seletiva.	34
Figura 8 - Análise dos resíduos do modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2) ajustado à série de RSU da coleta seletiva de Uberlândia – MG.	36
Figura 9 - Série temporal dos RSU da coleta seletiva, no período de 2012 a 2020, com os valores estimados pelo modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2), no ano de 2021 e os limites dos intervalos de confiança de 95% para as estimativas.	37
Figura 10 - Comparativo entre os dados reais e os estimados pelo modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2), da coleta seletiva de 2021.	37
Figura 11 - Mapa de localização de Uberlândia-MG.	46
Figura 12 - Vista aérea do Aterro Sanitário em Uberlândia-MG– desativado I e em funcionamento II.	47
Figura 13 - Fotos do trabalho de triagem e separação da cooperativa CORU em setembro de 2021.	50
Figura 14 - Determinação do número ótimo de grupos para o quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia.	54
Figura 15 - Dendrograma para o quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia.	54
Figura 16 - Mapa de Uberlândia com os bairros clusterizados pelo quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário.	55
Figura 17 - Número ótimo de grupos de meses dos setores de RSU destinados ao aterro.	58
Figura 18 - Dendrograma meses - quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário.	58

Figura 19 -. Determinação do número ótimo de grupos para o quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia.....	61
Figura 20 -. Dendrograma para o quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia...	62
Figura 21 - Mapa de Uberlândia com os bairros clusterizados pelos resíduos da coleta seletiva	62
Figura 22 -. Número ótimo de grupos de meses dos setores de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia- MG.....	63
Figura 23 - Dendrograma meses - quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia- MG.....	65
Quadro 1 - Resíduos separados quanto à origem.	6

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios dos quantitativos per capita de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia – MG.	29
Tabela 2 - Estimativas dos parâmetros do modelo SARIMA (3,0,0) (2,1,0) ajustado à série temporal de RSU destinados ao aterro sanitário, em Uberlândia - MG.	31
Tabela 3 - Valores médios dos quantitativos per capita de resíduos sólidos destinados à reciclagem, na cidade de Uberlândia – MG.	35
Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros do modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2) ajustado à série de RSU destinados às cooperativas de reciclagem.	36
Tabela 5 - Divisão dos bairros de Uberlândia-MG por código de área da Coleta de Resíduos destinados ao Aterro sanitário..	47
Tabela 6 - Setores dos bairros de Uberlândia-MG atendidos pela Coleta Seletiva referente ao ano de 2021.....	51
Tabela 7 - Grupos formados, pela análise de cluster, para o quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia- MG.....	55
Tabela 8 - Médias, medianas e desvios padrão para os grupos de setores do quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia – MG.	56
Tabela 9 - Grupos formados, pela análise de cluster, para o quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário em relação aos Meses.	59
Tabela 10 - Médias, medianas e desvios padrão para os grupos de meses do quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia – MG.....	59
Tabela 11 - Grupos formados, pela análise de cluster, para o quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia- MG.....	62
Tabela 12 - Médias, medianas e desvios padrão para os grupos de setores do quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia- MG.	64
Tabela 13 - Grupos formados, pela análise de cluster, para o quantitativo de resíduos da coleta seletiva em relação aos Meses.....	65
Tabela 14 - Médias, medianas e desvios padrão para os grupos de meses do quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia – MG.	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE Especiais	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANOVA	Análise de Variância
Art.	Artigo
DBC	Delineamento em Blocos ao Acaso
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgoto
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
ISLU	Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MG	Minas Gerais
n.	Número
NBR	Norma Brasileira
OECD	Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico
ONG	Organização Não Governamental
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
PGIRS	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMU	Prefeitura Municipal de Uberlândia
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RS	Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
Selurb	Sindicato Nacional das Empresas de Limpeza Urbana
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 Resíduos sólidos urbanos (RSU)	4
2.2 Resíduos sólidos: um desafio recorrente.	9
2.3 Aspectos legais referentes aos resíduos sólidos urbanos (RSU)	10
2.4 Aspectos gerais da coleta convencional e da coleta seletiva.	12
2.5 Análise de séries temporais e análise de cluster.	14
REFERÊNCIAS	17
CAPÍTULO 2: RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UBERLÂNDIA-MG: ANÁLISE TEMPORAL.....	22
1 INTRODUÇÃO	23
2 DESENVOLVIMENTO	25
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.1 RSU destinados ao aterro sanitário:	28
3.2 RSU destinados à reciclagem:.....	33
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERÊNCIAS	40
CAPÍTULO 3: ABORDAGEM DE ANÁLISE DE CLUSTER PARA OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UBERLÂNDIA-MG.	43
1 INTRODUÇÃO	44
2 MATERIAL E MÉTODO.....	46
2.1 Caracterização geral da cidade de Uberlândia e dos serviços de coleta de RSU.....	46
2.2 Material.....	52
2.3 Métodos.....	52
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
3.1 Resíduos destinados ao aterro sanitário	53
3.2 Resíduos da coleta seletiva.....	60
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A – FOTOS DA CORU EM SETEMBRO DE 2021	71

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos sempre esteve associada às atividades do ser humano uma vez que, ao consumir algo ou realizar suas atividades, ele sempre gerou materiais a serem descartados. Nas civilizações antigas, isso não era diferente. No entanto, a quantidade e a composição desse “lixo” foram bastante modificadas ao longo dos anos.

Nesse sentido, Eigenheer (2009) argumenta que, no passado, a presença de fezes, restos de alimentos, materiais descartáveis e carcaças de animais nos locais de descarte de lixo forneciam as condições propícias para que diversos vetores de doenças se proliferassem e as pessoas passaram a “temer o lixo” vinculando-o a impurezas, a miséria, a epidemia, a mortalidade e ao sofrimento humano, uma vez que era inevitável associar os resíduos às enfermidades da época.

Nesse contexto, os Resíduos Sólidos (RS) se enquadram devido ao seu potencial impacto ao meio ambiente e, conseqüentemente, à saúde e à qualidade de vida de milhões de pessoas. No que tange à má gestão dos resíduos, os efeitos são tão ou mais prejudiciais à saúde pública, gerando degradação ambiental e mal-estar nos espaços urbanos das cidades.

Assim, é importante destacar que a gestão de RS não é um assunto isolado ou de atuação local, mas de impacto global, o que significa que sua abrangência não se restringe só aos centros urbanos, e precisa ser pensado por toda a humanidade, pois os danos negligenciados com a produção crescente de resíduos e, principalmente, seu descarte incorreto, traz conseqüências ambientais significativas para a atual sociedade, assim como para as futuras gerações.

Dessa maneira, o interesse por essa temática surgiu, portanto, por acreditar que a problemática é relevante e muito pertinente no atual contexto mundial em que o tema desafia diferentes esferas governamentais e envolve vários segmentos, tais como o poder público, os movimentos sociais e as organizações não governamentais, em um esforço coletivo de compatibilizar o conflito econômico e a preservação ambiental na tentativa de conter o esgotamento dos recursos naturais e o avanço da degradação ambiental.

Ademais, nesse estudo, foi dada ênfase à esfera municipal, tendo como área de abrangência o município, isto é, a zona rural e a urbana, incluindo os distritos de Uberlândia, em Minas Gerais.

Outrossim, foi possível verificar, no que se refere ao âmbito local, que a cidade de Uberlândia tem se adequadado com um arcabouço legal e estrutural visando o cumprimento do Plano Nacional de Saneamento Básico (Lei n. 13. 308/2016), unificando os serviços, tratamento e distribuição de água e esgoto, drenagem pluvial e a coleta e destinação adequada de resíduos sólidos.

Nesse sentido, conforme o *ranking* do Instituto Trata Brasil, o município se destaca em saneamento básico e já é o segundo melhor em tratamento de água e esgoto do país, mantendo-se como o primeiro de Minas há mais de 10 anos consecutivos (UBERLÂNDIA, 2022).

Assim, partindo-se do pressuposto de que o gerenciamento integrado de resíduos sólidos é concebido por meio de quatro etapas sistematizadas: minimização da produção de resíduos; maximização do reuso e da reciclagem; promoção contínua do tratamento e da disposição final de forma a promover a segurança ambiental; e maximização da estrutura dos serviços de limpeza urbana, levantamos as seguintes hipóteses de estudo: i) existe dependência espacial e temporal no quantitativo de resíduos sólidos coletados em Uberlândia – MG; ii) os modelos de séries temporais, são eficazes na descrição do comportamento temporal da produção de resíduos sólidos, tanto aqueles destinados ao aterro sanitário quanto os destinados à reciclagem; iii) a análise de cluster pode ser utilizada para agrupar setores/regiões da cidade de acordo com a quantidade de resíduos sólidos, permitindo a visualização espacial do quantitativo dos resíduos sólidos urbanos produzidos na cidade.

Diante dessas proposições, o objetivo geral desse trabalho foi analisar o comportamento temporal e o comportamento espacial da produção dos Resíduos Sólidos Urbanos no município de Uberlândia-MG. Desse modo, tem-se:

- a) utilizar a metodologia estatística de análise de séries temporais para identificar ocorrência de sazonalidade e tendências no quantitativo de resíduos sólidos urbanos, da coleta regular e da coleta seletiva;
- b) Obter modelos de séries temporais que permitam descrever e realizar previsões do quantitativo de resíduos sólidos urbanos no município;
- c) Aplicar técnicas de análise de cluster para agrupar bairros e/ou setores da cidade de Uberlândia, que apresentem produção de RSU da coleta regular e da seletiva semelhantes, em função dos meses do ano de 2021;
- d) Utilizar os grupos formados na análise de cluster para produzir mapas que permitam, visualizar espacialmente as regiões da cidade com os maiores e os menores quantitativos de resíduos sólidos urbanos;

Assim sendo, esse trabalho foi desenvolvido em 3 capítulos. O primeiro capítulo contém, além dessa introdução geral, as definições técnicas que caracterizam os resíduos sólidos, seus impactos no Brasil e no mundo de forma geral e as legislações vigentes estabelecidas, além das suas contribuições no gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos; no segundo capítulo, são apresentados, em forma de artigo, os resultados da pesquisa relacionados à temática de séries temporais, mostrando o comportamento temporal dos quantitativos dos resíduos da coleta regular e da coleta seletiva no município de Uberlândia, Minas Gerais; por fim, o terceiro capítulo traz uma aplicação de abordagem multivariada (Análise de Cluster) para agrupar as produções de RSU em função dos quantitativos mensais nos bairros/setores de coleta no ano de 2021. Para isso, foram produzidos mapas com o objetivo de mostrar o comportamento e a distribuição espacial desse quantitativo de RSU das coletas seletiva e regular no município de Uberlândia – MG por meio das informações da análise de agrupamentos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Turrioni e Mello (2012), o referencial teórico representa as considerações do que foi publicado a respeito de um determinado tema por estudiosos e pesquisadores credenciados. Além disso, reforçam a ideia de que a revisão literária constitui a base para o aprofundamento do tema a ser estudado, sendo a etapa que fornece maior clareza do conteúdo e possibilita melhor interpretação dos dados coletados e disseminação dos resultados.

Assim, o trabalho se iniciou com uma revisão na literatura a respeito do tema abordado com a consulta de artigos científicos nacionais, teses, dissertações, trabalhos publicados em eventos e legislações ambientais vigentes, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS e o Plano Municipal de Saneamento Básico da Prefeitura Municipal de Uberlândia (PMU).

2.1 Resíduos sólidos urbanos (RSU)

Para muitas pessoas, a noção do problema dos resíduos “termina” com a coleta, quando o “lixo” é coletado na porta das residências sem se preocupar para onde ele vai ou com os impactos de sua destinação no meio ambiente.

Desse modo, de acordo com Silveira, Berté e Pelanda (2018), o fato de as sociedades atuais enviarem o “lixo” para locais distantes dos centros urbanos é resultado de uma visão histórica, buscando-se medidas de redução da geração de resíduos. Todavia, ao afastar o material descartado do campo visual das pessoas, cria-se nelas a falsa sensação de que o problema está solucionado, mas muitas vezes é a partir do descarte que os problemas começam.

A vida nômade dos primeiros seres humanos não permitia o acúmulo de resíduos, uma vez que os materiais eram de origem natural e de fácil decomposição por fatores ambientais, como radiação solar, chuva e organismos detritívoros. O problema do “lixo” tem início com os primeiros agrupamentos urbanos e o descarte concentrado em locais fixos. Nos primeiros núcleos urbanos, os resíduos eram descartados nas ruas ou então queimados pela população. Na Idade Média, tal situação se tornou preocupante, já que inúmeras doenças surgiram nessa época, como a peste negra e a peste bubônica que assolaram a população, sobretudo no Ocidente. Esse fato foi decisivo para a formação dos preceitos associados ao lixo (EIGENHEER, 2009).

Ademais, o contexto histórico relacionado aos resíduos sólidos contribuiu para que os trabalhadores de coleta, transporte, tratamento e destinação final fossem marginalizados pela sociedade e carregassem um estigma social perceptível até os dias de hoje. Foi na transição entre a Idade Média e a Idade Moderna - fim do século XIV e início do século XV - que surgiram os primeiros catadores, chamados de “trapeiros” responsáveis pelas atividades de limpeza urbana e pela destinação de cadáveres. Essas atividades eram atribuídas à “prostitutas, prisioneiros de guerra, condenados, escravos, ajudantes de carrascos e mendigos” (EIGENHEER, 2009, p. 20).

A formação das concepções relativas aos resíduos foi influenciada pela repulsa das pessoas em relação ao que julgam não ter mais serventia. Para combater os impactos ambientais e a “exclusão” daqueles que fazem sua coleta, é necessário conhecer não só a correta gestão dos resíduos e as possibilidades criadas pela reutilização desses materiais, mas também visualizar o resíduo como algo que dá início a um novo ciclo.

Embora lixos e resíduos sejam tratados como sinônimos, é importante reconhecer a diferença entre eles. A palavra “resíduo” dá ao material a conotação de que pode ser reintegrado a novos processos produtivos, já o termo “lixo” rotula o material como algo inservível e que deve ser descartado (SILVEIRA; BERTÉ; PELANDA, 2018).

Nesse sentido, a educação ambiental deve contribuir significativamente para que tais paradigmas sejam ressignificados. O aumento da produção de bens de consumo associados ao crescimento do padrão socioeconômico das cidades aumentou significativamente o descarte de resíduos sólidos urbanos (RSU), e vem gerando grandes impactos, na medida em que grande parte dos resíduos leva muitos anos para se decompor, causando desequilíbrio nos ecossistemas e efeitos negativos na biodiversidade.

Assim, desde a década de 1970, a Sociedade Civil, as Organizações Não Governamentais (ONG's) e diversas autoridades mundiais têm realizado múltiplas conferências internacionais e campanhas com a finalidade de discutir formas de remediação e prevenção da degradação ambiental e promover o desenvolvimento sustentável. Para explorar a conceituação de Resíduos sólidos (RS), a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 10004/2004, ao tratar os resíduos sólidos, aplica a seguinte definição:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p. 1).

Por outro lado, a Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em seu Capítulo II, Art. 3º, inciso XVI, define resíduos sólidos da seguinte forma:

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

Assim, conceitualmente, a palavra “lixo” está em desuso para definir os resíduos e descartes em um ambiente técnico, sendo mais empregada na linguagem informal, impessoal e popularmente entendida como “coisa” sem utilidade ou rejeito. Resíduos, por sua vez, é um termo utilizado no âmbito técnico e acadêmico, o que equivale, de maneira geral, aos materiais que podem ser reaproveitados ou reciclados.

Nesse viés, os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com a sua origem, características e periculosidade, inclusive tendo regulamentação exclusiva para isso, por meio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - NBR 10.004. Essa norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, com o objetivo de que esses resíduos possam ter manuseio e destinação adequados a partir de um parâmetro de qualidade ambiental e de saúde pública. Por isso, é necessário que se conheça a classificação e a origem dos resíduos (MARCHI *et al.*, 2018).

Dessa maneira, as formas de classificá-los são: por sua natureza física (seco e molhado); por sua composição química (matéria orgânica e matéria inorgânica) e pelos riscos potenciais ao meio ambiente (perigosos, toxicidade e patogenicidade). Uma outra forma de classificação dos resíduos é quanto a sua origem, que pode ser: domiciliar, comercial, público, hospitalar, eletrônico, agrícola e industrial.

Para uma melhor visualização, essas classificações serão expostas no quadro 1.

Quadro 1 - Resíduos separados quanto à origem.

ORIGEM	CLASSIFICAÇÃO
DOMICILIAR	Originado na vida diária das residências, constituído por restos de alimentos (cascas de frutas, verduras, sobras etc.), retalhos de jornais e revistas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas, descartáveis etc. Basicamente, são produtos do dia a dia do cidadão comum.

COMERCIAL	Originado em estabelecimentos comerciais, como supermercados, bancos, lojas, <i>shoppings centers</i> . Estabelecimentos de comércio e serviço e afins. Esses locais possuem grande quantidade de papel, plásticos, papelões, papel-toalha e papel higiênico, restos de alimentos etc.
PÚBLICO	Provém dos serviços públicos e urbanos, como varrição de vias públicas, manutenção de locais e praças públicas, podas e corte de árvores, limpeza de feiras livres. É composto principalmente por pequenas embalagens, restos e folhas de vegetais, papéis, madeira, plásticos etc.
SERVIÇOS DE SAÚDE	Originados em hospitais, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde. Trata-se de material “contaminado” com material biológico (urina, sangue, fezes) e/ou micro-organismos patogênicos e infecciosos (vírus, bactérias) como algodão, agulhas, seringas, gases, luvas descartáveis, restos de medicações e remédios com prazo de validade vencido etc.
PORTOS E AEROPORTOS	Constituem os resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos, produzidos nos portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários.
INDUSTRIAL	Originados nas atividades de diversos ramos da indústria, tais como: metalúrgica, química e petroquímica, alimentícia etc. Alguns exemplos de resíduo industrial são: produtos químicos, borracha, plásticos, madeira, tecidos, papéis, cinzas, metais, vidros, gases e óleos. Unidades portuárias e aeroportos também merecem bastante atenção.
AGRÍCOLA	São resíduos das atividades agrícolas e da pecuária. Incluem embalagens de fertilizantes e de defensivos agrícolas, rações etc. As embalagens altamente tóxicas têm sido alvo da legislação específica quanto aos cuidados na sua destinação final.
ENTULHO	Resíduos da construção civil, compostos por materiais de demolições, restos de obras. Contêm materiais com toxicidade, como restos de tintas e de solventes e peças de amianto e metais diversos.

ELETRÔNICO	Outro tipo de resíduo de certo perigo, os descartes eletrônicos são compostos por aparelhos elétricos e eletrônicos como celulares, televisões e itens domésticos, assim como pequenas peças, baterias e carregadores. Pode ser perigoso e causar grande poluição devido a grande quantidade de cobre, de alumínio e de outros tipos de metais pesados que compõem esses aparelhos.
------------	---

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Diante disso, nesse estudo, abordaremos os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU, que conforme definição da PNRS, compreendem os resíduos domiciliares e os resíduos de limpeza urbana. No caso de Uberlândia, os resíduos de capina, roçagem, podas e cortes de árvores tem um destino diferente e não compõem a volumetria que vai para o aterro sanitário (UBERLÂNDIA, 2020).

As características dos resíduos não recicláveis podem variar em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que também diferenciam as comunidades entre si e as próprias.

Em relação ao RS, a composição gravimétrica demonstra o percentual de cada componente de uma amostra em análise em relação ao peso total dessa amostra. Os componentes mais comuns de ocorrerem são plásticos, papéis e papelão, metais, vidros, e matéria orgânica. Essa composição é fundamental para determinar a possibilidade de aproveitamento das frações recicláveis para comercialização e da matéria orgânica para a produção de adubo orgânico, além de colaborar no cálculo da tarifa de coleta, por exemplo, ou a destinação final, pois os componentes apresentam densidades relativas diferenciadas (MONTEIRO *et al.*, 2001).

De acordo com Monteiro *et al.* (2001), os resíduos possuem, ainda, outras características que variam conforme o País ou região em função de diversos fatores, por exemplo, a atividade predominante no local (industrial, comercial, turística etc.) e, também, relacionados aos hábitos e aos costumes da população, como a alimentação e o clima.

Portanto, dentre os fatores que influenciam as características dos resíduos sólidos, estão os fatores demográficos e socioeconômicos, a saber, nos períodos de datas comemorativas ou festivas, como natal ou páscoa em que percebe-se um aumento das embalagens (papel/papelão e plásticos maleáveis). No carnaval, há um aumento do percentual de alumínio (latas de cerveja e de refrigerantes). Além disso, no período de férias escolares e feriados, cresce a quantidade de resíduos gerados em cidades turísticas (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Dias *et al.* (2012) argumentam que fatores como o 13º salário, pagos geralmente no final de ano, assim como adicional de férias, que também se intensifica no final e início de cada ano, são elementos que injetam bilhões de reais na economia, aumentando o poder de compra dos consumidores, principalmente dos período das festas de final de ano (dezembro) e férias escolares (janeiro), favorecendo o aumento do consumo em geral, e consequentemente a geração de RSU, dos quais grande parte é destinada aos aterros sanitários.

2.2 Resíduos sólidos: um desafio recorrente

Segundo PNUMA (2014), o mundo conta com aproximadamente 7 bilhões de habitantes e produz uma média anual de 1,4 bilhão de toneladas de resíduos sólidos urbanos, o que representa 1,2 kg por dia per capita. Metade desses resíduos é produzido pelos países mais desenvolvidos e industrializados do mundo.

Ademais, um estudo feito pela Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico (OECD, 2009) aponta que, em países mais desenvolvidos, são consumidos cerca de 60% de todas as matérias primas industriais, ao passo que a geração de resíduos teve um aumento três vezes mais rápido que o crescimento da população. No ranking de maiores geradores de resíduos, os Estados Unidos estão na liderança (com 624 mil toneladas por dia) e, dentre os países em desenvolvimento, estão a China, o Brasil, a Índia e o México (BRASIL, 2014).

No mundo moderno, segundo Castro (2012), a produção de resíduos sólidos vem aumentando em uma escala vertiginosa, exigindo soluções conjuntas entre poder público, iniciativa privada e sociedade civil para a correta gestão e gerenciamento desses resíduos.

Além disso, a coleta de resíduos faz parte da limpeza urbana, podendo ser classificada como um serviço de primeira necessidade e de grande visibilidade. Os benefícios da gestão de resíduos diminuem a poluição visual e olfativa, impede o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças e produz melhorias nos indicadores de saúde pública (CEMPRE, 2018).

No Brasil, somente a partir da década de 1990 que as administrações municipais estabeleceram as primeiras parcerias com catadores autônomos e/ou organizados em associações e cooperativas para a gestão e execução dos programas de coleta seletiva (EIGENHEER, 2009).

Frente a esse contexto, em 2010, foi editada a Política Nacional dos Resíduos Sólidos - PNRS, em seu Art.3º, que define os termos coleta seletiva e reciclagem do seguinte modo:

[...] coleta seletiva: resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição; XIV – reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos; XVIII – reutilização: processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química (BRASIL, 2010).

No entanto, a realidade brasileira é marcada por um cenário heterogêneo, por apresentar formas distintas de acesso à coleta seletiva e gerenciamento de resíduos. Uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais-ABRELPE (2012) demonstrou a participação das regiões brasileiras nessa atividade de gerenciamento, constando que no ano de 2012, após 02 anos da aprovação da PNRS, a região Sudeste, onde se localiza o município de Uberlândia, foco dessa pesquisa, respondia com 52,5% dos resíduos urbanos coletados no Brasil. Em seguida, o Nordeste, com 22,1%; o Sul, com 10,9%; o Centro-Oeste, com 8,1%; e por último o Norte, com apenas 6,4%. Ainda, conforme a ABRELPE (2016), na região Nordeste, concentra-se o maior número de cidades que ainda destinam seus resíduos para lixões, número que corresponde a mais da metade dos municípios brasileiros com essa prática. A região Sudeste, por sua vez, conta com 822 municípios que destinam seus resíduos para aterros sanitários de forma ambientalmente adequada. Aliado a esse cenário, observa-se a escassez de investimento público destinados aos serviços de saneamento, carência de fiscalização e controle social, com baixos índices de coleta seletiva e recuperação/reciclagem de materiais (MEIRELES, 2015).

Além disso, um estudo do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) relativos ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2018, informa que quase metade dos municípios brasileiros (49,9%) pesquisados ainda despejam resíduos em “lixões” - depósitos irregulares e ilegais. Os dados fazem parte do Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU), elaborado pelo Sindicato Nacional das Empresas de Limpeza Urbana (SELUR), que indicam que 17,8 milhões de brasileiros não têm coleta de lixo nas casas e apenas 3,85% dos resíduos são reciclados (BRASIL, 2018).

Assim, o gerenciamento dos RSU visa proteger a saúde da população, promover a qualidade ambiental, desenvolver a sustentabilidade e suporte para a produtividade econômica propiciando benefícios imensuráveis de impacto social e ambiental.

2.3 Aspectos legais referentes aos resíduos sólidos urbanos (RSU)

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), Lei n. 12.305/2010, prevê o desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar, por meio de seus instrumentos, a formulação, a implementação e a avaliação de programas eficientes de gestão de resíduos, por exemplo, regulamentação de aterros sanitários, ou adesão a programas de coleta seletiva, priorizando a Redução, o Reuso, a Reciclagem, o Tratamento e a Disposição com a destinação final ambientalmente adequada.

Desse modo, a partir dessa lei, tem-se como objetivo buscar soluções envolvendo os diferentes entes federados, como a União, os Estados, os Municípios, o setor produtivo e a sociedade, para atuar em conjunto, a fim de somar forças capazes de promover melhorias e ganhos ambientais a curto e a longo prazo (BRASIL, 2013).

Uma alternativa encontrada são os Consórcios Públicos de Resíduos Sólidos, abrangendo o ciclo que se inicia desde a geração do resíduo até a disposição final, principalmente pelos municípios mais pobres, de pequeno e médio porte que se juntam para a implementação de políticas públicas nos municípios, em especial na gestão dos resíduos sólidos, em parceria estabelecida com o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2021).

A PNRS previa a extinção dos lixões até 2014, no entanto, o Marco Legal do Saneamento Básico, em 2020, prorrogou esse prazo em capitais e regiões metropolitanas para 2021 e em cidades com menos de 50 mil habitantes, para 2024. (BRASIL, 2010). A partir dessa data, os rejeitos deveriam ter disposição final ambientalmente adequada. Entretanto, muitas prefeituras ainda não cumpriram esse prazo e entre essas barreiras para o “fim dos lixões”, além da falta de vontade política, estão principalmente alegações de restrições orçamentárias e falta de capacitação técnica, a centralização política e administrativa, a inexistência de órgãos fiscalizadores, a massificação do consumo e a produção crescente de produtos descartáveis (MARCHI *et al.*, 2018).

A cidade de Uberlândia, MG conta com alguns instrumentos normativos que regulamentam a gestão e a destinação correta desses resíduos, como o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PGIRS, do Município de Uberlândia (Lei n. 11.959, de 22 de setembro de 2014). A lei determina que o Município deve apresentar um plano de metas (curto, médio e longo prazo) para as diferentes ações dos serviços públicos de limpeza urbana, manejo dos resíduos sólidos e disposição final dos resíduos. Também, essa cidade conta com o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Uberlândia (Lei n. 11.291, de 26 de dezembro de 2012) e a Lei de Serviço Público de Coleta Solidária dos Resíduos Recicláveis no Município de Uberlândia (Lei Municipal n. 12.504, de 25 de agosto de 2016) que, entre outros

objetivos, visa “promover ações modificadoras do comportamento e cultura dos munícipes perante os resíduos que geram” (UBERLÂNDIA, 2021).

Devido à sua complexidade e estrutura, a gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos, demanda custos e tem necessidade de recursos financeiros para a instalação dos aterros sanitários ou compra de caminhões para a coleta seletiva, por exemplo, bem como para ao custeio da manutenção das operações. Muitos municípios brasileiros utilizam o método de cobrança para ofertar esse serviço.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), em sua edição de 2000, indicava que 2.484 municípios cobravam pelo serviço de limpeza pública ou coleta de resíduos. Entre esses, 2.310 (93%) faziam a cobrança por meio do Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU), 129 (5%) por taxa específica, treze (0,5%) por tarifa (IBGE, 2010). Na edição de 2008, a PNSB não ofereceu a opção de resposta de pagamento junto com o IPTU, o que explica a redução significativa no número de municípios que realizam outra forma de cobrança. Porém, independente disso, ao longo do período 2000-2008 houve um aumento significativo dos municípios que passaram a cobrar tarifas de limpeza pública, prática que deverá ser ainda mais estimulada pelas políticas federais (IBGE, 2000; 2010).

Além de gerar receita, muitos estudiosos do assunto defendem a cobrança da tarifa de limpeza pública pelo “caráter pedagógico”, como meio de estimular condutas ambientalmente corretas e fator de estímulo para a redução na produção de resíduos (DUTRA *et al.*, 2018). A implantação desses instrumentos econômicos induz à eficiência do sistema de limpeza urbana e “implicam a participação individual do usuário gerador, enquanto potencial poluidor, no custeio da operação e dos investimentos do manejo de resíduos por ele demandado, de forma independente do orçamento municipal” (SELUR, 2014, p. 3).

2.4 Aspectos gerais da coleta convencional e da coleta seletiva.

A coleta convencional de RSU A coleta convencional de RSU é popularmente conhecida como “coleta de lixo” e consiste no recolhimento dos resíduos, coletados diretamente na fonte geradora. Subsequentemente, os mesmos deveriam ser encaminhados para a destinação final, nos aterros sanitários.

Esse tipo de coleta configura a etapa inicial necessária para viabilizar um sistema adequado de gestão de resíduos. Apesar do avanço registrado nas últimas décadas, o país ainda apresenta déficit na abrangência desses serviços (92% de cobertura) e 6,3 milhões de toneladas/ano seguem abandonadas no meio ambiente (ABRELPE, 2019).

No processo de coleta seletiva, tem-se como objetivo final a destinação dos RSU para o processo de reciclagem. A Reciclagem é o termo utilizado para o ato de reaproveitamento de materiais para a confecção de um novo produto, ou seja, a maioria dos plásticos que seria descartado é transformado, por meio de mudanças em seus estados físico, físico-químico ou biológico, para que se torne novamente matéria-prima ou produto (BRASIL, 2010).

Dessa forma, a reciclagem passa a se destacar, tanto pela contribuição que pode dar ao desempenho das empresas, na economia de custo, na aquisição de matérias primas e insumos, quanto pelos resultados ambientais decorrentes da queda de produção dos resíduos, preservação dos recursos naturais; “economia” dos aterros, mas também pelos impactos sociais, por meio da coleta seletiva com geração de trabalho e renda para cooperativas de material reciclado, mas principalmente para inúmeras famílias que exercem a função de “catadores” autônomos e veem a reciclagem como única fonte de renda.

Entretanto, no Brasil a pouca ou “pequena” quantidade de reciclagem de materiais faz com que milhões de toneladas de resíduos sólidos que, anualmente, ao invés de gerarem dinheiro e emprego, sejam descartados incorretamente no meio ambiente. Uma das principais dificuldades para a reciclagem é a falta de infraestrutura nos municípios e o desequilíbrio entre a oferta e a demanda dos recicláveis, trazendo com isso grandes variações nos preços dos materiais, o que pode prejudicar a todos da cadeia. De todo lixo produzido no Brasil, 30% tem potencial para ser reciclado. Porém, aproximadamente 3% desse total é efetivamente reciclado (ABRELPE, 2016). Em razão disso, o país ainda apresenta déficit na abrangência desses serviços.

Desse modo, poucas cidades brasileiras possuem coleta de material reciclável ou unidades de reciclagem. Entre as iniciativas que “estavam presentes em 56,6% dos municípios em 2010, agora foram registradas em mais de 73% das cidades, mas ainda são bastante incipientes” (ABRELPE, 2020). Em razão disso, a coleta tem sido feita de forma bastante informal, principalmente por catadores.

Portanto, a regulamentação dos serviços da coleta regular, com o manejo correto dos RSU e a consolidação da coleta seletiva são processos essenciais para melhorar a gestão e o gerenciamento nos municípios, sobretudo por oferecerem resultados práticos e positivos às questões ambientais, sociais e econômicas.

Por fim, o que se espera ao pesquisar o volume de RSU produzidos em um município é o estímulo a adoção de políticas públicas que promovam a redução na produção de resíduos ao longo dos anos em relação ao crescimento populacional. Também, é esperado que haja redução no volume do material destinado ao aterro sanitário e aumento daqueles que são destinados à

coleta seletiva. Cabe ressaltar que fatos como: redução no ritmo do crescimento econômico do país provocado pela persistente crise mundial e o aprofundamento da crise brasileira nos anos recentes; redução do padrão de consumo das famílias; ampliação dos programas de coleta seletivas nos municípios e implementação de ações de educação ambiental que estimulem o aumento da reciclagem e reaproveitamento de resíduos podem interferir positivamente nessa balança de RSU produzidos e destinados ao aterro e a reciclagem.

2.5 Análise de séries temporais e análise de cluster.

Os procedimentos de análise estatística de dados têm se mostrado uma ferramenta interessante e útil no entendimento do comportamento geral das variáveis em análise, e tem sido amplamente, utilizados não só em pesquisas científicas, mas também como auxílio de tomada de decisões em setores públicos e privados.

Nesse viés, dentre as diversas metodologias estatísticas, tem-se a análise de séries temporais e análise de cluster que foram exploradas nesse estudo. A análise de séries temporais tem por finalidade descrever e modelar o comportamento temporal de uma variável (MORETTIN e TOLOI, 2018). Na análise de cluster, os objetos são dispostos em grupos, garantindo que haja homogeneidade dos objetos alocados dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos formados em função das variáveis em análise (HAIR *et al.*, 2006).

Segundo Morettin e Toloi (2006), uma série temporal é qualquer conjunto ou parte de uma sequência de observações, indexada por um parâmetro de tempo. Ainda de acordo com os autores, interpretações do mundo real podem ser realizadas por meio da análise de uma série temporal, pois as observações pontuais são ajustadas aos modelos estatísticos que permitem descrever o comportamento geral dos dados, destacando tendências e sazonalidades, e também realizar previsões em tempos futuros.

O procedimento geral desse tipo de análise consiste em modelar componentes, ou seja, ajustar modelos estatísticos aos dados observados, que explicam a tendência geral dos dados e a sazonalidade com que as observações ocorrem, o que não pode ser explicado pelos componentes de sazonalidade e de tendência como é conhecido, nessa metodologia, como ruído branco ou componente aleatório. Pode ocorrer ainda um outro componente na série que é a componente cíclica e que é passível de modelagem. Entretanto, conforme descrito em Pereira (2018), a detecção e ajuste desse componente só é possível para séries de tempo muito longas, e isso não é o caso do presente estudo.

Na descrição dos componentes da série temporal, Morettin e Toloi (2018) descrevem que a tendência se refere ao comportamento geral dos dados, indicando propensão a aumentos ou quedas graduais ao longo do tempo. Esse componente, geralmente, está associado a períodos longos de tempo, por exemplo, as variações observadas entre os anos de uma série. Portanto, diz-se que uma série temporal apresenta tendência quando há uma mudança em evolução lenta.

Ainda, conforme Morettin e Toloi (2018), a sazonalidade está associada às variações observadas que apresentam uma frequência bem definida e detectadas em períodos curtos de tempo como trimestres, meses, quinzenas, semanas. As variações cíclicas também são ocorrências identificadas na série, porém, diferentemente da sazonalidade, não seguem uma frequência bem estabelecida e, por serem variações em períodos de tempo relativamente longos, não podem ser identificadas em séries relativamente curtas.

Desse modo, a detecção e a modelagem das componentes das séries temporais são realizadas por metodologias como regressão e/ou médias móveis, podendo-se ajustar os modelos de suavização exponencial ou os modelos de Box-Jenkins, conforme descrito em Morettin e Toloi (2018).

Os procedimentos de análise de séries temporais são amplamente aplicados na literatura. Estudos como o de Pimentel (2017), que avaliou a gestão de resíduos sólidos da construção civil, na cidade de João Pessoa – PB; Merelles *et al.* (2019), que realizaram previsões de geração de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário de Aparecida de Goiás; Pereira (2018), que analisou o consumo de energia elétrica na Universidade Federal de Uberlândia; Chechi e Bayer (2012); Araújo *et al.* (2009); Silva, Guimarães e Tavares (2008), que analisaram comportamento de dados climáticos; são alguns exemplos da ampla aplicabilidade da metodologia de análise de séries temporais em diversas áreas de conhecimento e também de aplicabilidade prática.

A análise de cluster, por sua vez, também conhecida como análise de agrupamento ou análise de conglomerados, é uma técnica da estatística multivariada que tem a finalidade de separar objetos em grupos de acordo com suas similaridades, ou seja, espera-se que objetos ou elementos que estejam contidos em um grupo guarde semelhanças entre si e que grupos de objetos sejam dissimilares entre si (HAIR *et al.*, 2006).

Desse modo, a técnica de análise de cluster mais utilizada é a hierárquica. Conforme o próprio nome descreve, é construída a partir da hierarquia das semelhanças entre os objetos com base nas variáveis de agrupamento. Nesse tipo de análise, tem-se como resultado um gráfico de esquema denominado dendrograma, que representa a síntese dos agrupamentos.

Em textos de referência da área de análise de cluster como Hair *et al.* (2006), são descritos os passos para se realizar uma análise de cluster que são:

i. Determinação dos objetos e das variáveis de aglomeração, ou seja, o que será agrupado e com base em quais características (variáveis);

ii. Padronização das variáveis de aglomeração que visa fazer com que as variáveis estejam na mesma escala, evitando a influência do fator escala nos resultados dos agrupamentos.

iii. Escolha da medida de similaridade ou dissimilaridade: para proceder com análise de cluster é fundamental a escolha de um critério para medir as distâncias entre dois pontos, para dizer o quão parecido eles são. Uma forma de fazer isso é usar a medida de similaridade ou dissimilaridade. Na medida de similaridade, avalia-se o quão similares são os dois objetos, sendo quanto maiores os valores observados, mais similares, ao passo que a dissimilaridade mostra o quão distintos são dois objetos, sendo quanto maiores os valores observados, mais dissimilares. Outrossim, existem várias medidas de similaridade/dissimilaridade que podem ser utilizadas. Nesse trabalho, foi utilizada uma medida de dissimilaridade chamada de distância euclidiana por ser a mais utilizada em análise de cluster;

iv. Escolha do método aglomerativo. Após a escolha da medida de distância, faz-se necessário definir o processo de agrupamento. Existem diversos métodos e não se pode dizer que exista um método melhor a ser aplicado. Portanto, fica a critério do pesquisador definir qual método será mais adequado para o desenvolvimento do seu trabalho. Sendo assim, para a evolução deste estudo, utilizou-se o método hierárquico de Ward, que busca minimizar a variância dentro de um grupo e maximizar a variância entre os grupos.

v. Definição do número de grupos. Para definir o número de grupos que define a partição do conjunto de dados analisados, na literatura não existe um consenso sobre qual o melhor método. Porém, existem alguns critérios para auxiliar na decisão de qual o número ideal de grupos. Um desses critérios é a análise do comportamento do nível de fusão (distância), que consiste em analisar os pontos de saltos no gráfico das distâncias, em que saltos relativamente grandes indicam o momento de parada e o número ideal de grupos.

Assim como a análise de séries temporais, a análise de cluster também é aplicada em diversos ramos de pesquisa e de aplicações. Dentre vários trabalhos que podem ser encontrados na literatura científica e que utilizaram a técnica de análise de cluster, tem-se, como exemplos de aplicações da técnica: Silva *et al.* (2020), que fizeram uso dessa técnica da análise multivariada para fazer a setorização da coleta de RSU no município de Recife- PE; e Ortiz (2022), que propuseram formação de grupos dos estados brasileiros, utilizando como variáveis de agrupamento a emissão de CO₂ equivalente na atmosfera.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Anvisa). **Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/publicacoes/manual-gerenciamento-dos-residuos-de-servicos-de-saude.pdf/view>. Acesso em: 19 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: Abrelpe, 2016. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil: 2012: Especial de 10 anos, 2014**. São Paulo: Abrelpe, 2014. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2012/>. Acesso em: 12 mai. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil: 2018-2019**. São Paulo: Abrelpe, 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: 19 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil: 2020-2021**. São Paulo: Abrelpe, 2021. Disponível em <https://rmai.com.br/abrelpe-lanca-panorama-dos-residuos-solidos-no-brasil-2021>. Acesso em: 09 fev. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: resíduos sólidos classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRASIL. Congresso Nacional. Senado Federal. Resíduos sólidos: os lixões persistem. **Revista em Discussão!** Brasília, DF, Ano 5, n. 22, set. 2014. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/acervo-historico/em-discussao/arquivos/22/@@download>. Acesso em: 19 jun. 2022.

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. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 19 jun. 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento (SNS). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2018**. Brasília, DF: SNS/MDR, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis>. Acesso em: 19 jun. 2020.

CASTRO, M. A. de O. e. **Avaliação dos sistemas de gestão de resíduos sólidos dos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão, AM.** 2012. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/2647>. Acesso em: 19 jun. 2022.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado.** 3 ed. São Paulo: [s. n.], 2010.

CHECHI, L.; BAYER, F. M. Modelos univariados de séries temporais para previsão das temperaturas médias mensais de Erechim, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 16, n. 12, 1321–1329, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200009>.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Engenharia Sanitária & Ambiental**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 325–332, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522012000300009>

DUTRA, R. M. S.; *et al.* Avaliação de Metodologias de cobrança para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos para municípios brasileiros. In: SIBESA, 14, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: ABESm 2018. Disponível em: <https://lagesa.ufes.br/sites/lagesa.ufes.br/files/field/anexo/III-097.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2022.

EIGENHEER, E. M. **A história do lixo: a limpeza urbana através dos tempos.** Porto alegre: Gráfica Pallotti, 2009.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados.** 5. ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades.** [S. l.]: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 03 abr. 2021

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Perfil dos municípios brasileiros:** 2017. [S. l.]: IBGE, 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia/panorama>. Acesso em: 19 jun. 2022. Acesso em: 19 jun. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de saneamento básico.** [S. l.]: IBGE, 2000. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/instrumentos_de_coleta/doc0561.pdf. Acesso em: 09 set. 2013.

MARCHI, C. M. D. F.; *et al.* **Gestão dos resíduos sólidos: conceitos e perspectivas de atuação.** Curitiba: Appris. 1.ed., 223 p.; 2018.

MEIRELES, S. **Sistema municipal de informações sobre resíduos sólidos como instrumento de gestão e gerenciamento.** 2015. 305 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015. Disponível em: https://residuos.paginas.ufsc.br/files/2016/04/DISSERTACAO_SARA-MEIRELES_A5_final3-1.pdf. Acesso em: 10 jul. 2019.

MERELLES, L. R. O.; SILVA, C. O., LUZ, M. P.; MENEZES, J. E.; DIAS, V. S. Previsão de geração de resíduos sólidos para o aterro de Aparecida de Goiânia (GO) por séries temporais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 537–546, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019183284>.

MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 193 p.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais: modelos univariados**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

OECD. **Municipal waste generation – OECD Fact book 2009: economic, environmental and social**. [S. l.]: OECD, data. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-factbook-2009/municipal-waste_factbook-2009-67-en. Acesso em: 20 set. 2013.

ORTIZ, A. C. T. D. T. **Análise do comportamento estatístico das emissões de CO₂ no Brasil**. 2022. 50 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/34298>. Acesso em: 19 nov. 2022. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.65>

PEREIRA, M. J. **Análise da demanda e consumo de energia elétrica, utilizando séries temporais no Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia, MG**. 2018. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23776>. Acesso em: 19 jun. 2022.

PIMENTEL, C. H. L. **A gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB - à luz das rotas tecnológicas de tratamento**. 2017. 280 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, 2017. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/38723/4/TESE%20Cristine%20Helena%20Limeira%20Pimentel.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2022.

PNUMA – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. PNUMA no Brasil. **PNUMA**, 2014. Disponível em: <https://news.un.org/pt/tags/pnuma>. Acesso em: 10 mar. 2019

R CORE TEAM 2020. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 19 jun. 2022.

SILVA, M. I. S.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, [S. l.], v. 12, n. 5, p.480 - 485, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/9BR9BfCSCRsw4wBMnFN6tJP/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 19 jun. 2022.

SILVA, R. C. P. da; COSTA, A. R. S.; EL-DEIR, S. G.; JUCÁ, J. F. T. Setorização de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares por técnicas multivariadas: estudo de caso da cidade do

Recife, Brasil. **Eng Sanit Ambient.**, [S. l.], v.25, n.6, nov/dez, p. 821-832, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020200205>.

SILVEIRA, A. L.; BERTÉ, R.; PELANDA, A. M. **Gestão de Resíduos sólidos: cenários e mudanças de paradigmas**. Curitiba: InterSaberes, 2018. (Série desenvolvimento sustentável).

SINDICATO DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA (SELUR). **Três anos após a regulamentação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): seus gargalos e superações**. p. 83, 2014. Disponível em: https://selur.org.br/wp-content/uploads/2020/08/RELATORIO_EY-e-SELURB_Modelos-de-Cobran%C3%A7a-ao-Redor-do-Mundo-1.pdf. Acesso em: 19 jun. 2022.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. Itajubá: Unifei, 2012.

UBERLÂNDIA. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Coleta de resíduos**. Uberlândia: DMAE, 2020a. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae/servicos-dmae/coleta-de-residuos/>. Acesso em: 19 jun. 2020.

UBERLÂNDIA. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Coleta seletiva**. Uberlândia: DMAE, 2020b. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae/servicos-dmae/residuos-solidos/coleta-seletiva/>. Acesso em: maio 2021.

UBERLÂNDIA. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Programa de coleta seletiva coleta, transporte e destinação de resíduos sólidos recicláveis para associações e cooperativas de catadores (kg)**. Uberlândia: DMAE, 2020c. Disponível em: <https://docs.uberlandia.mg.gov.br/wp-content/uploads/2022/10/9.-TABELA-Coleta-Seletiva-SET-2022.pdf>. Acesso em: setembro 2022.

UBERLÂNDIA. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Uberlândia: Prefeitura, 2018. Disponível em: http://servicos.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/20610.pdf. Acesso em: 19 jun. 2022.

UBERLÂNDIA. Prefeitura Municipal. **Uberlândia com melhor Saneamento Básico**. Uberlândia: Prefeitura, 2021. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/2021/03/22/uberlandia-esta-entre-as-3-cidades-com-melhor-saneamento-basico-do-brasil/>. Acesso em: 19 set. 2021.

UBERLÂNDIA. Prefeitura **Plano de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos**. Uberlândia: Prefeitura, 2013. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mg/u/uberlandia/lei-ordinaria/2014/1195/11959/lei-ordinaria-n-11959-2014-aprova-o-plano-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos-pgirs-do-municipio-de-uberlandia>. Acesso em: 02 abr. 2018.

UBERLÂNDIA. Prefeitura. **Galpões de materiais recicláveis**. Uberlândia: Prefeitura, 2014. Disponível em: <https://www.amvapmg.org.br/1/uberlandia-novos-equipamentos-otimizam-trabalho-em-galpoes-de-reciclagem/>. Acesso em: nov. 2018.

UBERLÂNDIA. Prefeitura. **Lei Municipal nº 12.504, de 25 de agosto de 2016**. Dispõe sobre os serviços público de Coleta Solidária dos Resíduos Recicláveis no Município de Uberlândia.

Uberlândia: Prefeitura, 2016. Disponível em:
<https://leismunicipais.com.br/a/mg/u/uberlandia/lei-ordinaria/2016/1250/12504/lei-ordinaria-n-12504-2016-dispoe-sobre-o-servico-publico-de-coleta-seletiva-solidaria-dos-residuos-reciclaveis-no-municipio-de-uberlandia-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 20 jan. 2021.

CAPÍTULO 2: RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UBERLÂNDIA-MG: ANÁLISE TEMPORAL

Resumo

A destinação de resíduos sólidos nas cidades é de fundamental importância do ponto vista ambiental, social e econômico. A presente pesquisa tem por finalidade descrever o comportamento temporal do quantitativo da coleta de resíduos sólidos na cidade de Uberlândia-MG, identificando a ocorrência de sazonalidade e tendências no quantitativo da coleta regular e da coleta seletiva e obtendo modelos de séries temporais para realizar previsões do quantitativo de resíduos sólidos. Foram ajustados os modelos SARIMA (3,0,0) (2,1,0) com deslocamento e SARIMA (3,1,0) (0,0,2), respectivamente, para os resíduos destinados ao aterro sanitário e para os resíduos destinados à reciclagem. A análise de séries temporais se mostrou eficaz na descrição e previsão da geração de resíduos sólidos em Uberlândia - MG.

Palavras-chave: meio ambiente; resíduos sólidos; séries temporais.

SOLID URBAN WASTE IN UBERLÂNDIA-MG: TIME ANALYSIS

Abstract

The disposal of solid waste in cities is of fundamental importance from an environmental, social and economic point of view. This research aims to describe the temporal behavior of the quantity of solid waste collection in the city of Uberlândia-MG, identifying the occurrence of seasonality and trends in the quantity of regular collection and selective collection and obtaining time series models to make predictions of the amount of solid waste. The SARIMA (3,0,0) (2,1,0) with displacement and SARIMA (3,1,0) (0,0,2) models were adjusted, respectively, for the waste destined to the sanitary landfill and for the waste destined for recycling. The time series analysis proved to be effective in the description and prediction of solid waste generation in Uberlândia - MG.

Keywords: environmental; solid waste; time series.

RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UBERLÂNDIA-MG: ANÁLISIS DEL TIEMPO

Resumen

La disposición de los residuos sólidos en las ciudades es de fundamental importancia desde el punto de vista ambiental, social y económico. Esta investigación tiene como objetivo describir el comportamiento temporal de la cantidad de residuos sólidos recolectados en la ciudad de Uberlândia-MG, identificando la ocurrencia de estacionalidad y tendencias en la cantidad de recolección regular y selectiva y obteniendo modelos de series de tiempo para hacer predicciones de la cantidad de residuos sólidos. Se ajustaron los modelos SARIMA (3.0.0) (2.1.0) con desplazamiento y SARIMA (3.1.0) (0.0.2), respectivamente, para los residuos destinados a relleno sanitario y para los residuos destinados a reciclaje. El análisis de series de tiempo demostró ser efectivo en la descripción y predicción de la generación de residuos sólidos en Uberlândia - MG.

Palabras-clave: medio ambiente; residuos sólidos; series de tiempo.

1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental é multifacetada, global e se constitui como um dos problemas mais desafiadores da humanidade na atualidade. Os danos ao meio ambiente, com destaque para a grande quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), gerados pela sociedade com crescente padrão consumista, causam efeitos negativos não apenas no espaço local, mas que podem ser sentidos em todo o planeta.

Diante desse problema mundial, Waldman (2010) afirma que a sociedade contemporânea está diante de um verdadeiro dilúvio de lixo, e a dimensão desse problema para o meio ambiente lança um desafio recorrente para a atual sociedade e gerações futuras. Assim, diversos países do mundo têm promulgado legislações com o objetivo de garantir o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e mitigar os danos causados pelo lixo no solo, no ar e nos recursos hídricos.

Diante desse contexto, frente à necessidade de manejo adequado dos resíduos sólidos no Brasil, foi editada a Lei n. 12.305/2010, da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), que prevê o desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar, por meio de seus instrumentos, a formulação, a

implementação e a avaliação de programas eficientes de gestão de resíduos, por exemplo, a regulamentação de aterros sanitários ou a adesão a programas de coleta seletiva, priorizando a redução, o reuso, a reciclagem, o tratamento e a disposição com a destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2013).

Dados divulgados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) demonstram que a quantidade de lixo produzido no Brasil vem crescendo anualmente. Entre 2010 e 2019, a geração de RSU no Brasil registrou considerável incremento, passando de 67 milhões para 79 milhões de tonelada por ano. Por sua vez, a geração per capita aumentou de 348 kg/ano para 379 kg/ano (ABRELPE, 2021).

Nesse viés, Marchi *et al.* (2018) destacam que a gestão inadequada dos resíduos tem efeitos prejudiciais à saúde pública e à degradação ambiental em geral, além de gerar mal-estar urbanístico na paisagem da cidade. Em razão disso, a realidade do setor de resíduos no saneamento brasileiro é marcada por um cenário bastante complexo e heterogêneo. Segundo a Abrelpe (2019), um a cada 12 brasileiros ainda não têm acesso à coleta regular de lixo.

Aliado a esse cenário, observa-se a escassez de investimento público nos serviços ligados a resíduos, carência de regulação e controle social, além de baixos índices de coleta seletiva e recuperação de materiais (MARCHI *et al.*, 2018).

De acordo com Selur (2010) e Dutra *et al.* (2018), muitos estudiosos do assunto defendem a cobrança de taxas de coleta de lixo por seu “caráter pedagógico”, como meio de estimular condutas ambientalmente corretas e como fator de estímulo para a redução na produção de resíduos.

Em vista desse panorama, a reciclagem surge com uma alternativa que, além de promover a redução da disposição de resíduos nos aterros, estimula aspectos socioeconômicos, como a criação de empregos. Além disso, o processo de reciclagem se inicia com a coleta seletiva, sendo o termo utilizado para o ato de reaproveitamento de materiais para a confecção de um novo produto (BRASIL, 2010). Marchi *et al.* (2018) destacam a contribuição da reciclagem no desempenho econômico das empresas, nos resultados ambientais advindos da redução de resíduos sólidos destinados aos aterros sanitários e aos lixões e, principalmente, na geração de trabalho e renda para os catadores das cooperativas de materiais recicláveis.

Nesse contexto, emerge o objeto desse estudo: o município de Uberlândia. esse município é o segundo maior do estado de Minas Gerais, com população estimada de 700.000 habitantes em 2021 e apresenta grandes desafios em relação a gestão dos resíduos sólidos produzidos na cidade (IBGE, 2021).

Ademais, as técnicas de análises estatísticas de dados podem contribuir com o conhecimento do comportamento temporal dessa variável e contribuir com a gestão dos RSU na cidade.

Dentre as diversas metodologias de análises estatísticas de dados, tem-se a análise de séries temporais. Essa metodologia é definida por Morettin e Toloí (2018) como a análise de dados medidos ao longo do tempo, em que um dos objetivos é obter modelos que descrevam e destacam a ocorrência de sazonalidade e tendência na variável em análise.

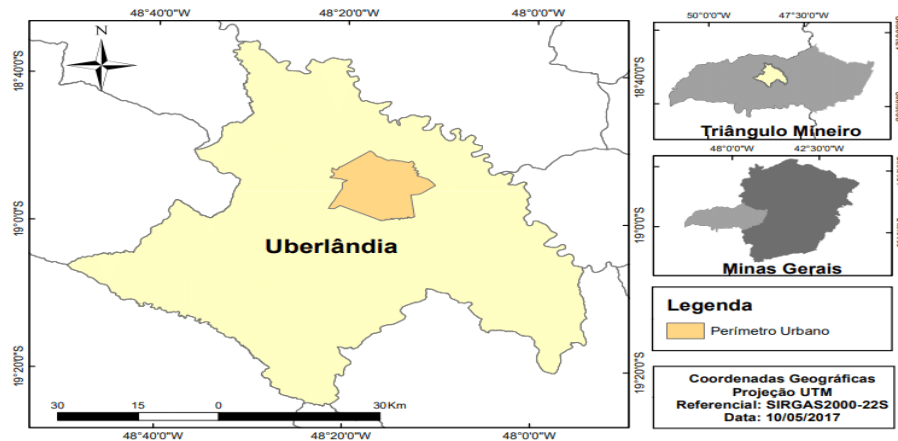
Diversos estudos em várias áreas de conhecimento têm sido realizados em séries temporais. Como exemplos, pode-se citar: Pimentel (2017), que avaliou a gestão de resíduos sólidos da construção civil, na cidade de João Pessoa – PB, utilizando metodologias de séries temporais; Merelles *et al.* (2019), que utilizaram séries temporais para prever a geração de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário de Aparecida de Goiás e concluíram que a modelagem pode contribuir com o gerenciamento dos resíduos sólidos para reduzir impactos ambientais; Pereira (2018), que também trabalhou com a análise temporal do consumo de energia elétrica na Universidade Federal de Uberlândia; por fim, Chechi e Bayer (2012), Araújo *et al.* (2009), Silva *et al.* (2008), que utilizaram a técnica de séries temporais aplicadas a dados climáticos.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi descrever o comportamento temporal do quantitativo de resíduos sólidos urbanos destinados ao aterro sanitário e às cooperativas de recicladores, na cidade de Uberlândia – MG, utilizando a modelagem por séries temporais.

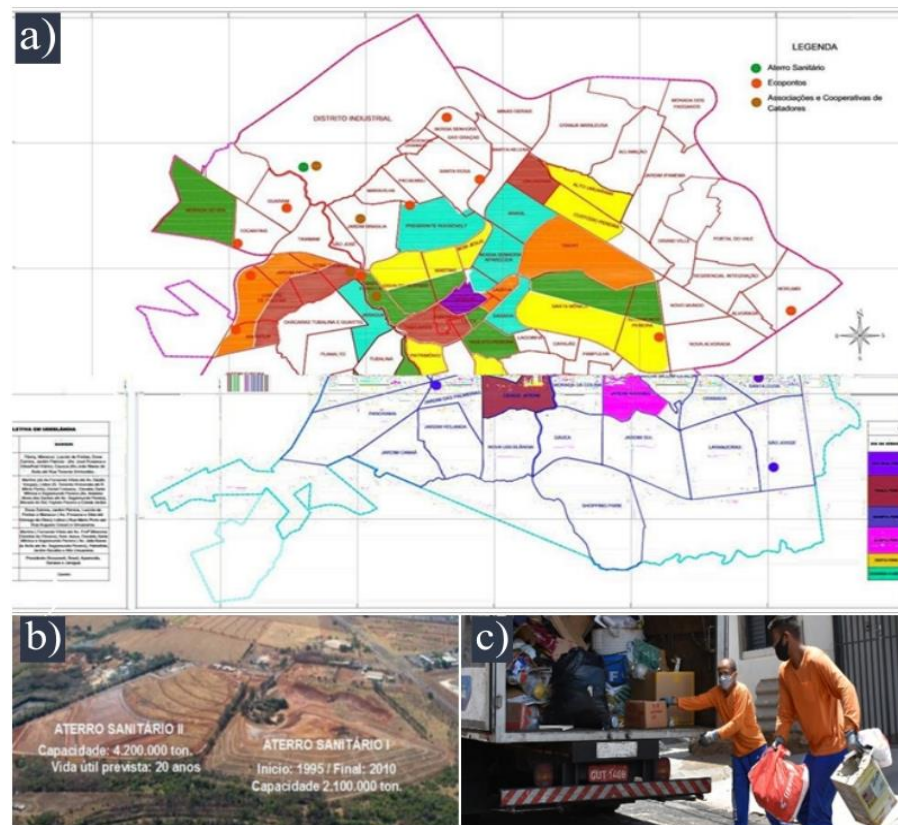
2 DESENVOLVIMENTO

O município de Uberlândia – MG situa-se na região do Triângulo Mineiro (figura 1) e conta com o serviço de coleta de resíduos destinados ao aterro sanitário e também com a coleta seletiva de resíduos destinados às cooperativas e às associações de recicladores, conforme ilustrado na figura 2.

Figura 1 - Mapa de localização de Uberlândia-MG.



Fonte: Silva e Leite (2018).

Figura 2 - Localização do aterro sanitário em Uberlândia e o processo de coleta dos resíduos³.

Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico-Uberlândia (2018).

Os dados referentes ao quantitativo de resíduos sólidos na cidade de Uberlândia – MG são de domínio público e encontram-se disponibilizados no site do Departamento Municipal de

³ a) localização do aterro sanitário e das associações e cooperativas de recicladores com os bairros atendidos pela Coleta Seletiva no Município de Uberlândia (ainda em implantação 2019); b) Vista aérea do Aterro Sanitário – desativado I e em funcionamento II; c) ilustração da Coleta seletiva.

Água e Esgoto (DMAE) (UBERLÂNDIA, 2021). Para esse estudo, os quantitativos totais mensais, em kg, foram divididos pela população urbana da cidade no respectivo ano, obtendo-se o quantitativo per capita mensal, também expresso em kg.

Na análise do quantitativo per capita de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário, foram utilizadas as informações referentes ao período de janeiro de 2010 a dezembro de 2020 e para o quantitativo per capita de resíduos sólidos destinados a coleta seletiva, considerou-se o período de janeiro de 2012 a dezembro de 2020. As informações disponíveis para o ano de 2021 foram utilizadas para verificar a qualidade e a capacidade do modelo ajustado fazer as previsões.

A coleta regular de RSU, em Uberlândia-MG, consiste no recolhimento do lixo domiciliar, das feiras livres, das instituições urbanas (escolas, comércio, lixo comum de hospitais), estradas da zona rural, varrição e capina das ruas e avenidas, além dos rejeitos dos materiais não aproveitados pela coleta seletiva e são destinados ao aterro sanitário (UBERLÂNDIA, 2021).

A coleta seletiva teve início no município em 2011 sob a gestão da prefeitura municipal. Em 2017, passou a ser gerida pelo DMAE, que vem ampliando gradativamente a cobertura do serviço na cidade. Os materiais recicláveis são recolhidos em dias específicos conforme a programação de cada bairro e são encaminhados para as associações e cooperativa conveniadas à prefeitura municipal. Todo material encaminhado para os galpões é triado e comercializado pelos próprios catadores, promovendo a inclusão social dos catadores e gerando trabalho e renda. O município conta atualmente com 5 associações e 1 cooperativa (UBERLÂNDIA, 2021).

As análises descritivas das séries foram feitas por meio de gráficos e do cálculo das medidas de posição e de dispersão. Os componentes de sazonalidade e de tendência foram verificados, preliminarmente, por meio de análise de variância (ANOVA) no delineamento em blocos ao acaso (DBC), em que os anos foram considerados como tratamentos e indicam a presença ou não de tendência. Os meses, por sua vez, foram considerados os blocos e indicaram a presença ou ausência de sazonalidade. Esses procedimentos foram realizados em conformidade com Araújo *et al.* (2009).

Em seguida, os dados foram submetidos aos procedimentos de análise de séries temporais visando obter o modelo que representasse os quantitativos per capita de RSU destinados ao aterro sanitário e os destinados às cooperativas de recicladores na cidade.

Na etapa seguinte, os modelos ajustados foram utilizados para fazer previsões para os quantitativos mensais no ano de 2021. Desse modo, para verificar a qualidade de ajuste dos

modelos, os valores mensais previstos foram comparados com os valores realizados no ano de 2021, utilizando cálculos de erros percentuais médios e análise gráfica. Assim sendo, todas as análises estatísticas dos dados foram feitas no programa computacional de livres acesso R (R CORE TEAM, 2020).

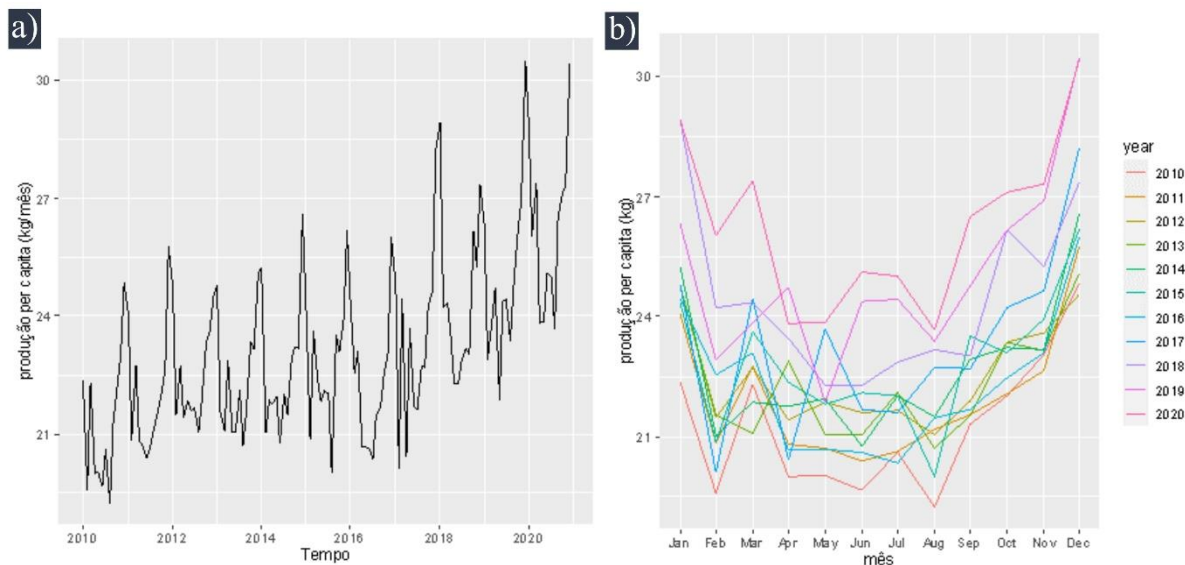
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RSU destinados ao aterro sanitário:

Na figura 3a e 3b, é possível visualizar o comportamento geral da série do quantitativo (kg/hab-mês) de resíduos sólidos que foram destinados ao aterro sanitário de Uberlândia, no período de janeiro de 2010 a dezembro de 2020. Verifica-se, a princípio, a tendência de crescimento médio ao longo dos anos e também a possível sazonalidade desse quantitativo que é representado pelos picos observados na figura 3a. Na figura 3b, nota-se que os menores quantitativos foram observados nos anos iniciais da série e que os maiores quantitativos foram observados nos anos finais. Ainda na figura 3b, pode-se observar que os meses de janeiro e dezembro são aqueles que, no geral, apresentam os maiores quantitativos e os meses de maio a junho possuem os menores quantitativos. Esse comportamento sazonal é justificado e, ademais, resultados semelhantes foram obtidos por Merelles *et al.* (2019) ao avaliarem a série de RSU na cidade de Aparecida de Goiânia (GO).

Figura 3 - Representação gráfica da série temporal do quantitativo per capita de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia – MG⁴.

⁴ a) representação geral; b) representação dos meses para cada ano.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Ao se proceder a análise de variância (ANOVA), considerando os fatores de análise como sendo os anos (representado a tendência dos dados) e os meses (representando a sazonalidade, observaram-se valores-p altamente significativos (valor- $p < 0,00001$). Portanto, verifica-se a ocorrência significativa de tendência e de sazonalidade na série do quantitativo de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário de Uberlândia, confirmando as observações feitas nas figuras 3a e 3b.

Além disso, na tabela 1 são apresentados os valores médios dos quantitativos per capita de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário e os respectivos grupos formados por meio do teste de Scott-Knott.

Tabela 1 - Valores médios dos quantitativos per capita de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia – MG.

Ano	Média*	Mês	Média*
2010	21.249a	Janeiro	25.358d
2011	21.948b	Fevereiro	21.917 ^a
2012	22.492c	Março	23.410b
2013	22.358c	Abril	22.029a
2014	22.668c	Mai	21.799a
2015	22.821d	Junho	21.779a
2016	22.256c	Julho	22.111a
2017	23.273d	Agosto	21.645a
2018	24.438e	Setembro	22.849b
2019	25.013e	Outubro	23.926c

2020	26.260f	Novembro	24.245c
		Dezembro	26.869e

*Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, com significância de 5%.

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Mediante os dados observados, os grupos formados revelaram que o maior quantitativo per capita ocorreu no ano de 2020 e que este se diferiu estatisticamente de todos os demais anos. Ainda, os grupos formados para os anos enfatizam o crescimento da produção de lixo residencial destinado ao aterro, com pequenos períodos de estabilidade. Nesse caso, nota-se, na cidade, o crescimento per capita RSU em consonância com as observações realizadas por Abrelpe (2021), ao enfatizar que a geração per capita de RSU aumentou de 348 kg/ ano para 379 kg/ano, entre 2010 e 2019.

Na análise dos meses, destaca-se dezembro com o maior quantitativo per capita. Nesse mês, esperou-se que o quantitativo fosse aproximadamente 15% superior à média anual. Já os meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho e agosto apresentaram os menores quantitativo, sendo, em média, 5% inferior à média anual.

Essa análise demonstra que o comportamento sazonal identificado pode estar relacionado a maior injeção de recursos financeiros na economia brasileira nos últimos meses de cada ano, e também em função das datas comemorativas de fim de ano. Dias *et al.* (2012) argumentam que, nos últimos meses do ano, são injetados bilhões de reais na economia, aumentando o poder de compra dos consumidores, principalmente dos período das festas de final de ano (dezembro) e férias escolares (janeiro), favorecendo o aumento do consumo em geral e consequentemente a maior geração de RSU, dos quais grande parte são destinados aos aterros sanitários.

Esse movimento crescente da produção per capita de RSU, na cidade de Uberlândia, indica a urgente necessidade de repensar as práticas individuais e coletivas junto ao meio ambiente e faz o alerta quanto à necessidade do descarte correto do lixo. Também, é mostrado, na política de gestão dos RSU, a necessidade de campanhas de conscientização da população com o objetivo de reduzir a produção de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário.

Para Barros (2012), a gestão integrada de resíduos sólidos é uma tarefa difícil devido a sua complexidade, pois envolve diversos tipos de profissionais, necessita de um arranjo legal-institucional compatível e, além disso, é necessário o controle social e uma contínua negociação

política, com ajustes contínuos para conseguir estabelecer sistemas de gestão integrada sustentável de resíduos sólidos.

Em complementação da análise descritiva dos dados de RSU, verificaram-se autocorrelações significativas para a série, o que possibilitou a aplicação da função SARIMA do programa R para a obtenção de um modelo que descreva o comportamento dessa variável ao longo do tempo.

O modelo ajustado aos quantitativos per capita, no período de 2010 a 2020, foi o SARIMA (3,0,0) (2,1,0) com deslocamento (drift), cujas estimativas dos parâmetros encontram-se na tabela 2.

Tabela 2 - Estimativas dos parâmetros do modelo SARIMA (3,0,0) (2,1,0) ajustado à série temporal de RSU destinados ao aterro sanitário, em Uberlândia - MG.

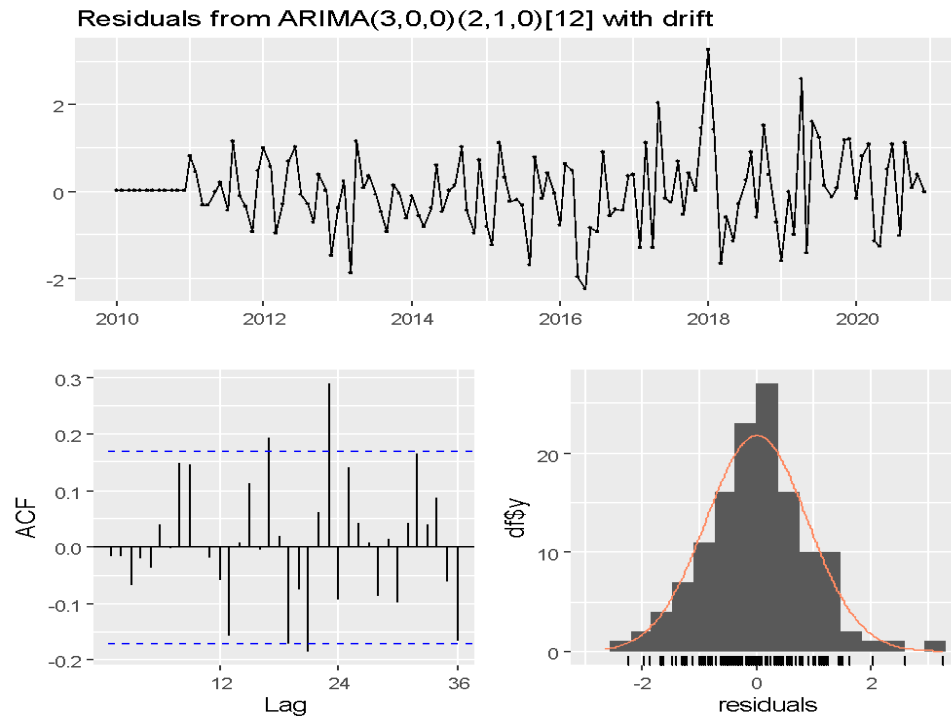
Estimativas	Componentes do modelo					
	Ar1	Ar2	Ar3	Sar1	Sar2	Drift
Coefficientes	-0,021	0,3021	0,4642	-0,7345	-0,2251	0,0415
Erro padrão	0,0863	0,0772	0,0909	0,0996	0,0998	0,0143

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

O modelo ajustado pode ser utilizado tanto na descrição do comportamento temporal do quantitativo de RSU produzidos pela população de Uberlândia quanto para a previsão da produção em tempos futuros. Esse modelo indicou que o comportamento temporal é descrito por três componentes autorregressivos na parte não sazonal e por dois componentes autorregressivos que descrevem a sazonalidade dos dados.

Na figura 4, são apresentadas as análises dos resíduos do modelo ajustado, indicando uma performance satisfatória do mesmo, em que se observa resíduos aleatórios com distribuição tendendo à normal, e a maioria das autocorrelações dos resíduos do modelo dentro do intervalo de confiança de 95%, o que indica autocorrelações estatisticamente iguais a zero. Ainda, o fato de algumas autocorrelações de resíduos extrapolarem o intervalo de confiança podem estar associados a presença de valores discrepantes na série, fato comum em séries de dados reais.

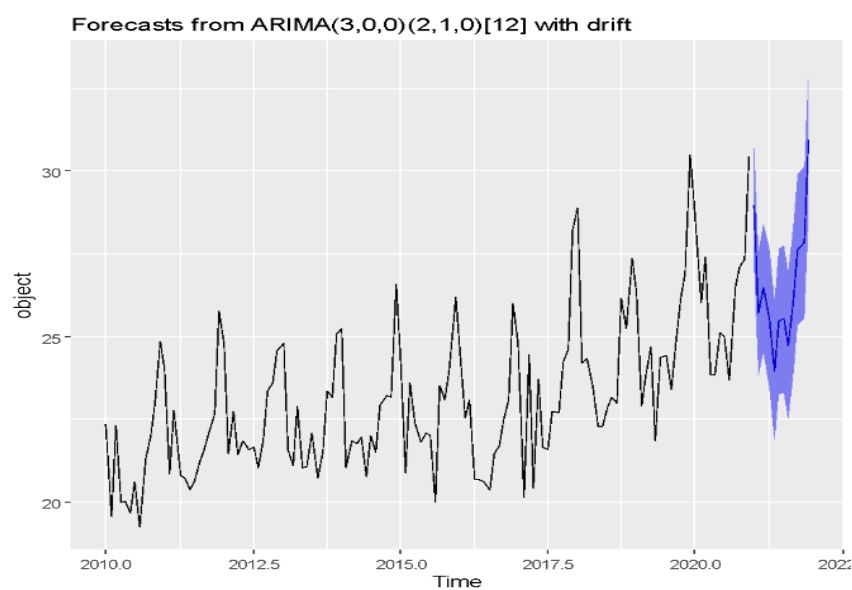
Figura 4 - Análise dos resíduos do modelo SARIMA (3,0,0) (2,1,0) ajustado à série temporal de RSU destinados ao aterro sanitário em Uberlândia – MG.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Na figura 5, é mostrada a série temporal dos dados observados no período de 2010 a 2020, com as estimativas realizadas pelo modelo ajustado e o respectivo intervalo de confiança de 95%.

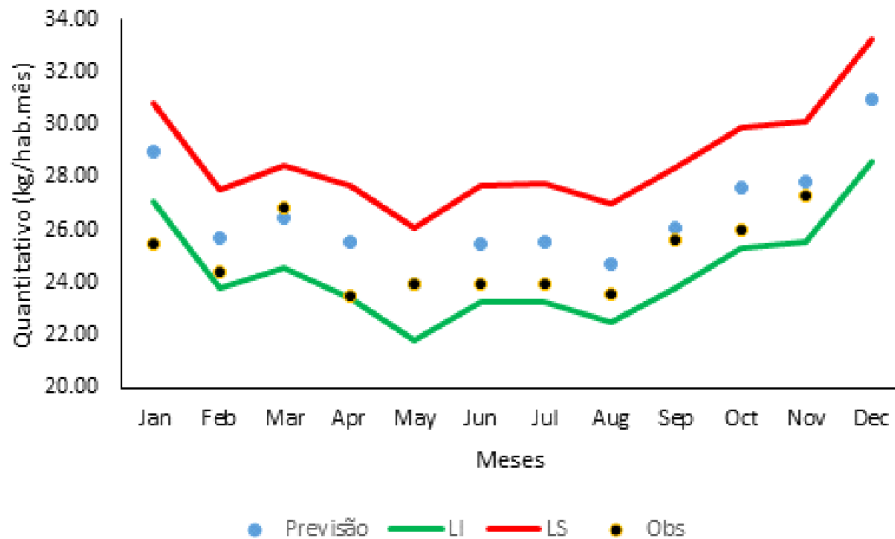
Figura 5 - Série temporal dos RSU destinados ao aterro sanitário, na cidade de Uberlândia-MG, com as estimativas e os intervalos de confiança de 95% para o ano de 2021.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Ademais, o comparativo entre os dados reais (observados) e os estimados pelo modelo com os intervalos de confiança de 95%, para o ano de 2021, é apresentado na figura 6.

Figura 6 - Comparativo entre os dados reais de RSU destinados ao aterro sanitário e os estimados pelo modelo SARIMA (3,0,0) (2,1,0) para 2021.



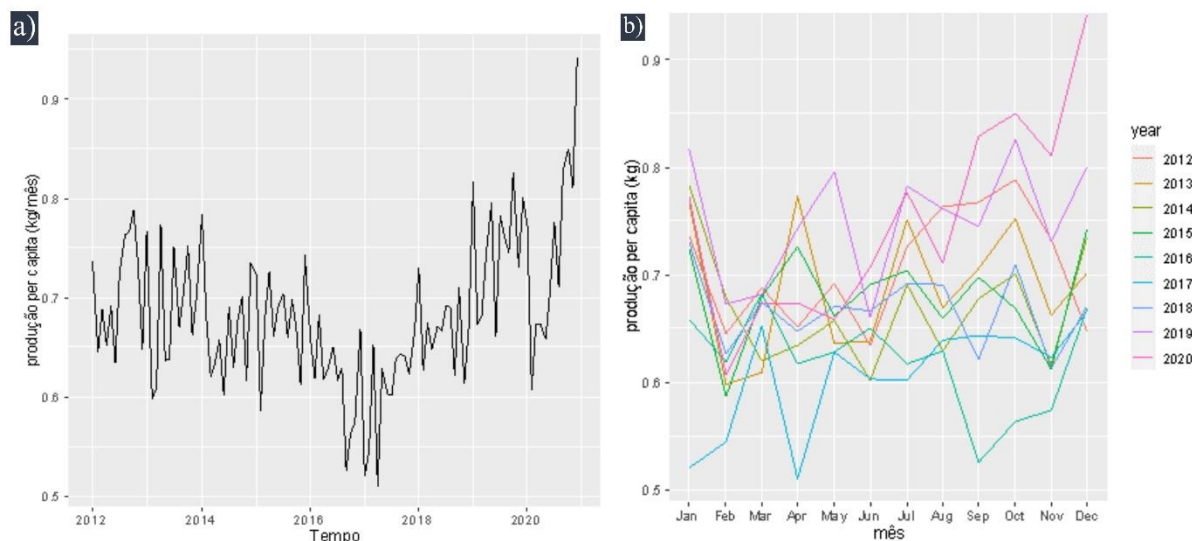
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Diante disso, nota-se que, na maior parte dos meses de 2021, o modelo ajustado superestimou o quantitativo de resíduos sólidos. Esse fato pode estar associado à ampliação do programa de coleta seletiva na cidade de Uberlândia e a maior conscientização da população em relação a destinação correta dos RSU na cidade.

Entretanto, cabe salientar que o percentual de crescimento anual no quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia está em consonância com a média do Brasil que, de acordo com ABRELPE (2021), foi de 4% em 2020. Por outro lado, no município, foi observado crescimento de 5% no quantitativo per capita de 2019 para 2020.

3.2 RSU destinados à reciclagem:

As figuras 7a e 7b, por sua vez, mostram o comportamento da série temporal do quantitativo de RSU destinados à reciclagem, por meio da coleta seletiva, em Uberlândia-MG no período de janeiro de 2012 a dezembro de 2020.

Figura 7 - Produção per capita dos resíduos da coleta seletiva⁵.

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Essas figuras mostram que, para os resíduos recicláveis, não ocorre um padrão claro de comportamento dos dados ao longo dos anos, conforme observado nos resíduos destinados ao aterro sanitário (figuras 3a e 3b). Isso pode estar ocorrendo em função desse tipo de coleta ainda estar em fase de implementação na cidade, com a inclusão de novos bairros no serviço de coleta seletiva. Portanto, a série temporal ainda não apresenta estabilidade no tempo e o quantitativo per capita coletado sofre a influência da inclusão de novos setores no programa da coleta.

A conscientização da população em relação a importância ambiental, social e econômica da separação dos resíduos sólidos recicláveis também se configura como fator relevante que pode alterar significativamente a forma de destinação dos RSU na cidade.

Apesar da instabilidade do comportamento dos dados da coleta seletiva nesse período, os estudos e análises provenientes dessa variável podem dar suporte para que outras análises e inferências possam ser realizadas no futuro.

Em um comparativo geral entre os dados da coleta seletiva e da coleta convencional, no ano de 2020, verificou-se que o percentual médio dos resíduos que são destinados à reciclagem foi de apenas de 2,7% do total coletado no município, ou seja, aproximadamente 97% dos resíduos sólidos gerados nas residências são destinados ao aterro sanitário. Isso mostra que ainda existe um grande potencial para as ações do poder público e da sociedade civil que busquem o crescimento da coleta seletiva na cidade, impactando, de forma positiva, não só na melhoria da qualidade do meio ambiente, mas também na qualidade de vida da população.

⁵ a) comportamento geral; b) comportamento anual.

Outrossim, a análise da figura 7a indica que, a partir do início da gestão da prefeitura no ano de 2017, a série dos resíduos destinados à reciclagem apresentou, no geral, tendência de crescimento, se assemelhando em comportamento à série de RSU destinados ao aterro (figura 3a). Esse fato mostra a importância da gestão do setor público nos serviços de coleta de RSU nas cidades, pois, geralmente, o poder público apresenta maior disponibilidade de recursos financeiros e materiais para sua execução. Também, destaca-se que campanhas informativas e de conscientização sobre a coleta seletiva, assim como a maior abrangência da coleta seletiva na cidade, podem ter influenciado no maior aporte do quantitativo per capita.

Nesse sentido, a anova também revelou para esses dados a ocorrência significativa (valor-p <0,001), tanto da componente de tendência como para o componente sazonal. Isso indica que o modelo, ao explicar o comportamento temporal do quantitativo de resíduos recicláveis, deve considerar os componentes tendência, sazonalidade e ruído branco.

Na tabela 3, são apresentados os valores médios dos quantitativos per capita de resíduos sólidos destinados à reciclagem e os respectivos grupos formados por meio do teste de Scott-Knott. Conforme já discutido anteriormente, os agrupamentos para os anos não permitiram obter grupos com médias sequenciais crescentes ao longo do tempo, dificultando a detecção de tendência nos dados. Por outro lado, para os agrupamentos formados pelos meses, verificou-se que os meses de janeiro, julho, setembro, outubro e dezembro são aqueles que apresentaram o maior quantitativo per capita de RSU recicláveis.

Tabela 3 - Valores médios dos quantitativos per capita de resíduos sólidos destinados à reciclagem, na cidade de Uberlândia – MG.

Ano	Média*	Mês	Média*
2012	0,707c	Janeiro	0,723b
2013	0,689b	Fevereiro	0,621a
2014	0,669b	Março	0,661a
2015	0,679b	Abril	0,663a
2016	0,605a	Maio	0,671a
2017	0,620a	Junho	0,650a
2018	0,667b	Julho	0,704b
2019	0,750d	Agosto	0,683a
2020	0,751d	Setembro	0,691b
		Outubro	0,722b
		Novembro	0,662 ^a a
		Dezembro	0,731b

*Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, com significância de 5%.

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Na análise prévia dos dados para o ajuste do modelo de séries temporais que descrevem o comportamento dos RSU recicláveis, pode-se verificar a presença de autocorrelações significativas tanto para a componente de tendência quanto para o componente sazonal. Em razão disso, o modelo ajustado para os RSU recicláveis foi o SARIMA (3,1,0) (0,0,2), em que as estimativas dos parâmetros desse modelo são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros do modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2) ajustado à série de RSU destinados às cooperativas de reciclagem.

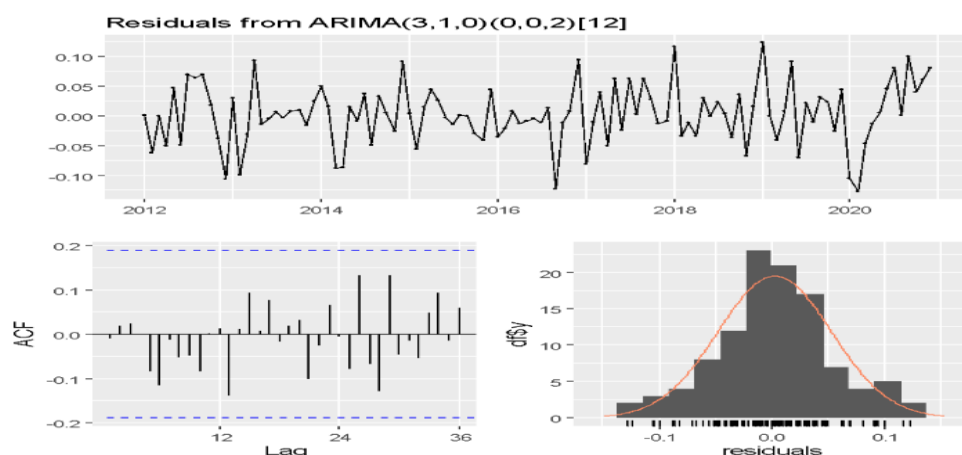
Estimativas	Componentes do modelo				
	Ar1	Ar2	Ar3	Sma1	Sma2
Coeficientes	-0,6323	-0,4102	0,1651	0,2568	0,3145
Erro padrão	0,0987	0,1079	0,0969	0,1059	0,1306

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Nesse caso, a parte não sazonal dos dados foi representada por três fatores autorregressivos, e o componente sazonal é descrito por meio de dois componentes de médias móveis.

A análise dos resíduos do modelo ajustado (figura 8) indica que o modelo ajustado pode ser utilizado, de forma satisfatória, na descrição dos dados, ou seja, o modelo atende aos pressupostos da análise estatística, que são erros aleatórios, com média zero, com distribuição tendendo à normal e não correlacionados.

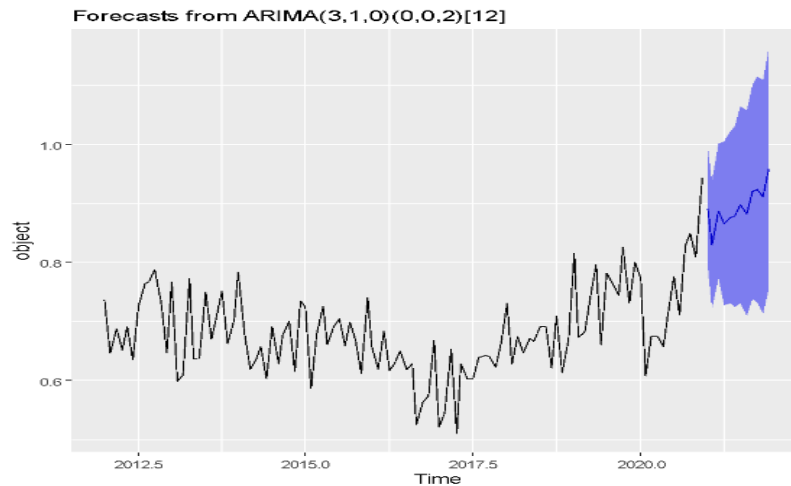
Figura 8 - Análise dos resíduos do modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2) ajustado à série de RSU da coleta seletiva de Uberlândia – MG.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Desse modo, as estimativas realizadas pelo modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2), com os respectivos intervalos de confiança, são representadas na figura 9.

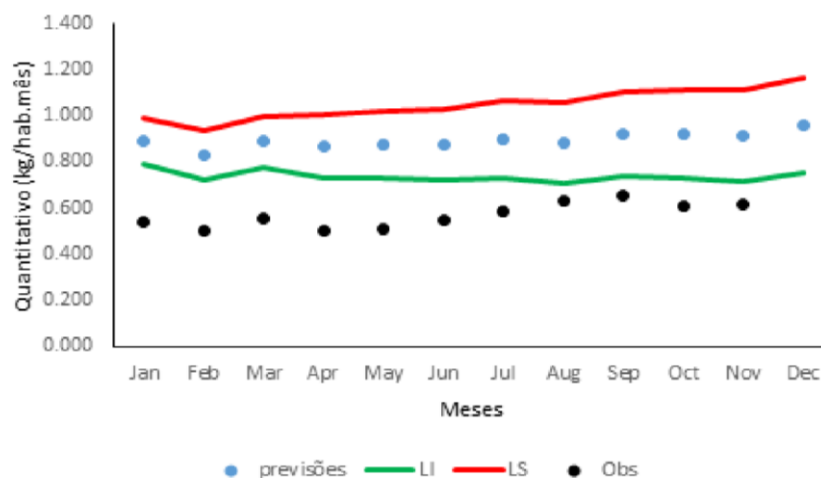
Figura 9 - Série temporal dos RSU da coleta seletiva, no período de 2012 a 2020, com os valores estimados pelo modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2), no ano de 2021 e os limites dos intervalos de confiança de 95% para as estimativas.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Na figura 10, são apresentados os dados observados e os estimados pelo modelo para os meses do ano de 2021.

Figura 10 - Comparativo entre os dados reais e os estimados pelo modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2), da coleta seletiva de 2021.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Dessa forma, as informações contidas na figura 10 mostram que, para todos os meses de 2021, os quantitativos per capita da coleta ficaram abaixo dos valores previstos pelo modelo SARIMA (3,1,0) (0,0,2), principalmente nos primeiros meses do ano que se encontram bem aquém do limite inferior do intervalo de confiança de 95% das estimativas. O erro médio das estimativas no período de janeiro a dezembro de 2021 foi de 56,3%, que pode ser considerado um valor expressivo.

Cabe ressaltar, ainda, que o ajuste do modelo leva em consideração toda a série temporal e que o comportamento inicial dos dados (2012 – 2017) estão influenciando no ajuste do modelo e, por consequência, nas estimativas realizadas pelo modelo, o que pode ser visualizado na figura 9. Espera-se que, com a finalização da implantação do serviço de coleta seletiva na cidade, tenha-se uma série mais estável, que induzirá em ganho significativo na qualidade das previsões com a redução dos erros de estimativas.

Por fim, as informações disponibilizadas em DMAE (2021) mostram que a população atendida pela coleta seletiva na cidade era de aproximadamente 300.000 habitantes em 2020 e que, em 2021, passou para 500000 habitantes. Dessa forma, vislumbra-se a necessidade de que esses 200.000 novos habitantes inseridos no serviço tenham um tempo para se adaptar e se habituar com a coleta seletiva, e isso faz com que o quantitativo per capita apresente redução e que fique aquém do valor projetado pelo modelo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível ajustar modelos de séries temporais que descreveram o comportamento do quantitativo de RSU destinados tanto ao aterro sanitário quanto às associações de recicladores na cidade de Uberlândia –MG. Esses modelos ajustados também podem ser utilizados para se fazer previsões para tempos futuros.

Diante disso, o modelo ajustado para RSU destinados ao aterro sanitário foi o SARIMA (3,0,0) (2,1,0) com drift e o modelo para RSU com destinação a reciclagem foi o SARIMA (3,1,0) (0,0,2). Para ambas as situações, foram detectadas as componentes de tendência e de sazonalidade significativas na série.

Dessa forma, a análise de séries temporais é uma proposta metodológica interessante para descrever o comportamento do quantitativo de RSU em Uberlândia e que podem apresentar boa precisão na realização de previsões dos quantitativos de resíduos produzidos pela população.

O modelo apresentou maior eficácia nas previsões para os RSU destinados ao aterro sanitário em função desse processo já se encontrar totalmente implantado no município há muitos anos. Entretanto, mesmo para os RSU destinados à reciclagem, que ainda se encontram em fase de implementação, a metodologia de análise de séries temporais se mostrou promissora no sentido do planejamento da coleta e de processos de melhorias do serviço no município.

Os modelos podem ser continuamente calibrados com a inclusão de novos valores, o que pode contribuir com as previsões e com o planejamento contínuo sobre ações a serem desenvolvidas nesse setor.

Portanto, se faz necessário o aprimoramento de políticas públicas e a maior conscientização da população uberlandense visando à redução da produção de RSU destinados ao aterro sanitário e o aumento da produção de resíduos destinados à reciclagem.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. F. C.; GUIMARÃES, E. C.; CARVALHO, D. F.; ARAÚJO, L. B. Precipitação pluviométrica mensal no estado do Rio de Janeiro: sazonalidade e tendência. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 90-100, 2009. Disponível em: Precipitação pluviométrica mensal no estado do Rio de Janeiro: sazonalidade e tendência. Acesso em: 19 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**: 2012. Edição Especial de 10 anos. [S. l.]: Abrelpe, 2012. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>. Acesso em: 12 maio 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**: 2018-2019. [S. l.]: Abrelpe, 2018. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: 19 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**: 2020-2021. [S. l.]: Abrelpe, 2021. Disponível em <https://rmai.com.br/abrelpe-lanca-panorama-dos-residuos-solidos-no-brasil-2021>. Acesso em 09 fev. 2022

BARROS, R. T. V. **Elementos de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Lançamento Diagnóstico Resíduos sólidos 2013**. Brasília, DF 2015. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-rs-2013>. Acesso em: 02 ago. 2021.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 244. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico_RS2019.pdf. Acesso em: 19 jun. 2022.

CHECHI, L.; BAYER, F. M. Modelos univariados de séries temporais para previsão das temperaturas médias mensais de Erechim, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 16, n. 12, p. 1321–1329, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200009>.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Engenharia Sanitária & Ambiental**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 325-332, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522012000300009>

DUTRA, R. M. S. *et al.* **Avaliação de metodologias de cobrança para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos para municípios brasileiros**. [S. l.]: ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. [S. l.]: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/uberlandia>. Acesso em: 23 jan. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Resíduos sólidos urbanos**. [S. l.]: IPEA, 2012. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf. Acesso em: 13 mai. 2021.

LIMA, J. D. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 267 p.

MAIA, C. V. A.; *et al.* Reflexões sobre a cobrança pelos serviços de gestão dos resíduos sólidos em municípios cearenses consorciados. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, [S. l.], v. 9, p. 668-682, 28 out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.24302/drd.v9i0.2226>.

MARCHI, C. M. D. F.; *et al.* **Gestão dos resíduos sólidos: conceitos e perspectivas de atuação**. Curitiba: Appris. 1.ed., 223 p.; 2018.

MERELLES, L. R. O.; SILVA, C. O.; LUZ, M. P.; MENEZES, J. E.; DIAS, V. S. Previsão de geração de resíduos sólidos para o aterro de Aparecida de Goiânia (GO) por séries temporais. **Engenharia sanitária e ambiental**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 537–546, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019183284>.

MORETIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais: modelos univariados**. São Paulo: Blucher, 2018.

PIMENTEL, C. H. L. **A gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB - à luz das rotas tecnológicas de tratamento**. 2017. 280 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, 2017. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/38723/4/TESE%20Cristine%20Helena%20Limeira%20Pimentel.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2022.

PEREIRA, Marcelo José. **Análise da demanda e consumo de energia elétrica, utilizando séries temporais no Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia**, MG. 2018. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.862>

SINDICATO DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA (SELUR). **Três anos após a regulamentação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): seus gargalos e superações**. [S. l.]: Selur, 2014. Disponível em: https://selur.org.br/wp-content/uploads/2020/08/RELATORIO_EY-e-SELURB_Modelos-de-Cobran%C3%A7a-a-Redor-do-Mundo-1.pdf.

SILVA, M. I. S.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, [s. l.], v. 12, n.5, p. 480 - 485, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/9BR9BfCSCRsw4wBMnFN6tJP/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 19 jun. 2022.

SILVA, L. R. T.; LEITE, E. S. Planejamento urbano e impactos pluviométricos na cidade de Uberlândia (MG). In: XII SBCG/UFJF, **Anais [...]**. Juiz de Fora, MG, 2018. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/342335165_PLANEJAMENTO_URBANO_E_IMPACTOS_PLUVIOMETRICOS_NA_CIDADE_DE_UBERLANDIA_MG/download. Acesso em: 19 jun. 2022.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. Itajubá, 2012.

UBERLÂNDIA. Departamento de Água e Esgoto. **Serviços de coleta seletiva**. Uberlândia: DMAE, 2020. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae/servicos-dmae/residuos-solidos/coleta-seletiva>. Acesso em: 03 out. 2021.

UBERLÂNDIA. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Programa de coleta seletiva: coleta, transporte e destinação de resíduos sólidos recicláveis para associações e cooperativas de catadores**. Uberlândia: DMAE, 2020. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae/servicosdmae/coleta-de-residuos/>. Acesso em: 19 jun. 2020.

UBERLÂNDIA. **Lei Municipal nº 12.504, de 25 de agosto de 2016**. Dispõe sobre os serviços público de coleta solidária dos resíduos recicláveis no Município de Uberlândia. Uberlândia: DMAE, 2016. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mg/u/uberlandia/lei-ordinaria/2016/1250/12504/lei-ordinaria-n-12504-2016-dispoe-sobre-o-servico-publico-de-coleta-seletiva-solidaria-dos-residuos-reciclaveis-no-municipio-de-uberlandia-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 20 jan. 2021.

UBERLÂNDIA. Prefeitura Municipal. **Plano municipal de saneamento básico**. Uberlândia: Prefeitura, 2018. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/MG/UBERLANDIA/ANEXO-DECRETO-18462-2020-UBERLANDIA-MG.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2022.

WALDMAN, M. **Lixo: cenários e desafios: abordagens para entender os resíduos sólidos**. São Paulo: Cortez, 2010.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. [S. l.]: Oficina de Texto. 2013, 216 p.

CAPÍTULO 3: ABORDAGEM DE ANÁLISE DE CLUSTER PARA OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UBERLÂNDIA-MG.

RESUMO

Os serviços de limpeza urbana e coleta de resíduos sólidos são essenciais e indispensáveis para a redução dos impactos nocivos para o ambiente, para a preservação de recursos naturais, para a saúde pública e para a prevenção de doenças e endemias. Esses serviços também podem contribuir com a geração de emprego e renda, por meio da comercialização dos produtos recicláveis reciclados. O objetivo do trabalho foi utilizar a técnica estatística de análise de agrupamentos para descrever visualmente o comportamento espacial do volume de resíduos sólidos urbanos destinados ao aterro sanitário e da coleta seletiva, por setores de coleta, na cidade de Uberlândia – MG. Foram utilizados os volumes coletados pelo DMAE, mensalmente no ano de 2021, em cada setor da coleta regular e da coleta seletiva de RSU na cidade. Procedeu-se à análise de cluster, utilizando o cluster hierárquico com a distância euclidiana e método aglomerativo de Ward, sendo considerados como objetos e variáveis de agrupamento, respectivamente, os setores de coleta e o volume mensal de cada setor. Os resultados indicaram a formação de três grupos para os dois tipos de coleta e permitiram mostrar, a partir de mapas, a disposição espacial desses grupos no município. Concluiu-se que a técnica de análise de cluster pode contribuir com ações que visem o planejamento da limpeza urbana na cidade de Uberlândia – MG.

Palavras-chave: resíduos sólidos, análise de cluster, meio ambiente

ABSTRACT

Urban cleaning and solid waste collection services are essential and indispensable for reducing harmful impacts on the environment, preserving natural resources, public health and preventing diseases and endemic diseases. These services can also contribute to the generation of employment and income through the sale of recycled products. The aim of this study was to use the statistical technique of cluster analysis to visually describe the spatial behavior of the volume of urban solid waste destined for sanitary landfills and selective collection, by collection sectors, in the city of Uberlândia - MG. The volumes collected by DMAE, monthly in the year 2021, were used in each sector of regular collection and selective collection of MSW in the city. Cluster analysis was carried out, using the hierarchical cluster with Euclidean distance and Ward's agglomerative method, considering as objects and grouping variables, respectively, the collection sectors and the monthly volume of each sector. The results indicated

the formation of three groups for the two types of collection and allowed showing, from maps, the spatial arrangement of these groups in the municipality. It is concluded that the cluster analysis technique can contribute to actions aimed at planning urban cleaning in the city of Uberlândia - MG.

Keywords: solid waste, cluster analysis, environment.

ENFOQUE DE ANÁLISIS DE CLUSTER PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN UBERLÂNDIA-MG.

RESUMEN

Los servicios de limpieza urbana y recolección de residuos sólidos son esenciales e indispensables para reducir los impactos nocivos sobre el medio ambiente, para la preservación de los recursos naturales, para la salud pública y para la prevención de enfermedades y enfermedades endémicas. Estos servicios también pueden contribuir a la generación de empleos e ingresos a través de la venta de productos reciclables reciclados. El objetivo de este estudio fue utilizar la técnica estadística de análisis de conglomerados para describir visualmente el comportamiento espacial del volumen de residuos sólidos urbanos destinados a rellenos sanitarios y recolección selectiva, por sectores de recolección, en la ciudad de Uberlândia - MG. Se utilizaron los volúmenes recolectados por DMAE, mensualmente en el año 2021, en cada sector de recolección regular y recolección selectiva de RSU de la ciudad. Se realizó análisis de conglomerados, utilizando el conglomerado jerárquico con distancia euclidiana y método aglomerativo de Ward, considerando como objetos y variables de agrupación, respectivamente, los sectores de captación y el volumen mensual de cada sector. Los resultados indicaron la formación de tres grupos para los dos tipos de colecta y permitieron mostrar, a partir de mapas, la disposición espacial de estos grupos en el municipio. Se concluyó que la técnica de análisis de conglomerados puede contribuir a las acciones dirigidas a la planificación de la limpieza urbana en la ciudad de Uberlândia - MG.

Palabras clave: residuos sólidos, análisis de conglomerados, medio ambiente

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico e a modernização da humanidade, assim como o alto índice de urbanização dos municípios e o aumento da populacional, tem como uma das consequências o

crescimento acentuado do volume de resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos nas cidades (COSTA; DIZ; OLIVEIRA, 2018). Esse fato é percebido principalmente nos municípios de médio e grande porte, em que a cidade de Uberlândia – MG está inserida.

Nesse viés, cabe aos gestores, tanto nas esferas municipais quanto estaduais ou federal buscar, legalmente, soluções para a destinação dos RSU (BRASIL, 2010). A Política Nacional de Resíduos sólidos (PNRS) estabeleceu, por meio da lei nº 12.305/2010, a correta destinação de resíduos sólidos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos ambientais (BRASIL, 2010). No entanto, muitas prefeituras ainda não cumpriram essa determinação.

De acordo com Souza et al (2018), os serviços de limpeza urbana e coleta de resíduos sólidos são essenciais e indispensáveis para a redução dos impactos nocivos para o ambiente, para a preservação de recursos naturais, para a saúde pública e para a prevenção de doenças e endemias, além de contribuir com a geração de emprego e renda por meio da comercialização dos produtos recicláveis.

As análises estatísticas de dados têm se mostrado como importantes ferramentas e com grande aplicabilidade, para o melhor conhecimento do comportamento de variáveis em diversos ramos das atividades humanas. Considerando os RSU, as técnicas estatísticas podem contribuir, de forma relevante, com as ações e políticas voltadas à limpeza pública. Um exemplo é o trabalho desenvolvido por Silva et al (2020), em que foram utilizadas as técnicas da estatística multivariada, análise de componentes principais e análise de cluster, para a proposição de rotas setoriais de coleta dos RSU, na cidade de Recife-PE.

A cidade de Uberlândia-MG conta, atualmente, com os serviços de coleta convencional dos RSU, que são destinados ao aterro sanitário e com a coleta seletiva, em que os materiais coletados são destinados à cooperativa e às associações de catadores da cidade. Ambos serviços são geridos pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE).

O município ocupa a segunda colocação em população no estado de Minas, com população estimada de aproximadamente 700.000 habitantes no ano de 2021 (IBGE, 2021). Além disso, apresenta altos índices de urbanização e de desenvolvimento econômico e social ocupando, assim, posição de destaque na região do Triângulo Mineiro e no estado de Minas Gerais. Em relação aos serviços de saneamento básico, a cidade se destaca positivamente no cenário nacional (UBERLÂNDIA, 2021).

Cabe ressaltar, no entanto, que mesmo a cidade apresentando índices favoráveis no saneamento básico, a problemática da geração e destinação dos RSU permanece e que há

necessidade de se conhecer o comportamento da população em relação a produção de RSU, para um melhor planejamento desse serviço para os municípios.

Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivos: i) utilizar a técnica da estatística multivariada, conhecida como análise de cluster ou análise de agrupamento, para fazer o agrupamento, por similaridade, dos setores da coleta convencional e da coleta seletiva, de RSU, para a cidade de Uberlândia-MG; ii) apresentar graficamente, por meio de mapas, a disposição espacial dos setores de coleta, de acordo com o grupo a que pertenciam na análise de cluster.

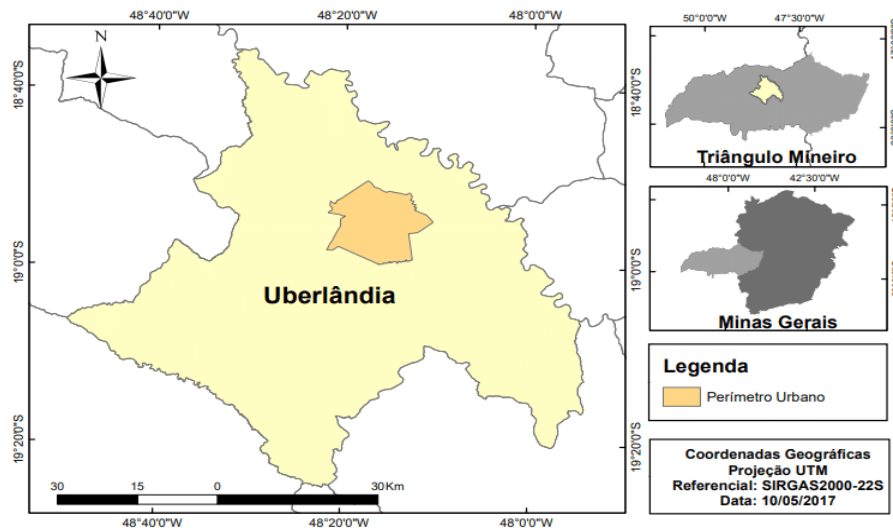
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização geral da cidade de Uberlândia e dos serviços de coleta de RSU

O município de Uberlândia – MG situa-se na região do Triângulo Mineiro (figura 11) e pode ser considerado um município brasileiro de médio porte e com bons níveis de desenvolvimento socioeconômico.

Em 2020, a Prefeitura Municipal de Uberlândia reconhecia 77 bairros divididos em cinco regiões: Norte, Leste, Oeste, Sul e Central (UBERLÂNDIA, 2020b).

Figura 11 - Mapa de localização de Uberlândia-MG.



Fonte: Silva e Leite (2018).

A cidade conta com o serviço de coleta de resíduos destinados ao aterro sanitário (figura 12) e também com a coleta seletiva de resíduos destinados à cooperativa e associações de recicladores.

Figura 12 - Vista aérea do Aterro Sanitário em Uberlândia-MG– desativado I e em funcionamento II.



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico, Uberlândia (2022).

A coleta pública de RSU, em Uberlândia-MG, atende todos os bairros do município e consiste no recolhimento dos resíduos das residências (porta a porta), feiras livres, instituições urbanas (escolas, comércio, lixo comum de hospitais) pontos de coleta das estradas da zona rural, varrição das ruas e avenidas, além dos rejeitos dos materiais não aproveitados pela coleta seletiva e recolhidos pela Limpebras - empresa que detém a concessão do serviço na cidade - com destino ao Aterro Sanitário.

Para dinamizar a programação da coleta regular, conforme rota ou trajeto para recolhimento dos resíduos, os bairros do município são divididos em setores e recebem um código de área, conforme a tabela 5.

Tabela 5 - Divisão dos bairros de Uberlândia-MG por código de área da Coleta de Resíduos destinados ao Aterro sanitário.

BAIRRO	Código	BAIRRO	Código
PAMPULHA / SANTA LUZIA	10A	JD. AMÉRICA / SANTA ROSA	4B
GRANADA	11A	RES. GRAMADO / SANTA ROSA / PACAEMBU	5B
GRAVATÁS / JD. INCOFIDÊNCIA / JD. SUL	12A	PACAEMBU / MARAVILHA	6B
SÃO JORGE	13A	ROOSEVELT / JD. BRASILIA	7B
SÃO JORGE / LARANJEIRAS	14A	JD. BRASILIA / SÃO JOSÉ	8B

SÃO JORGE / LARANJEIRAS	15A	MARAVILHA / JD. BRASILIA / SÃO JOSÉ	9B
SÃO JORGE / LARANJEIRAS	16A	CENTRAL	10D
SÃO JORGE / LARANJEIRAS	17A	UMUARAMA	1D
SHOPPING PARK	18A	BRASIL / APARECIDA	2D
SHOPPING PARK	19A	BRASIL / APARECIDA	3D
ACLIÇÃO	1A	MARTINS / CENTRO	4D
JARDIM KARAÍBA	20A	MARTINS / OSVALDO REZENDE / DANIEL FONSECA	5D
CIDADE JARDIM / PATRIMÔNIO / MORADA DA COLINA	21A	OSVALDO REZENDE / FUNDINHO	6D
PLANALTO / CIDADE JARDIM / NOVA UBERLÂNDIA	22A	CENTRO / LÍDICE / CAZECA	7D
JD. DAS PALMEIRAS	23A	TABAJARAS / LÍDICE	8D
JD. DAS PALMEIRAS / JD. HOLANDA / CANAÃ	24A	CENTRAL	9D
ALTO UMUARAMA	2A	SANTA MÔNICA	10E
JD. IPANEMA / MANSÕES AEROPORTO	3A	SARAIVA	11E
JD. IPANEMA / MANSÕES AEROPORTO	4A	VIGILATO PEREIRA	12E
RESIDENCIAL INTEGRAÇÃO	5A	CUSTÓDIO PEREIRA	1E
MORUMBI	6A	TIBERY	2E
MORUMBI	7A	TIBERY / NOSSA SENHORA APARECIDA	3E
MORUMBI / ALVORADA / NOVO MUNDO	8A	SANTA MÔNICA	4E
LAGOINHA / PAMPULHA	9A	SANTA MÔNICA	5E
SÃO JOSÉ / TAIAMAM	10B	SEGISMUNDO PEREIRA	6E
GUARANI	11B	SEGISMUNDO PEREIRA	7E

TOCANTINS	12B	SANTA MÔNICA	8E
JD. PATRÍCIA	13B	SANTA MÔNICA	9E
LUIZOTE DE FREITAS	14B	TUBALINA	10F
JARAGUÁ / CHÁCARAS TUBALINA / LUIZOTE	15B	PATRIMÔNIO	11F
MANSOUR	16B	ALTAMIRA	12F
MANSOUR / JD. EUROPA	17B	MARTA HELENA	1F
JD. CANAÃ	18B	ROOSEVELT	2F
JD. CANAÃ	19B	ROOSEVELT	3F
MINAS GERAIS	1B	DONA ZULMIRA / JD. PATRÍCIA	4F
JD. EUROPA / PANORAMA	20B	JD. PATRÍCIA	5F
PANORAMA / MONTE HEBRON / LAGO AZUL	21B	JARAGUÁ / DANIEL FONSECA	6F
MORADA NOVA	22B	PLANALTO	7F
RES. PEQUIS	23B	PLANALTO	8F
MORADA DO SOL	24B	PLANALTO	9F
MARTA HELENA	2B		
MARTA HELENA / NOSSA SENHORA DAS GRAÇAS	3B		

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A coleta seletiva de RSU é realizada pela prefeitura em parceria com as associações e cooperativa de catadores da cidade de Uberlândia. O convênio foi gerido inicialmente, em 2011, pela Secretaria Municipal de Serviços Urbanos, que ofereceu o espaço físico (galpões) e infraestrutura, como balança e prensas, carrinhos e elevadores. A partir de 2017, a gestão do convênio passou a ser feita pelo Departamento Municipal de Águas e Esgoto (DMAE), ampliando gradativamente a prestação desse serviço na cidade.

A cobertura do serviço de coleta seletiva, no ano de 2021, totalizam 61 bairros e “atende 85% da cidade, recolhendo uma média de 300 toneladas por mês de materiais recicláveis” (UBERLANDIA, 2021b). Considerando que o volume coletado médio mensal destinado ao aterro sanitário, no ano de 2021 foi de 17000 ton/mês, verifica-se que apenas

aproximadamente 2% de todo volume de RSU produzidos na cidade, no ano de 2021, foram destinados à reciclagem.

Os materiais recicláveis (plástico, metal, papel e papelão, vidros, embalagens Longa Vida, entre outros) são recolhidos em dias específicos conforme a programação de cada setor de coleta seletiva e possibilita a reciclagem, porque os materiais coletados separadamente, quando secos e limpos, têm maior potencial de aproveitamento

Todo material encaminhado para os galpões é triado e posteriormente comercializado pelos próprios Catadores (figura 13), promovendo a inclusão social de catadores, gerando trabalho e renda. O município conta com 5 associações e 1 cooperativa de catadores, além dos informais e 13 ecopontos⁶ distribuídos na cidade.

Desse modo, o repasse financeiro aos catadores, que exercem atividades de coleta e comercialização de materiais recicláveis, tirando o sustento integral de suas famílias com renda mensal de aproximadamente dois salários mínimos, é realizado pelas associações e cooperativa. (UBERLANDIA, 2014)

Figura 13 - Fotos do trabalho de triagem e separação da cooperativa CORU em setembro de 2021.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

⁶ Ecopontos funcionam como ponto de entrega voluntária de resíduos recicláveis além de restos de construção civil como tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa, concreto, tubos, plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, poda de árvores, sofás, armários, pias e vaso sanitário e objetivam dar o destino adequado aos resíduos, evitando o descarte irregular.

Os volumes de RSU da coleta seletiva, informados e disponibilizados pelo DMAE no site oficial do órgão (DMAE, 2021), incluem também os materiais recolhidos da coleta seletiva rural pelo Ecocaminhão. A partir de 2020, iniciou-se também a contabilização de dados coletados pelas associações e cooperativas do total de materiais que são comercializados com as empresas recicladoras.

Assim sendo, no presente trabalho, foram utilizados apenas o quantitativo coletado nos setores de coleta das áreas urbanas da cidade no ano de 2021 e, ainda, somente os setores que apresentavam coleta em todos os meses de 2021. A consolidação desses setores, utilizados no presente estudo são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Setores dos bairros de Uberlândia-MG atendidos pela Coleta Seletiva referente ao ano de 2021.

BAIRRO	Setor	BAIRRO	Setor
ALTO UMUARAMA	S1	MARTA HELENA	S17
BRASIL/APARECIDA	S2	MORADA DA COLINA/ALTAMIRA	S18
CAZECA	S3	NOSSA SRA DAS GRAÇAS	S19
CENTRO	S4	OSVALDO/MARTINS/BOM JESUS/DANIEL FONSECA	S20
CHAC. TUBALINA	S5	PACAEMBU	S21
CIDADE JARDIM	S6	GRANADA/JARDIM BOTÂNICO/CAMARU	S22
CRUZEIRO E GRAMADO	S7	PATRIMÔNIO	S23
CUSTÓDIO	S8	PLANALTO	S24
FUNDINHO/TABAJARAS	S9	ROOSEVELT	S25
JARAGUA	S10	SANTA MÔNICA/SEGISMUNDO	S26
JARDIM INCONFIDÊNCIA	S11	SANTAROSA/JARDIM AMERICA	S27
JARDIM KARAIBA	S12	SARAIVA	S28
LAGOINHA/CARAJAS/PAMPULHA	S13	TIBERY	S29

LIDICE	S14	TUBALINA	S30
LUIZOTE/DONA ZULMIRA/MANSOUR/JARDIM PATRICIA	S15	UMUARAMA	S31
MARAVILHA	S16	VIGILATO	S32

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Cabe ressaltar que, além da coleta seletiva urbana, que foi objeto de estudo desse trabalho, o município conta também com a coleta seletiva na zona rural atendendo a comunidade Olhos D' Água, que foi implantada em 2013, e na região da Tenda do Moreno. E também que, conforme informações do DMAE (2021), depois da triagem o material que não é aproveitado (papelão molhado, vidro sem valor comercial etc.) nas cooperativas de recicláveis para comercialização, são enviados também para o aterro sanitário de Uberlândia.

2.2. Material

Foram utilizados os dados quantitativos (kg) de RSU da coleta convencional e da coleta seletiva. Esses dados foram fornecidos pelo DMAE, que é o gestor de serviço na cidade, e são informações de domínio público. Foram utilizados os quantitativos totais mensais de RSU por setores de coleta, no ano de 2021, tanto na coleta convencional quanto na reciclável.

De forma a atender as condições para a aplicação da análise dos dados e representação nos mapas, foi feita uma adaptação em relação aos setores de coleta, sendo que os bairros com o mesmo nome e que repetiam mesmo com códigos de área diferentes, foram agrupados em um mesmo setor.

Nesse viés, ressalta-se ainda que, para o quantitativo de RSU da coleta seletiva, considerou-se somente os setores que apresentaram coleta ou geração durante todo o ano de 2021. É importante destacar aqui que o serviço de coleta seletiva não apresenta ainda dados consolidados, visto que é um serviço, ainda em implantação e vem aumentando a cobertura de bairros atendidos.

2.3. Métodos

As informações de cada setor de coleta foram tabuladas considerando-se os setores de coleta e os meses do ano de 2021, com a finalidade de se proceder a análise de cluster. Essa análise foi feita seguindo as indicações de Hair *et al.* (2006).

Em uma primeira etapa de análise dos dados, os setores de coleta foram definidos como objetos de agrupamentos e os quantitativos de cada mês foram considerados como as variáveis. Nessa etapa, o objetivo foi o de agrupar, por similaridade, os setores de coleta em função do volume coletado mensalmente. Na segunda fase, os meses foram considerados os objetos de agrupamento e os quantitativos de cada setor de coleta como variáveis, objetivando obter grupos de meses similares no volume de coleta, em função dos setores.

O procedimento metodológico consistiu na técnica de agrupamento hierárquico com a padronização das variáveis, evitando que diferentes escalas de magnitudes de dados interferissem nos resultados de formação de grupos.

A medida de similaridade utilizada nos agrupamentos foi a distância euclidiana com o método aglomerativo de Wald. De acordo com Hair et al (2006), a distância euclidiana é a medida de similaridade mais utilizada na literatura por sua simplicidade de execução e facilidade de interpretação. Ainda de acordo com os autores, o método aglomerativo de Wald apresenta a vantagem sobre outros métodos por utilizar o critério estatístico de variabilidade no processo da aglomeração dos objetos.

Para a obtenção do número ótimo de grupos formados em cada situação de análise, foi utilizado o método da silhueta que, em síntese, determina a homogeneidade de um grupo. As formações dos grupos foram representadas por meio dos gráficos de dendrogramas.

Após a obtenção dos grupos, foram calculadas as estatísticas descritivas: médias, desvios padrões, medianas por grupo, visando caracterizar o quantitativo de RSU dentro dos grupos formados.

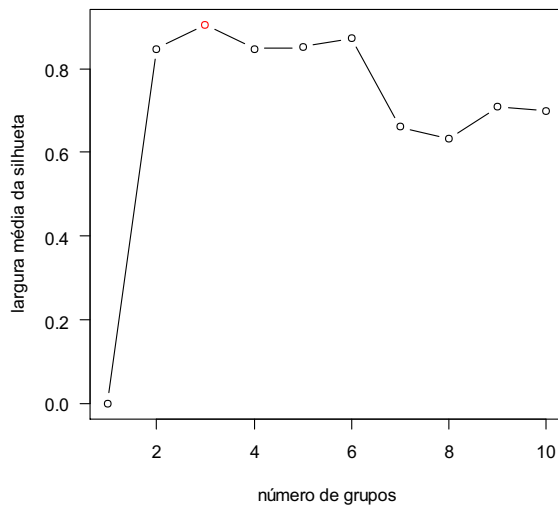
Desse modo, todo o procedimento de análise de cluster foi realizado com base em Hair et al (2006) e Ferreira (2008), utilizando o programa computacional de livre acesso R (R CORE TEAM, 2020).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resíduos destinados ao aterro sanitário

O método da silhueta para a seleção do número ótimo de grupos de setores da coleta convencional indicou a formação de três grupos (figura 14).

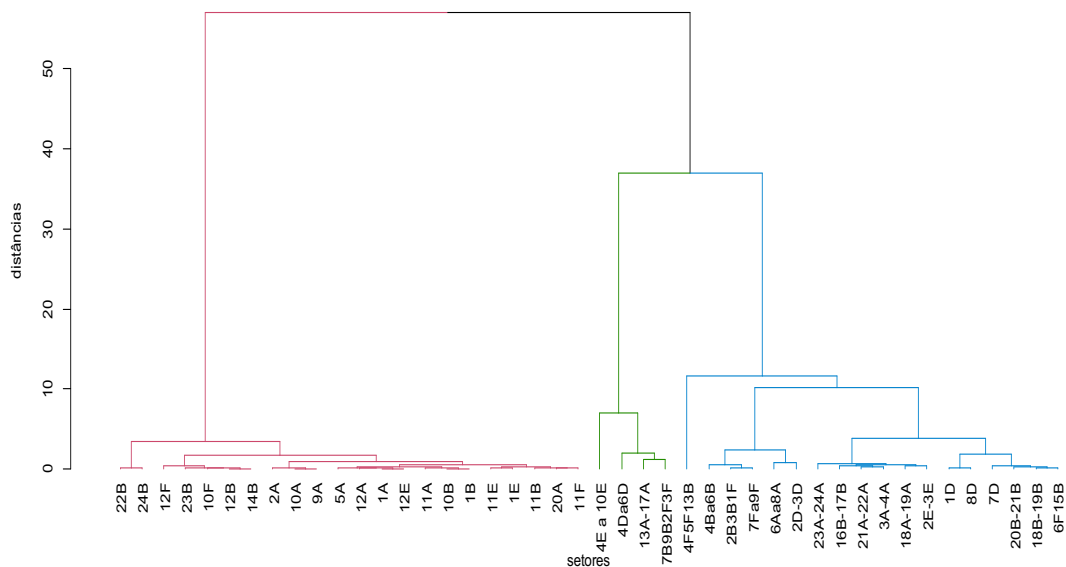
Figura 14 - Determinação do número ótimo de grupos para o quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Esses grupos (representados pela cor vermelha, verde e azul) são demonstrados no dendrograma (figura 15) e na tabela 7 em que são apresentados os códigos da coleta convencional de acordo com o exposto na tabela 5.

Figura 15 - Dendrograma para o quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

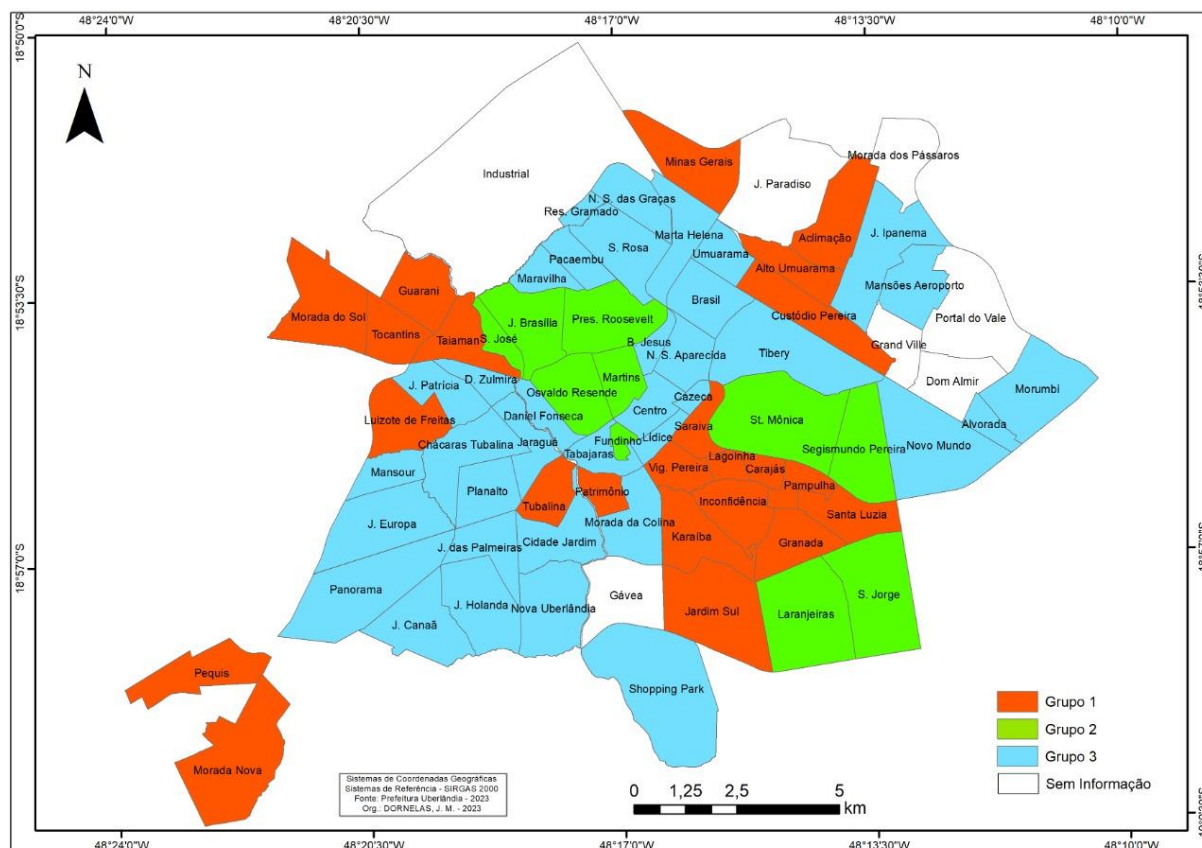
Tabela 7 - Grupos formados, pela análise de cluster, para o quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia- MG.

Grupos	Setores
1	10A, 11A, 12A, 1A, 20A, 2A, 5A, 9A, 10B, 11B, 12B, 14B, 1B, 22B, 23B, 24B, 11E, 12E, 1E, 10F, 11F, 12F
2	13A-17A, 7B9B2F3F, 4D-6D, 4E-10E
3	18A-19A, 21A-22A, 23A-24A, 3A-4A, 6Aa8A, 16B-17B, 18B-19B, 20B-21B, 2B3B1F, 4Ba6B, 1D, 2D-3D, 7D, 8D 2E-3E, 4F5F13B, 6F15B, 7Fa9F

Elaborada pela autora (2022).

Para melhor visualização da distribuição espacial dos grupos formados pela análise de cluster, foi feita uma associação entre os códigos dos setores de coletas e os bairros da cidade de Uberlândia. Os bairros que não foram preenchidos no mapa, permanecendo em branco, estão sem dados da produção volumétrica dos resíduos e não foram incluídos na análise. O mapa foi gerado utilizando um software gratuito chamado QGIS, um sistema de informação geográfica livre e aberto, versão 3.22 e os limites dos bairros disponibilizados pela prefeitura municipal. As informações foram dispostas no mapa do município, conforme a figura 16.

Figura 16 - Mapa de Uberlândia com os bairros clusterizados pelo quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Na tabela 8, tem-se as estatísticas descritivas de cada cluster gerado para a coleta convencional.

Tabela 8 - Médias, medianas e desvios padrão para os grupos de setores do quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia – MG.

Mês	Grupo 1			Grupo 2			Grupo 3		
	Média	Mediana	dp	Média	Mediana	dp	Média	Mediana	dp
Jan	181202,3	183605,0	30082,0	1083962,5	993745,0	222692,4	423756,7	410565,0	89394,7
Fev	161996,8	165505,0	28186,3	973057,5	881770,0	210597,7	381957,2	368765,0	84171,9
Mar	176742,7	184550,0	33252,0	1063050,0	985225,0	238865,7	418425,6	410510,0	94889,4
Abr	157852	165520	24897,409	876635	863295	204965,32	1318526,7	337255	4043377,9
Mai	162929	169640	29335,4	902057,5	865955	200152	378270,6	356035	91555,29
Jun	162499	168790	27554,96	889022,5	857745	185944,2	379212,8	349115	89156,26
Jul	162179	168475	26989,43	899285	859820	177459,7	383711,1	355635	92517,85
Ago	160317	167690	34525,42	919422,5	847230	221059,7	367985,6	362880	87406,06
Set	174421	180130	31108,19	960102,5	923485	194829,1	409377,8	386550	93361,83
Out	173861	185165	30611,99	959887,5	915860	188564,5	402537,2	387310	95324,13

Nov	178228	185135	31763,92	994610	965280	181390,4	419781,7	401005	96194,75
Dez	196071	203405	35648,288	1094072,5	1040495	236672,4	455689,4	441815	104849,07
Méd Total	170691,5	177300,8	30329,6	967930,4	916658,8	205266,1	478269,4	380620,0	421849,9

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Diante desses dados, observa-se nitidamente que os setores que compõem o cluster 2 são os que produzem a maior quantidade média de resíduos em Uberlândia, e contraditoriamente, o Cluster 1 é composto pelos setores que produzem a menor volumetria, seguido pelo cluster 3. Isso nos permite observar que a partir da análise de agrupamentos, é possível identificar a volumetria de resíduos gerados por setor a fim de se ter a melhor tomada de decisão para cada agrupamento gerado.

Nesse viés, cabe salientar ainda que no grupo 2 encontram-se bairros residenciais com grande população como os bairros Santa Mônica, Segismundo Pereira, São Jorge, Osvaldo Rezende, Martins, Presidente Roosevelt, Jardim Brasília, em que se espera um alto volume de RSU produzidos.

Por outro lado, o grupo 1 que apresentou, em média, o menor volume na coleta de RSU convencional é composto, na sua maioria, por bairros periféricos ou bairros de pequena extensão territorial e, nesses bairros, espera-se encontrar o menor número de residências.

O grupo 3 foi o que apresentou o maior número de bairros e teve, em média, a produção de RSU intermediária.

Os resultados da tabela 8 indicam ainda que, no geral, os valores de média e mediana estão relativamente próximos, mostrando uma tendência de que o volume de RSU dentro de cada grupo está tendendo à simetria. Esse fato proporciona a possibilidade de se utilizar testes paramétricos para a estimação e comparações entre os grupos em estudos futuros.

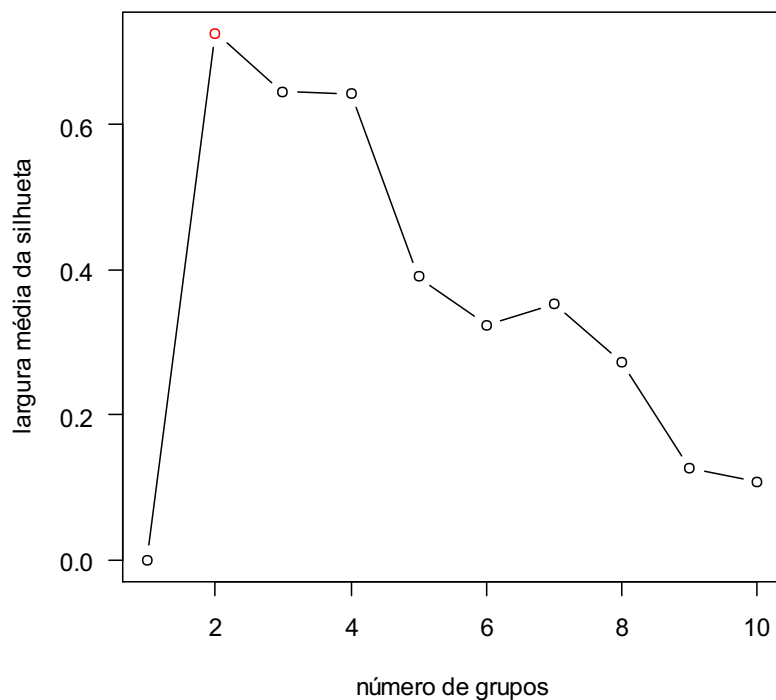
Ademais, verificou-se pelo desvio padrão e consequente, cálculo do coeficiente de variação, e variabilidade relativamente baixa dentro de cada grupo, o que mostra a eficiência da técnica no agrupamento dos setores da coleta.

Assim sendo, a fim de identificar semelhança entre os meses do ano em relação ao quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia, também foi realizada a análise de agrupamento considerando os meses como os objetos de agrupamento. Nesse caso, foram identificados 2 grupos (figuras 17 e 18), sendo representado conforme a tabela 9.

O grupo 1 foi composto pelos meses de janeiro, março, setembro, outubro, novembro, dezembro e o grupo 2 pelos demais meses. A formação desses dois grupos distintos pode estar associada ao fato observado no capítulo 2, da sazonalidade da coleta de RSU no sistema

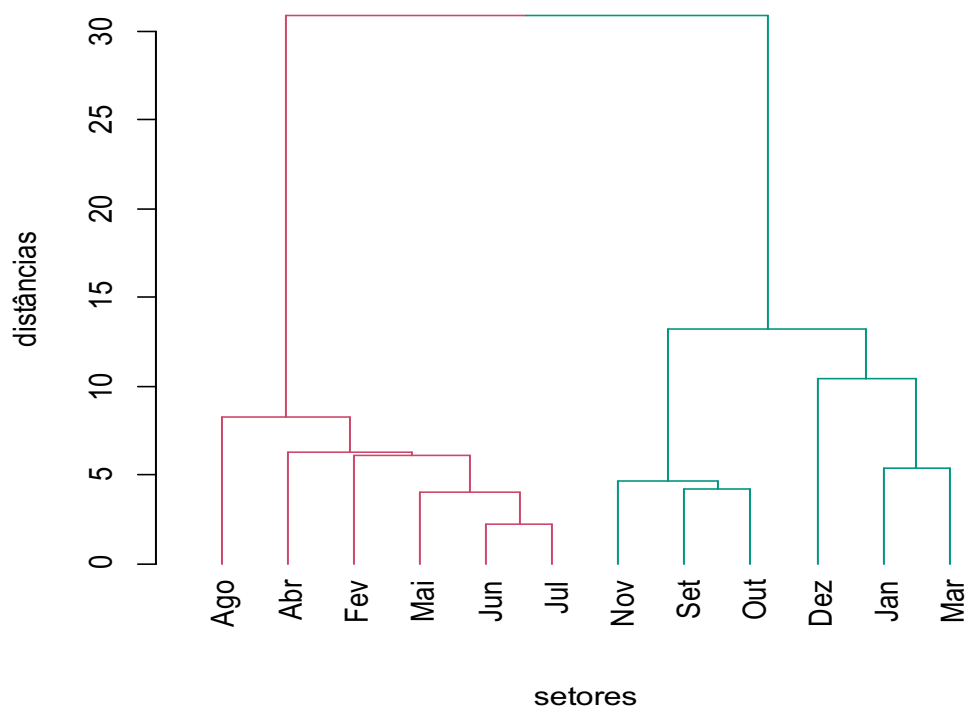
convencional na cidade, ou seja, um período do ano com maior volume de coleta em relação ao outro período.

Figura 17 - Número ótimo de grupos de meses dos setores de RSU destinados ao aterro.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Figura 18 - Dendrograma meses - quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 9 - Grupos formados, pela análise de cluster, para o quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário em relação aos Meses.

Grupos	Meses
1	Janeiro, Março, Setembro, Outubro, Novembro, Dezembro
2	Fevereiro, Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Dessa forma, na tabela 10, são apresentadas as estatísticas descritivas dos Cluster's de meses de acordo com o quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia, em que foram dispostos os resultados de cada setor. Para todos os setores, a volumetria média e mediana de RSU são maiores no Cluster 1, isto é, o Cluster 1 é composto pelos meses os quais a volumetria média é maior.

Tabela 10 - Médias, medianas e desvios padrão para os grupos de meses do quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário de Uberlândia – MG.

Setor	Cluster 1			Cluster 2		
	Média	Mediana	Dp	Média	Mediana	Dp
10A	214472	212210	14146,9	190598	191080	4400,6
11A	179768	175895	14461,3	161680	160885	4990,47
12A	192705	190860	13378,7	171547	168515	9185,26
13A.17A	1008622	1002715	74833,1	902053	912645	26169
18A.19A	381750	382985	32519,1	342652	343080	7704,88
1A	190155	187600	9665,99	171658	171015	5175,93
20A	197692	196915	16948,5	177450	174810	10702,5
21A.22A	406720	400555	35073	352725	345380	28177,9
23A.24A	423338	423020	40817,6	395940	400825	26704,9
2A	219578	215685	13057,1	185613	184585	14924,7
3A.4A	421260	412845	33043,5	357778	355435	14245
5A	189828	190265	12125,4	169090	168550	3865,8
6Aa8A	574440	570485	43190	514128	510905	9653,25
9A	214935	214310	14163,5	192548	193455	8677,51
10B	186498	187095	7679,88	169053	171070	7882,1
11B	203608	203840	9833,8	181247	182280	8731,59
12B	171985	170750	7988,26	149682	151805	9095,46
14B	169502	168085	9428,42	150065	149415	6434,49
16B.17B	403528	402155	13083	368010	369930	16663,8

18B.19B	340172	342685	13399,4	306908	305980	11400,2
1B	184223	184390	7120,05	165715	168835	10390,7
20B.21B	359462	356920	20473,5	318718	322535	16787,9
22B	104468	104730	11809,2	92980	93930	7145,86
23B	176935	177470	9884,81	155738	158145	9893,26
24B	101608	100565	12702,1	84048,3	83490	3640,85
2B3B1F	477330	476730	10914,5	436927	438935	12670,1
4Ba6B	521468	523750	14903,3	466387	471450	17824,8
7B9B2F3F	930030	926025	28594,6	822857	831105	31958,3
1D	282835	285655	11729,7	254857	253455	8719,44
2D.3D	601080	612755	50414,6	558723	562850	28761,6
4Da6D	844108	841915	72263,5	729130	716700	68162,5
7D	337952	344115	36833,3	301845	302265	12068,9
8D	277097	278355	13375,6	246607	247325	8000,83
11E	182022	190760	25953,8	172318	177785	18899,5
12E	194415	194655	10899,1	172360	170100	6016,74
1E	193133	199820	27388,8	178393	181905	14512,1
2E.3E	413602	411115	35655,8	342570	328235	36735,1
4E.a.10E	1321030	1321100	97431,1	1185613	1160210	59149,8
10F	165280	164705	5128,82	155910	155375	3726,26
11F	188123	186535	16989,8	169680	167540	6027,34
12F	140990	139470	5996,84	131125	132895	5180
4F5F13B	523830	521305	24921,1	3312712	475935	6958443
6F15B	352177	356200	23903,5	314007	316250	15254,3
7Fa9F	490665	497235	17926	437498	437280	16650,3

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

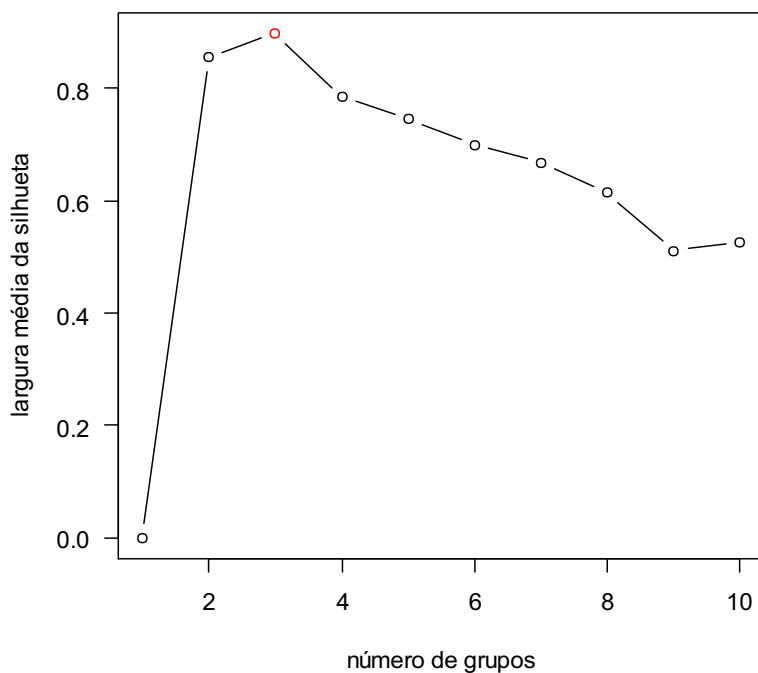
Conhecer o comportamento do quantitativo produzido e a previsão de geração dos RSU é importante para o processo de planejamento e gerenciamento da coleta (MERELLES et al., 2019). A estimativa pode auxiliar na tomada de decisões para adequação de infraestrutura e otimização de recursos utilizados, além de contribuir com a avaliação das ações a serem implementadas para o controle dos impactos ambientais.

3.2 Resíduos da coleta seletiva

Na figura 19, tem-se o resultado da análise de seleção do número ótimo de grupos formados na análise de cluster, considerando-se como objetos de agrupamentos os setores da coleta, e

como variáveis de agrupamento, o total de resíduos da coleta seletiva de cada mês do ano de 2021, em que observa-se um número ideal de 3 grupos.

Figura 19 - Determinação do número ótimo de grupos para o quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia.

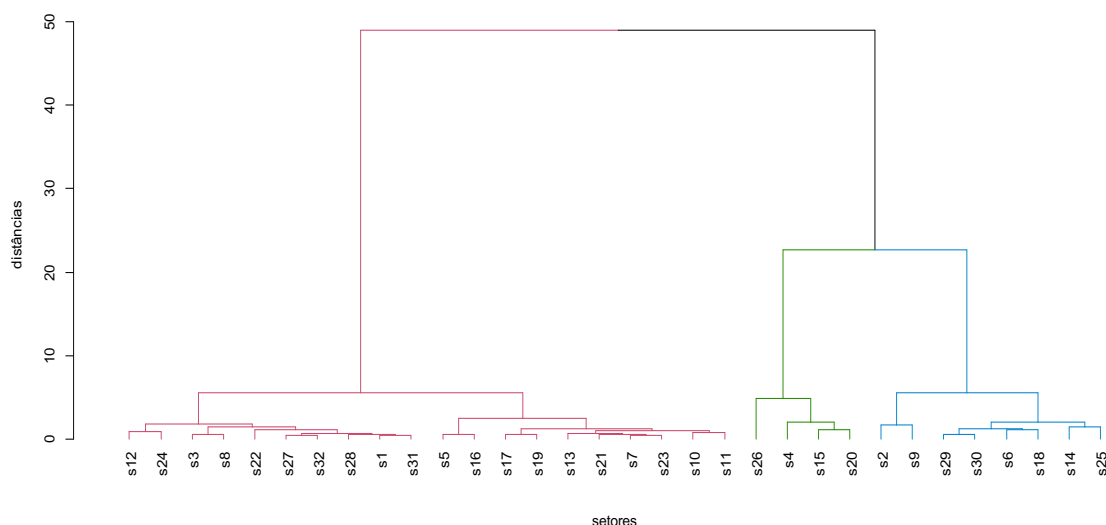


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Dessa maneira, no que se refere ao número de grupos formados tanto na coleta seletiva quanto na convencional foi de três. Entretanto, cabe ressaltar que o número de setores de coleta na seletiva é inferior aos da convencional.

Para a coleta seletiva, o dendrograma com os grupos formados é apresentado na figura 20 com os grupos representados pela cor vermelha, verde e azul.

Figura 20 - Dendrograma para o quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Na tabela 11, estão sintetizadas as informações apresentadas no dendrograma, com os setores de coleta pertencentes a cada grupo.

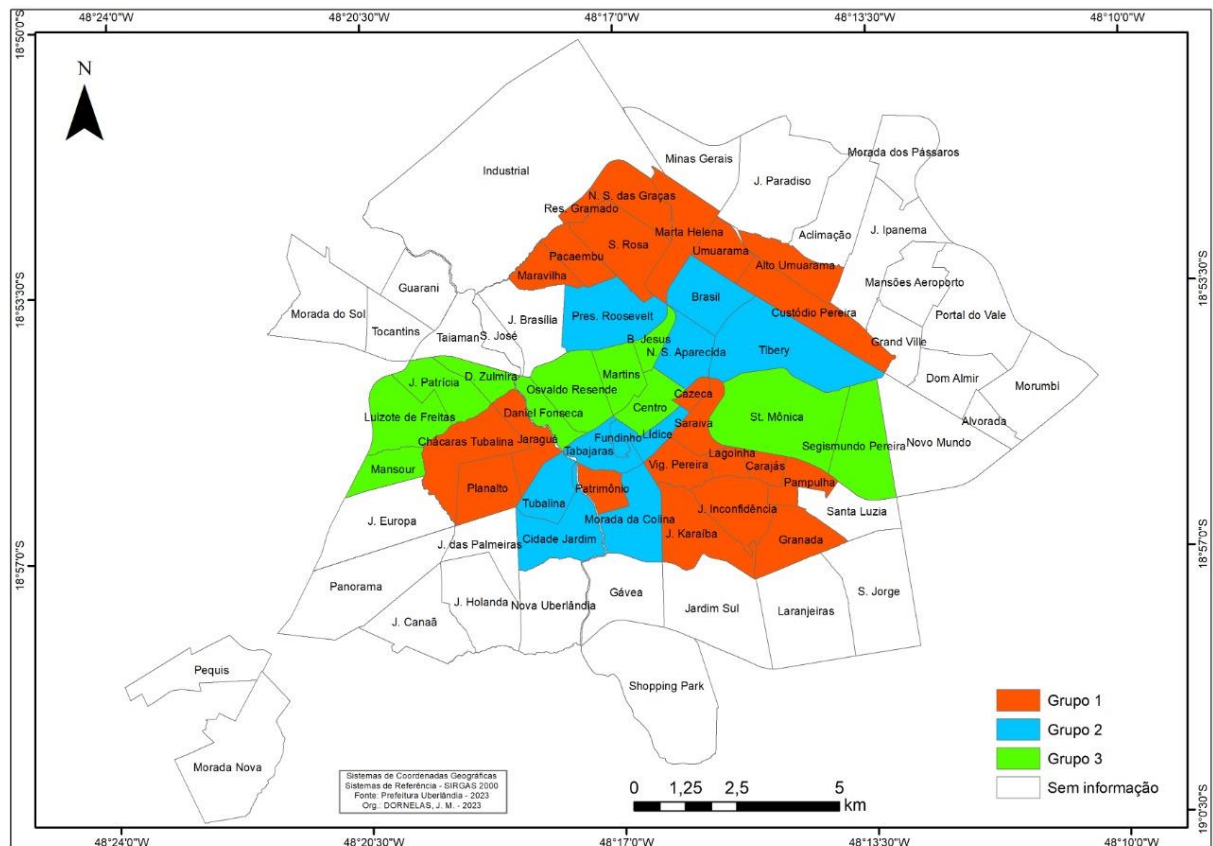
Tabela 11 - Grupos formados, pela análise de cluster, para o quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia- MG.

Grupos	Setores
1	S1, S3, S5, S7, S8, S10, S11, S12, S13, S16, S17, S19, S21, S22, S23, S24, S27, S28, S31, S32
2	S2, S6, S9, S14, S18, S25, S29, S30
3	S4, S15, S20, S26

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Na análise de clauster do quantitativo de RSU da coleta seletiva, considerou-se somente os setores que apresentaram dados da coleta ou geração de resíduos recicláveis durante todo o ano de 2021 permanecendo, assim, alguns bairros sem preenchimento no mapa. O mapa foi gerado utilizando um software gratuito chamado QGIS, um sistema de informação geográfica livre e aberto, versão 3.22 e os limites dos bairros disponibilizados pela prefeitura municipal. A representação gráfica da disposição dos grupos associados aos bairros atendidos pela coleta seletiva, no mapa do município de Uberlândia, é apresentada na figura 21.

Figura 21 - Mapa de Uberlândia com os bairros clusterizados pelos resíduos da coleta seletiva.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Diante disso, na tabela 12, tem-se as estatísticas descritivas dentro de cada cluster gerado para cada mês. Observa-se nitidamente que os setores que compõem o cluster 3 são os que produzem a maior quantidade média de resíduos da coleta seletiva em Uberlândia, e em contrapartida, o Cluster 1 é composto pelos setores que produzem a menor volumetria, seguido pelo cluster 2.

O fato do grupo 1 compor os bairros que produzem a menor quantidade de RSU recicláveis pode estar associada à população residente nesses setores serem, no geral, menores. Além disso, isso pode estar associado a fatores socioeconômicos dos residentes (nível cultural, nível educacional e poder aquisitivo) e ainda a possibilidade de que estes, como são bairros periféricos, terem sido integrados no programa de coleta seletiva mais recentemente.

De acordo com Monteiro et al. (2001), algumas variáveis podem influenciar a gestão e os padrões de geração de resíduos sólidos como fatores climáticos e meteorológicos (no verão, por exemplo, há aumento do teor de embalagens de bebidas -latas, vidros e plásticos rígidos); as épocas comemorativas especiais (como carnaval); os fatores socioeconômicos e os fatores demográficos (quanto maior a população urbana, maior a geração per capita).

Assim sendo, informações públicas concretas e atualizadas, como a quantidade da população nesses bairros, quando forem acessíveis através da divulgação do Censo Demográfico realizado, em 2022, pelo IBGE, possibilitarão estudos futuros.

Entretanto, é possível observar que a partir da análise de agrupamentos foi possível identificar a volumetria de resíduos da coleta seletiva gerados por setores a fim de se ter a melhor tomada de decisão para cada agrupamento gerado.

Tabela 5 - Médias, medianas e desvios padrão para os grupos de setores do quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia- MG.

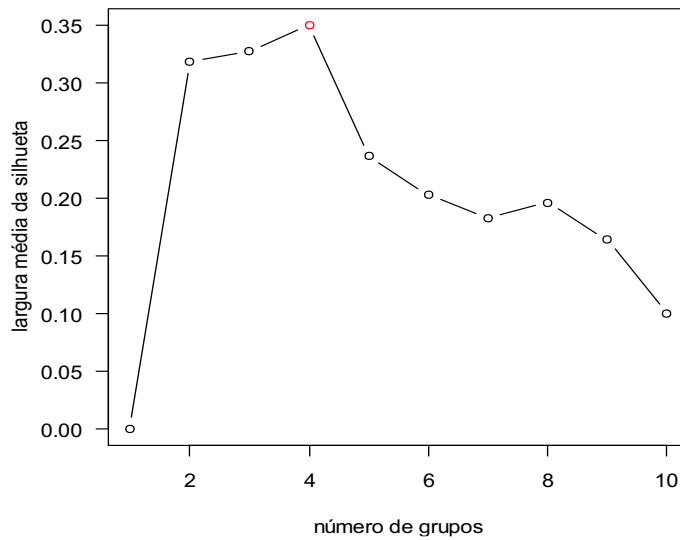
Mês	Grupo 1			Grupo 2			Grupo 3		
	Média	Mediana	dp	Média	Mediana	dp	Média	Mediana	dp
Jan	4300,5	4250,0	1713,6	10493,8	10900,0	2259,7	19950,0	18400,0	4315,5
Fev	3934,5	3800,0	1638,0	8925,0	8500,0	1419,8	19025,0	17950,0	2974,8
Mar	4137,5	4200,0	1660,4	10681,3	10475,0	1813,6	20295,0	19890,0	3017,7
Abr	3829	3800	1331,453	8296,25	7700	1835,164	19400	18450	4268,489
Mai	3703	3600	1355,698	9118,75	9300	1934,635	19650	18600	2955,785
Jun	3572,5	3275	1436,871	10025	9500	2147,257	18800	17550	2901,724
Jul	3948	4225	1345,905	9937,5	9250	2890,347	20050	18750	3856,164
Ago	4023	4200	1350,984	10962,5	10700	1526,843	20925	20100	3300,884
Set	4557,5	4925	1666,926	10306,25	9150	3360,744	20459,5	19819	3352,651
Out	4227,5	4400	1389,952	10125	9300	3755,662	17400	17425	2211,711
Nov	4365	4600	1342,631	9912,5	9950	2089,728	19525	19300	2642,442
Dez	4961	4650	1643,552	11537,5	10350	3933,714	23675	24350	5123,394
Méd Total	4129,9	4160,4	1489,7	10026,8	9589,6	2413,9	19929,5	19215,3	3410,1

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Diante disso, verifica-se, no caso da coleta seletiva, os valores de médias e medianas como relativamente próximos e que a variabilidade dentro de cada grupo pode ser considerada moderada. Logo, possíveis inferências paramétricas podem ser utilizadas nas interpretações desse tipo de coleta.

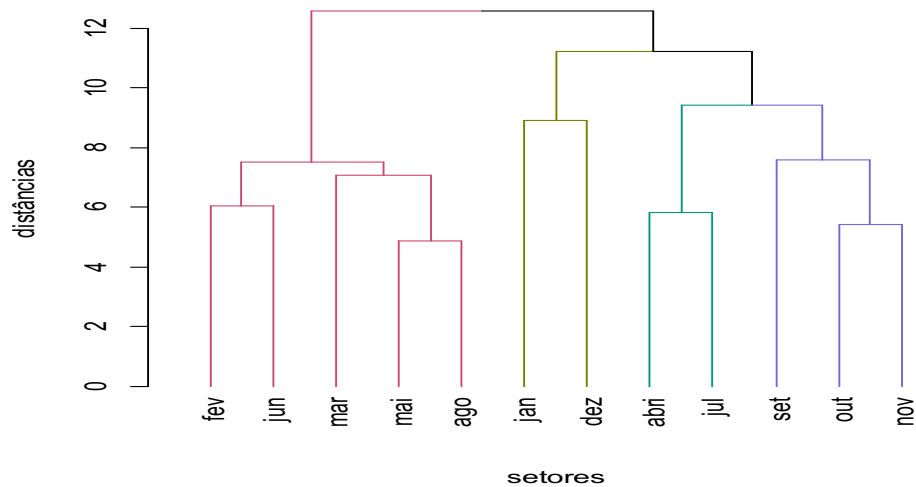
Na análise dos agrupamentos dos meses, percebeu-se a formação de quatro grupos, conforme indicou a figura 22. Esses grupos podem ser visualizados na figura 23 que é o dendrograma e a tabela 13, em que sintetizam as informações dispostas no dendrograma.

Figura 22 - Número ótimo de grupos de meses dos setores de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia- MG.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Figura 23 - Dendrograma meses - quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia- MG.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 63 - Grupos formados, pela análise de cluster, para o quantitativo de resíduos da coleta seletiva em relação aos Meses.

Grupos	Meses
1	janeiro, dezembro
2	fevereiro, março, maio, junho, agosto
3	abril, julho
4	setembro, outubro, novembro

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Cabe destacar, nessa análise, a formação de um grupo com os meses de janeiro e dezembro, que é o período do ano o qual se espera a maior produção de RSU recicláveis, devidos aos festejos de fim de ano. Esse fato foi observado também por Monteiro *et al* (2001), ao argumentar que, devido a fatores como festas de fim de ano e férias escolares, é esperado maior produção de RSU nesse período.

Dessa forma, verifica-se que há uma tendência de maior geração de RSU entre os meses de dezembro e janeiro. Esse fato se dá, possivelmente, devido a fatores econômicos, como o pagamento do 13º, aumentando o poder de compra e favorecendo o aumento dos resíduos (DIAS et al., 2012).

Um outro fato a ser observado é que, diferente da coleta convencional, no caso da seletiva, ocorreu a formação de 4 grupos para os meses da coleta seletiva. Isso pode estar associado ao fato de que o serviço de coleta seletiva na cidade ainda não estar plenamente estabelecido, ou seja, ainda não há uma estabilidade nas informações sobre esse tipo de coleta na cidade.

Ademais, na tabela 14, são apresentadas as estatísticas descritivas dos Clusters de meses de acordo com o quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia, em que foram dispostos os resultados de cada setor. Observa-se que o cluster 1, que representa os meses de dezembro e janeiro, foi composto em sua maioria pelas maiores volumetrias médias de resíduos da coleta seletiva, confirmando as observações feitas anteriormente.

Tabela 14 - Médias, medianas e desvios padrão para os grupos de meses do quantitativo de resíduos da coleta seletiva de Uberlândia – MG.

Setor	Cluster 1			Cluster 2			Cluster 3			Cluster 4		
	Média	Mediana	Dp	Média	Mediana	Dp	Média	Mediana	Dp	Média	Mediana	Dp
S1	5900	5900	282,843	4110	4200	541,295	4825	4825	176,777	5266,67	5150	633,114
S2	15200	15200	2262,74	10880	10600	1259,76	13225	13225	3075,91	14600	13800	1928,73
S3	4330	4330	1513,21	3980	4200	663,89	3125	3125	247,487	5700	5700	200
S4	23550	23550	6858,94	18460	18700	971,082	18700	18700	141,421	19793,3	20730	1683,34
S5	1675	1675	954,594	1640	1350	583,352	2900	2900	1202,08	1723,33	1600	285,716
S6	10750	10750	1343,5	10060	10200	1180,25	7750	7750	1343,5	8466,67	7800	1422,44
S7	4100	4100	707,107	3600	3600	484,768	3240	3240	226,274	3066,67	3200	230,94
S8	4700	4700	2262,74	3158	3240	679,205	3750	3750	919,239	6000	5500	1322,88
S9	15100	15100	3959,8	13060	12900	1545,32	11200	11200	707,107	13366,7	13300	3600,46
S10	4300	4300	141,421	3386	3250	399,975	4550	4550	777,818	4866,67	4800	1501,11
S11	2625	2625	106,066	3060	3000	1324,01	4550	4550	1343,5	4333,33	4200	611,01
S12	7400	7400	565,685	5600	5600	1070,05	6400	6400	141,421	5866,67	5500	1193,04
S13	3200	3200	1838,48	2830	2800	585,875	3100	3100	989,95	3060	2900	480,417
S14	9700	9700	4101,22	8540	8550	2033,9	6800	6800	1131,37	11100	11100	500
S15	19700	19700	2262,74	18740	18500	1705,29	16150	16150	1202,08	17902,7	17800	958,134
S16	2035	2035	233,345	1468	1500	123,976	1090	1090	197,99	1650	1500	396,863

S17	4850	4850	212,132	2930	3000	854,108	2250	2250	212,132	3733,33	3500	493,288
S18	8500	8500	424,264	8710	8800	1636,46	7000	7000	424,264	6566,67	7200	1184,62
S19	4650	4650	353,553	3620	3000	1722,5	2290	2290	1569,78	3800	3500	700
S20	17150	17150	636,396	17696	17400	969,061	18500	18500	282,843	16266,7	16900	1365,04
S21	4700	4700	848,528	3240	3200	472,229	3700	3700	0	3100	3200	854,4
S22	3700	3700	424,264	5180	4950	1094,65	4375	4375	530,33	4166,67	4200	152,753
S23	4150	4150	636,396	3440	3400	585,662	4150	4150	494,975	3900	3600	888,819
S24	4750	4750	777,818	6950	7100	1019,8	5550	5550	494,975	5733,33	5700	450,925
S25	11375	11375	671,751	9320	9200	732,803	10460	10460	1895,05	10533,3	10200	1137,25
S26	26850	26850	777,818	24060	24000	991,464	25550	25550	212,132	22550	22600	2475,38
S27	6725	6725	388,909	5230	5300	578,36	3875	3875	388,909	5483,33	5700	419,325
S28	6750	6750	70,7107	4500	4400	435,89	5200	5200	0	5800	5600	624,5
S29	9200	9200	1272,79	9490	10150	1545,32	8950	8950	1202,08	8050	8150	507,445
S30	8300	8300	707,107	9480	9850	926,418	7550	7550	353,553	8233,33	8000	404,145
S31	6000	6000	2404,16	4540	4500	296,648	4200	4200	424,264	5233,33	5100	230,94
S32	6075	6075	388,909	5020	5150	665,77	4650	4650	494,975	5183,33	4950	728,583

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Dessa forma, na literatura, é possível encontrar diversos trabalhos que utilizam da técnica de análise de cluster para descrever os agrupamentos. Como exemplo, tem-se o trabalho de Ortiz (2022), que utilizou essa técnica para agrupar os estados brasileiros em função da emissão dos gases de efeito estufa. Mais especificamente, na área de gestão de RSU, pode-se citar o trabalho desenvolvido por Silva et al (2020), em que os autores propõem a criação de rotas de coleta de resíduos, com base na análise de cluster para a cidade de Recife.

De uma forma geral, pode-se perceber que a análise de cluster pode ser uma ferramenta importante nos processos de gestão de RSU, pois permite identificar regiões da cidade e seus comportamentos em relação a produção e destinação dos RSU. Entretanto, se faz necessário outros estudos exploratórios sobre a temática, bem como uma melhor compreensão do comportamento dessas variáveis na cidade.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise de Cluster, foi possível identificar similaridades e diferenciabilidades entre as volumetrias dos setores em relação às variáveis analisadas (resíduos da coleta seletiva e quantitativo de RSU destinados ao aterro sanitário), sendo possível segmentar os setores com características semelhantes e atingir o objetivo proposto pelo trabalho, além de contribuir com o planejamento municipal no gerenciamento da coleta e conservação do meio ambiente.

Com isso, é possível propor ações de educação ambiental e orientar ações de intervenção nos bairros que apresentam menor quantidade de resíduos encaminhados para a coleta seletiva, a depender do comportamento de cada Cluster.

Em razão disso, sugerimos que nesses bairros, do grupo clasterizado, que apresentaram maiores quantitativos de resíduos destinados diretamente ao aterro sanitário por meio da coleta regular, sejam realizadas ações de mobilização comunitária e efetividade dos mecanismos de participação popular, visando a redução dos resíduos e seus impactos socioambientais, além de contribuir com o planejamento municipal no gerenciamento da coleta e conservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- 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. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 19 jun. 2022.
- COSTA, B.; DIZ, J. B. M.; OLIVEIRA, M. L. Cultura de consumismo e geração de resíduos. **Revista Brasileira de Estudos Políticos**, v. 116, 2018. DOI: 10.9732/rbep.v116i0.570
- DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Engenharia Sanitária & Ambiental**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 325-332, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522012000300009>.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. [S. l.]: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 03 abr. 2021
- MERELLES, L. R. O.; SILVA, C. O.; LUZ, M. P.; MENEZES, J. E.; DIAS, V. S. Previsão de geração de resíduos sólidos para o aterro de Aparecida de Goiânia (GO) por séries temporais. **Engenharia sanitária e ambiental**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 537-546, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019183284>
- MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 193 p.
- ORTIZ, A. C. T. D. T. **Análise do comportamento estatístico das emissões de CO₂ no Brasil**. 2022. 50 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/34298>. Acesso em: 19 nov. 2022. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.65>
- R CORE TEAM 2020. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 19 jun. 2022.
- SILVA, L. R. T.; LEITE, E. S. Planejamento urbano e impactos pluviométricos na cidade de Uberlândia (MG). In: SBCG/UFJF, 12, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora: SBCJ, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342335165_PLANEJAMENTO_URBANO_E_IMPACTOS_PLUVIOMETRICOS_NA_CIDADE_DE_UBERLANDIA_MG/download. Acesso em: 19 jun. 2022.
- SILVA, R. C. P. da ; COSTA, A. R. S.; EL-DEIR, S. G.; JUCÁ, J. F. T. Setorização de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares por técnicas multivariadas: estudo de caso da cidade do Recife, Brasil. **Eng Sanit Ambient.**, [S. l.], v.25, n.6, nov/dez, p. 821-832, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020200205>.

SOUZA, J. A. R. de, Moreira, D. A., Guimarães, G. I., & Carvalho, W. B. (2018). **Caracterização e influência da sazonalidade na geração de resíduos sólidos em Urutaí-GO**. *Multi-Science Journal*, 1(1), 79–83. <https://doi.org/10.33837/msj.v1i1.52>

UBERLÂNDIA. Prefeitura Municipal. **Uberlândia com melhor Saneamento Básico**. Uberlândia: Prefeitura, 2021. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/2021/03/22/uberlandia-esta-entre-as-3-cidades-com-melhor-saneamento-basico-do-brasil/>. Acesso em: 19 set. 2021.

UBERLÂNDIA. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Coleta seletiva**. Uberlândia: DMAE, 2020b. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae/servicos-dmae/residuos-solidos/coleta-seletiva/>. Acesso em: maio 2021.

UBERLÂNDIA. Prefeitura Municipal. **Plano municipal de saneamento básico**. Uberlândia: Prefeitura, novembro de 2018. Disponível em: http://servicos.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/20610.pdf. Acesso em: 19 jun. 2022.

UBERLÂNDIA. Prefeitura. **Galpões de materiais recicláveis**. Uberlândia: Prefeitura, 2014. Disponível em: <https://www.amvapmg.org.br/1/uberlandia-novos-equipamentos-otimizam-trabalho-em-galpoes-de-reciclagem/>. Acesso em: 21 nov. 2018.

APÊNDICE A – FOTOS DA CORU EM SETEMBRO DE 2021



Fonte: Autora (2022).



Fonte: Autora (2022).



Fonte: Autora (2022).



Fonte: Autora (2022).



Fonte: autora (2022).