

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

PEDRO HENRIQUE MESQUITA SILVÉRIO

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADES SOCIAIS E AMBIENTAIS DO
MUNICÍPIO DE TRÊS PONTAS, MINAS GERAIS: UMA PROPOSTA E
APLICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Alfenas/MG

2024

PEDRO HENRIQUE MESQUITA SILVÉRIO

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADES SOCIAIS E AMBIENTAIS DO
MUNICÍPIO DE TRÊS PONTAS, MINAS GERAIS: UMA PROPOSTA E
APLICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rafael de Oliveira Tiezzi
Coorientador: Prof^a. Dr. Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes.

Alfenas/MG

2024

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Silvério, Pedro Henrique Mesquita.

Avaliação de vulnerabilidades sociais e ambientais do município de Três Pontas, Minas Gerais : uma proposta e aplicação de metodologia para resíduos sólidos urbanos / Pedro Henrique Mesquita Silvério. - Alfenas, MG, 2024.

79 f. : il. -

Orientador(a): Rafael de Oliveira Tiezzi.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2024.

Bibliografia.

1. Índice de Vulnerabilidade Intraurbana. 2. Análise dos Componentes Principais. 3. Resíduos Sólidos Urbanos. 4. Desenvolvimento Socioeconômico. 5. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. I. Tiezzi, Rafael de Oliveira, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

PEDRO HENRIQUE MESQUITA SILVÉRIO

“ AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADES SOCIAIS E AMBIENTAIS DO MUNICÍPIO DE TRÊS PONTAS, MINAS GERAIS: UMA PROPOSTA E APLICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ”

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 10 de junho de 2024.

Prof. Dr. Rafael de Oliveira Tiezzi

Instituição: Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Prof. Dr. Thiago Corrêa de Souza

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL)

Dr. Edimar Agnaldo Moreira

Instituição: Faculdade de Ciências e Tecnologias de Campos Gerais (FACICA)



Documento assinado eletronicamente por **Rafael de Oliveira Tiezzi, Usuário Externo**, em 10/06/2024, às 15:45, 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://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1260217** e o código CRC **1D4808CD**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a meus pais, Expedito de Souza Silvério e Silvana Abreu Mesquita Silvério, cujo amor incondicional e apoio foram fundamentais em cada etapa desta jornada. Amo vocês imensamente. Às minhas irmãs, Stefany e Lizara, por seu apoio singular ao longo dos anos. Suas caronas, apoio emocional e psicológico foram verdadeiramente inestimáveis. Amo vocês de todo o coração.

Agradeço ao Otávio Messias por ter sido meu companheiro até certo ponto desta jornada. Seu carinho, amor e inspiração foram fontes de força e motivação.

Aos meus amigos Lucas, Edimar e Isabela, meu profundo reconhecimento pela incrível força que me proporcionaram. Vocês foram meu suporte nos momentos mais desafiadores e compartilharam o peso das dificuldades dos últimos anos.

Ao meu orientador, Rafael de Oliveira Tiezzi, que não apenas desempenhou o papel de mentor, mas também se tornou uma figura paterna em minha vida acadêmica. Sua dedicação incansável e inspiração foram essenciais para a conclusão desta dissertação.

Aos membros do PPGCA, especialmente ao Thiago, um coordenador excepcional cuja liderança será lembrada pela compreensão, empatia e resultados alcançados. Sua contribuição ao programa foi inestimável, e sua ausência será profundamente sentida.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de financiamento 23087.006681/2024-98.

RESUMO

A construção de um índice de vulnerabilidade intraurbana a nível de setor censitário no Brasil enfrenta desafios significativos devido à escassez de dados detalhados. No entanto, tal índice é essencial para orientar o monitoramento da distribuição de acesso a recursos e serviços, além de apoiar o desenvolvimento socioeconômico e a alocação de recursos para áreas necessitadas. Um estudo utilizou dados do Censo de 2010 para desenvolver um Índice de Vulnerabilidade Intraurbano, analisando 88 setores censitários. Quatorze indicadores foram distribuídos em três domínios e analisados por meio de Análise de Componentes Principais, resultando em dois componentes principais que explicaram 71,80% da variação total dos indicadores. O primeiro componente, Índice de Desenvolvimento Social Intraurbano, e o segundo componente, Índice de Privação de Recursos e Serviços Intraurbano, evidenciaram áreas com alta privação de recursos e serviços básicos, afetando 13,31% da população e 12,57% dos domicílios. Este índice mostrou-se viável e estatisticamente robusto, podendo apoiar no futuro o monitoramento de distribuição de recursos e a gestão pública. No segundo estudo, o Índice de Vulnerabilidade Intraurbano criado foi aplicado para a coleta de dados com base nos setores censitários categorizados pelo desenvolvimento do primeiro artigo, permitindo uma análise detalhada da composição dos resíduos sólidos urbanos em Três Pontas, Minas Gerais. Utilizando o Índice de Desenvolvimento Social Intraurbano, foram realizadas análises estatísticas (MANOVA e ANOVA) e testes de regressão para as principais frações de resíduos. Os resultados mostraram que 54,48% dos resíduos são biodegradáveis, 10,08% são plásticos recicláveis, 3,06% são resíduos sanitários potencialmente contaminados, e 2,14% são rejeitos diversos não recicláveis. Famílias em áreas de alto desenvolvimento social geram maiores percentuais de materiais recicláveis, enquanto famílias em áreas de baixo desenvolvimento socioeconômico geram menores quantidades de resíduos. A alta incidência de resíduos biodegradáveis e recicláveis sugere um potencial a ser explorado para melhorar a gestão de resíduos, destacando a necessidade de reavaliação do modelo atual de coleta seletiva e a possível implementação de uma usina de compostagem. Ambos os estudos destacam a importância de índices detalhados para a gestão eficiente de recursos e serviços em áreas urbanas.

Palavras-chave: Índice de Vulnerabilidade Intraurbana; Análise dos Componentes Principais; Resíduos Sólidos Urbanos; Desenvolvimento Socioeconômico

ABSTRACT

The construction of an intra-urban vulnerability index at the census tract level in Brazil faces significant challenges due to the scarcity of detailed data. However, such an index is essential for guiding the monitoring of access distribution to resources and services, as well as supporting socioeconomic development and resource allocation to areas in need. A study used data from the 2010 Census to develop an Intra-urban Vulnerability Index, analyzing 88 census tracts. Fourteen indicators were distributed across three domains and analyzed through Principal Component Analysis, resulting in two main components that explained 71.80% of the total variation in the indicators. The first component, Intra-urban Social Development Index, and the second component, Intra-urban Resource and Service Deprivation Index, revealed areas with high deprivation of resources and basic services, affecting 13.31% of the population and 12.57% of households. This index proved to be viable and statistically robust, potentially supporting future monitoring of resource distribution and public management. In the second study, the created Intra-urban Vulnerability Index was applied to data collection based on census tracts categorized by the development of the first article, allowing a detailed analysis of urban solid waste composition in Três Pontas, Minas Gerais. Using the Intra-urban Social Development Index, statistical analyses (MANOVA and ANOVA) and regression tests were performed for the main waste fractions. Results showed that 54.48% of waste is biodegradable, 10.08% is recyclable plastics, 3.06% is potentially contaminated sanitary waste, and 2.14% is various non-recyclable waste. Families in areas of high social development generate higher percentages of recyclable materials, while families in areas of low socioeconomic development generate smaller amounts of waste. The high incidence of biodegradable and recyclable waste suggests potential to be explored for improving waste management, highlighting the need for reassessment of the current selective collection model and the possible implementation of a composting plant. Both studies emphasize the importance of detailed indices for efficient management of resources and services in urban areas.

Keywords: Intra-Urban Vulnerability Index; Principal Component Analysis; Urban Solid Waste; Socioeconomic Development

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A área de estudo e os setores censitários.....	29
Figura 2 - Matriz de correlação dos 14 indicadores selecionados para pesquisa.....	33
Figura 3 - Matriz de correlação intra-dimensional.....	34
Figura 4 - Ilustração dos autovalores para todos os CPs.....	40
Figura 5 - Distribuição espacial dos setores censitários baseado no Índice de Desenvolvimento Social Intraurbano.....	43
Figura 6 - Distribuição espacial dos setores censitários baseado no Índice de Privação de Recursos e Serviços Intraurbano.....	48
Figura 7 - Distribuição espacial dos setores com maior vulnerabilidade social.....	49
Figura 1 - Mapa urbano de Três Pontas subdividido por estratos socioeconômicos.....	60
Figura 2 - Boxplot comparativo entre classes sociais: Resíduos Biodegradáveis e Resíduos Plásticos Recicláveis.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Indicadores considerados para a composição do Índice Vulnerabilidade	
Intraurbano.....	31
Quadro 1 - Frações selecionadas para a caracterização dos resíduos domésticos.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medida de Adequação de Amostragem de KMO.....	37
Tabela 2 - Teste de consistência interna dos setores dos sub-índices através do alfa de Cronbach e o ômega de McDonald.....	38
Tabela 3 - Variância explicada dos 2 primeiros PCs, retidos pelo critério de Catell, juntamente com seus autovalores.....	40
Tabela 4 - Distribuição populacional por classe social a partir do Índice de Desenvolvimento Social Intraurbano (PC1).....	42
Tabela 5 - Distribuição populacional por classe social a partir do Índice Privação de Recursos e Serviços Intraurbano (PC2).....	45
Tabela 6 - Distribuição populacional e domiciliar das áreas vulneráveis de Três Pontas.....	49
Tabela 1 - Geração dos RSU por categoria, entre os estratos socioeconômicos.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AC	Análise de Clusters
ACP	Análise dos Componentes Principais
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CP	Componentes Principais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PMGIRS	Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UNIFAL-MG	Universidade Federal de Alfenas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	ÍNDICES BASEADOS EM ÁREA (IBAS).....	17
2.2	CONSTRUÇÃO DE ÍNDICES BASEADOS EM ÁREA.....	18
2.3	PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	19
2.4	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	21
3	ARTIGO 1 - PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O CÁLCULO E ANÁLISE ESPACIAL DE UM ÍNDICE DE VULNERABILIDADE INTRAURBANA DE TRÊS PONTAS - MG.....	24
4	ARTIGO 2 - RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU): UMA ANÁLISE SOCIOECONÔMICA DA GERAÇÃO E COMPOSIÇÃO.....	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
	REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO GERAL

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) representa um desafio para o crescimento sustentável das nações, em razão da significativa urbanização e transição nos padrões de consumo (Khan; Kumar; Samadder, 2016). A origem dos RSU englobam um conjunto de fenômenos sociais, proveniente das dinâmicas de produção e consumo que refletem socialmente e, conseqüentemente, em relação aos resíduos descartados.

Esse contexto exige estratégias de enfrentamento que esbarram na necessidade de investigações sobre as taxas de geração e composição dos RSU (Letcher; Vallero, 2019). No entanto, países em desenvolvimento lidam com a defasagem de políticas públicas, infraestrutura, informalidade do trabalho, incentivos fiscais e a ausência de uma cultura de descarte (Buenrostro; Bocco; Vence, 2001; Magalhães; Danilevicz; Saurin, 2017; Abrelpe, 2020; Abrelpe, 2021; Adeniyi, 2023).

De acordo com o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais, integrado ao Secretariado das Nações Unidas, 55% da população mundial vive em áreas urbanas (IPEA, 2013). Na América Latina e Central, a densidade urbana é 30% maior que a média mundial. No geral, 4,2 bilhões de pessoas vivem em ambientes urbanos, em comparação com 3,4 bilhões em regiões rurais (Kaza *et al.*, 2018).

De acordo com relatório *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management* (2012), havia 2,9 bilhões de pessoas habitando regiões urbanas e, produziam em média, cerca de 0,64 kg/hab./dia (680 milhões de toneladas anualmente). Atualizado em 2018, o relatório *What a Waste 2.0*, projetou uma produção anual de 3,4 bilhões de toneladas entre 2030 a 2050, um aumento de 40% (2,01 bilhões de toneladas) (Kaza *et al.*, 2018).

Nações que apresentam melhores índices de desenvolvimento humano e econômico, produzem em média 2 vezes mais RSU que as nações em desenvolvimento. Os Estados Unidos, por exemplo, estão entre os países com maior geração RSU per capita diária (2,58 kg/hab./dia), seguido do Canadá (2,33 kg/hab./dia), Alemanha (2,23 kg/hab./dia) e África do Sul (2,11 kg/hab./dia) (Kaza *et al.*, 2018). Em um relatório de 2012, os países de renda baixa representavam apenas 6% do total RSU globalmente gerado, os de média-baixa (29%) e média-alta (19%). Desse modo, é compreensível que países com maior desenvolvimento econômico, contabilizem 46% da produção global (Hoornweg; Bhada-Tata, 2012). Portanto, vale ressaltar que o aumento das estatísticas globais de descarte não é compartilhado proporcionalmente entre os países, evidenciando diferenças estruturais, culturais e econômicas afetam diretamente as dinâmicas de consumo e descarte.

Esse fenômeno de melhoria econômica-produtiva e acentuação do descarte de RSU foi observado na China, país que apresenta crescimento econômico acentuado. Comparadas às províncias com maior desempenho econômico e menor, observou-se que os dados refletiram composições (tipos de resíduos gerados) e gerações (taxa por pessoa) de resíduos distintos, fato atribuído às mudanças deve-se às diferentes variáveis sociais, mas destaca a produtividade industrial como potencial fonte de crescimento influenciado pela produção de valor (Xiao *et al.*, 2020; Zhou; Liang, 2021).

Além da produção de valor, o rendimento nacional, regional, tem sido empregado para compreender as variações de composição e geração (Zhang *et al.*, 2015). Em linhas gerais, entende-se que, quanto maior a renda bruta de um país, maior o consumo e o volume dos rejeitos (Tsheleza *et al.*, 2019). Dado o contexto, a iminência do agravamento da crise proveniente da acumulação e geração de resíduos mundialmente, o debate sobre os impactos causados pelos resíduos e suas interações com o ambiente voltaram a ser pautados como essenciais para reestruturação das cadeias produtivas e o desenvolvimento de políticas mitigatórias (Weldeyohanis; Aneseyee; Sodango, 2022).

Para tanto, a avaliação dos impactos ambientais e a concepção de estratégias de enfrentamento devem partir de dados representativos da população, diagnósticos locais, capazes de permitir o monitoramento e a avaliação contínua. Porém, muitas regiões não contam com um sistema eficiente de políticas públicas e infraestrutura para o gerenciamento nesse setor, que incluem caracterização, recolhimento e destinação (Buenrostro; Bocco; Vence, 2001). Estima-se que 22,5% da população mundial ocupa áreas sem tratamento de RSU, em outras palavras, não contam com acesso a serviços essenciais de coleta regular e destinação (Kaza *et al.*, 2018).

Com o aumento da demanda por recursos naturais e descarte, torna-se necessário determinar algumas prioridades, como observado pela hierarquia na gestão de resíduos, que prevê preferência no desenvolvimento de produtos recicláveis e a destinação final é empregada em casos extremos (Yakubu; Zhou, 2019). Em síntese, a gestão de resíduos deve priorizar a redução, maximizar a reciclagem e reutilizar os resíduos quando praticável. Por fim, garantir a eliminação segura e ambientalmente correta dos resíduos não reaproveitáveis (Iyamu; Anda; Ho, 2020).

A última etapa do sistema de gerenciamento, disposição final dos resíduos, deve ser compreendida como a última alternativa para o descarte, empregada apenas aos resíduos remanescentes e que não podem ser inseridos nos ciclos produtivos. Existem diversas alternativas para destinação dos RSU não recicláveis, reaproveitáveis ou reutilizáveis, sendo

majoritariamente encaminhados para aterros, incineradores e tratamentos especiais (Habib; Schmidt; Christensen, 2013). Nas regiões da Ásia Central e Europa, a disposição dos resíduos é predominantemente realizada em aterros (20.1%) e lixões (25.6%) (Kaza *et al.*, 2018).

É importante ressaltar que existem diferenças estruturais entre os dois modelos de aterragem, sanitários e controlados. O sanitário é projetado e implementado a partir de técnicas de impermeabilização do solo, onde existem métodos de coleta do lixiviado e dos gases poluidores produzidos através da decomposição dos orgânicos (Habib; Schmidt; Christensen, 2013). O controlado, entretanto, não conta com a mesma atenção em seu planejamento e, consiste no processo soterramento dos rejeitos, sem a atenção aos subprodutos gerados pela decomposição.

Como anteriormente referido, a distribuição dos aterros pelo mundo é ampla e compõe cerca de 50% dos modelos adotados para destinação dos RSU. Em países de renda média-alta, chegam a comportar em torno de 54% dos resíduos destinados, essa taxa é menos significativa em países de renda alta 39%, onde 35% dos resíduos são reciclados e 22% incinerados (Kaza *et al.*, 2018).

Avaliar as variações dos indicadores dos RSU entre os países é possível pela presença de dados regionais. Independente das particularidades econômicas enfrentadas, o diagnóstico da estratificação da massa dos RSU deve ser etapa primária para qualquer política pública. A informação sobre a composição dos resíduos é um insumo primário para o desenho de estratégias de enfrentamento, otimizando assim a utilização dos recursos públicos, bem como, a valoração e redução dos custos de tratamento (Adipah; Kwame, 2018). Um exemplo da caracterização dos resíduos como um instrumento de predição é observado no fenômeno de transição entre vidros, metais diversos, resíduos orgânicos, para derivados de petróleo, como os plásticos, borrachas sintéticas, etc., durante os anos (Habib; Schmidt; Christensen, 2013).

Por fim, além da caracterização dos RSU em primazia, a estratificação das amostras em recortes urbanos com diferentes nuances socioeconômicas permite inferir sobre as relações que delineiam o descarte. Características urbanas locais como, cobertura do saneamento, coleta de resíduos, escolaridade, idade, rendimento, consumo, situação habitacional, empregabilidade, gênero, entre outros, são alguns dos recortes que podem interagir com a geração ou composição dos RSU (Weldeyohanis; Aneseyee; Sodango, 2022).

As cidades brasileiras também encontram uma lacuna de pesquisas diagnósticas, muitas vezes, métricas nacionais são publicados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2013) e precipitadamente aplicados ao contexto das

idades. No entanto, mesmo com as semelhanças regionais, a gestão dos RSU compreende particularidades que devem ser analisadas localmente (Noufal *et al.*, 2020).

A fase diagnóstica, ou levantamento de dados, é obrigatória para os municípios e prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Federal n.º 12.305 de agosto de 2010 (Brasil, 2012). Em síntese, a PNRS objetiva a redução, reutilização, reciclagem, tratamento e descarte dos RSU e mitigação dos danos ao meio ambiente e à saúde pública. Estabelece princípios, instrumentos e diretrizes de gerenciamento integrado e atribui responsabilidades aos entes públicos e privados.

Nesse sentido, ela determina que todos os municípios deverão possuir um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), prevista a obrigatoriedade da fase diagnóstica. Inserida nesse contexto, a cidade de Três Pontas, Minas Gerais, não possui um PMGIRS, ainda que responsável pelo diagnóstico, planejamento e execução da infraestrutura de coleta de RSU.

Ainda que a discussão sobre o PMGIRS foi levantada no Plano Estratégico de Desenvolvimento Integrado do Município de Três Pontas, Lei de n.º 2.733, de 9 de outubro de 2006, Art. 16, que determina a “elaboração e implantação de Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos” e precede a obrigatoriedade da PNRS (Três Pontas, 2004). No entanto, o avanço dessa discussão deu-se em 2015, com a instituição do Plano Municipal de Saneamento Básico que mencionava o PMGIRS e incentivava sua elaboração, postergado devido às dificuldades operacionais do levantamento (Três Pontas, 2017).

Portanto, a caracterização dos RSU é um produto imprescindível para elaboração de políticas de gestão dos RSU. Existem dois métodos aplicados para caracterização dos RSU; fluxos de materiais, que necessita de uma base informacional do mercado produtivo e consumidor; e o método físico direto, onde as unidades de amostragem são compostas por geradores, como escritórios, instituições públicas, comerciais ou, majoritariamente, domicílios (Vetter-Gindele *et al.*, 2019).

O método físico direto apresenta etapas de difícil execução, como por exemplo, a amostragem de veículos de coleta transportam toneladas de RSU, que exigem etapas de quarteamento (redução da massa de resíduos para retirada da amostra) e suporte de maquinário para deslocamento dos RSU.

Os métodos tradicionais (físico direto), como exigidos pela Fundação de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais (2019), requerem orçamentos mais robustos, tornando o procedimento inadequado para cidades de pequeno (< 25 mil habitantes) e médio porte (25 - 100 mil habitantes) (Calvo *et al.*, 2016). Por exemplo, para a estratificação das áreas

amostradas, faz-se necessário o levantamento social, por meio de questionários (fonte primária). As coletas são realizadas em áreas extensas (toneladas de RSU transportados) e necessitam de processo de quarteamento que, necessariamente, exige um grupo elevado de participantes para homogeneizar a pilha de resíduos e escavadeiras para grandes montantes.

Para possibilitar a caracterização dos RSU no município, aplicou-se uma metodologia para cidades de pequeno e médio porte, focadas em uma única unidade amostral, os domicílios, desprezando áreas comerciais e industriais (Miezah *et al.*, 2015). Por fim, aplica-se a estratificação econômica simplificada, por meio dos setores censitários (fonte primária dos dados), reduzindo os custos da execução.

Os setores censitários são recortes espaciais produzidos no planejamento e execução do Censo Demográfico de 2010 (2012) sua elaboração considera a densidade de domicílios e o trajeto do recenseador durante o levantamento. Portanto, a metodologia empregada, destina-se a ser menos dispendiosa, requerendo apenas instrumentos e materiais básicos acessíveis aos agentes públicos (Villalba *et al.*, 2020).

O presente estudo analisou a variação da composição do Resíduo Sólido Urbano (RSU) em Três Pontas, levando em consideração os diferentes estratos socioeconômicos presentes na região. Para isso, os objetivos específicos são: desenvolver um método robusto para identificar a estratificação socioeconômica intraurbana da cidade; investigar a variabilidade na composição do RSU ao longo dos meses de coleta; avaliar a variação na composição do RSU entre os distintos estratos socioeconômicos dentro da área urbana; e realizar uma comparação dos resultados obtidos com estudos anteriores, visando contextualizar e validar os achados deste trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ÍNDICES BASEADOS EM ÁREA (IBAS)

O uso de índices baseados em área (IBAs) desempenha um papel fundamental em diversas disciplinas, desde a geografia até a saúde pública. Os índices são ferramentas quantitativas que permitem medir e avaliar características específicas de uma determinada região geográfica (Abelairas-Etxebarria; Astorkiza, 2020). Na ecologia, esses índices podem representar a biodiversidade de uma área, enquanto na economia, podem indicar o nível de desenvolvimento socioeconômico de um recorte regional (Barrozo *et al.*, 2020; Keil *et al.*, 2021).

A utilização de índices baseados em área oferece vantagens significativas na análise espacial e na tomada de decisões em projetos públicos. Esses índices permitem uma avaliação abrangente das características de uma região, considerando tanto sua extensão geográfica quanto sua distribuição espacial, seja para investigação da privação de recursos em determinadas regiões ou a vulnerabilidade a mudanças climáticas (Wang *et al.*, 2021; Azam; Rahman, 2022). Isso possibilita a identificação de padrões, tendências e disparidades que podem não ser perceptíveis ao se analisar apenas dados pontuais ou agregados em níveis mais altos, como nacionais ou estaduais (Anselin; Sridharan; Gholston, 2006).

Os IBAs fornecem uma base sólida para a comparação entre diferentes regiões. Ao quantificar características específicas de cada área, os investigadores podem realizar análises comparativas que ajudam a entender as diferenças e semelhanças entre diferentes contextos geográficos (Barrozo *et al.*, 2020). Isso é essencial para identificar áreas de interesse, definir a potencialidade de risco ou intervenção e desenvolver estratégias de manejo e desenvolvimento regional (Panzerá; Postiglione, 2020).

Os IBAs socioeconômicos são amplamente utilizados na investigação de saúde pública e de resultados de saúde, com diferenças notáveis nas suas características (Trinidad *et al.*, 2022). Estes índices são eficazes na detecção de diferenças nos resultados de saúde e na monitorização de disparidades nos sistemas de cuidados de saúde, sendo os indicadores ao nível local particularmente úteis (Berkowitz *et al.*, 2015). Embora os indicadores a nível individual possam produzir lacunas maiores na esperança de vida e na esperança de vida sem deficiência, os indicadores baseados em áreas ainda são valiosos na avaliação das desigualdades na saúde (Pampalon; Hamel; Gamache, 2009). IBAs socioeconômicos, tais como índices de desemprego e privação, estão positivamente associados a indicadores a nível

individual e são eficazes na detecção de desigualdades sociais na saúde (Domínguez-Berjón *et al.*, 2006).

Em síntese, o uso de IBAs é uma prática essencial para a compreensão e a gestão de fenômenos geográficos, ambientais, sociais e econômicos. Sua aplicação permite uma análise detalhada e comparativa das características de diferentes regiões, contribuindo para a formulação de políticas informadas, a identificação de áreas de intervenção prioritárias e o desenvolvimento sustentável em diversas escalas territoriais.

2.2 CONSTRUÇÃO DE ÍNDICES BASEADOS EM ÁREA

No âmbito da análise espacial, a Análise de Componentes Principais (ACP) se destaca como uma técnica estatística robusta para reduzir a dimensionalidade de conjuntos de dados multivariados, identificando os componentes principais (CPs) que capturam a maior parte da variabilidade disponível nos dados (Rencher; Christensen, 2012). Essa metodologia possibilita a exploração de relações complexas entre diferentes variáveis espaciais (coordenadas, polígonos, etc.) e a identificação de padrões subjacentes não detectados (Panzera; Postiglione, 2020).

A ACP tem sido amplamente utilizada na criação de índices baseados em área devido à sua capacidade de simplificar e extrair informações ocultas dos índices originais (Elhaik, 2022). No entanto, o ACP tradicional pode não ser adequado para lidar com grandes valores de índice de incerteza, levando à proposta do método M-ACP (Zhang; Guo; Gao, 2020). Este método considera a influência de fatores negativos e teorias subjetivas, tornando-o mais eficaz na avaliação de indicadores de qualidade.

Combinada com Índices Baseados em Área (IBAs), a ACP se torna uma ferramenta ainda mais poderosa para desvendar padrões e tendências complexas em dados espaciais (Azam; Rahman, 2022). Os IBAs, por sua vez, consistem em medidas quantitativas que descrevem a distribuição espacial de um fenômeno, fornecendo informações valiosas sobre a concentração, dispersão e fragmentação espacial do mesmo (Havard *et al.*, 2008). Ao integrar a ACP com IBAs, é possível obter uma visão holística da distribuição espacial do fenômeno em estudo, identificando áreas com características espaciais semelhantes e analisando a dinâmica temporal de padrões espaciais (Vyas; Kumaranayake, 2006).

Diversas metodologias podem ser empregadas na combinação da ACP com IBAs. A ACP tradicional, por exemplo, é um método clássico que visa identificar os CPs que maximizam a variância total dos dados. A ACP robusta se mostra mais adequada para lidar

com dados espaciais que apresentam *outliers* ou ruídos, enquanto a ACP com variáveis latentes permite a modelagem de relações complexas entre as variáveis espaciais (Johnson; Wichern, 2019).

As aplicações da ACP com IBAs abrangem uma ampla gama de áreas, desde o monitoramento ambiental, análise da saúde pública (acesso a serviços de saúde, como tempo de espera ao atendimento), ciências sociais (concentração de recursos ou desigualdade) e o planejamento urbano (como a densidade de habitacional ou taxa de ocupação domiciliar) (Barrozo *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021). Através dessa abordagem, é possível construir modelos preditivos para identificar áreas de risco, subsidiar a tomada de decisões em diversos contextos e contribuir para o avanço do conhecimento em diversas áreas.

É importante ressaltar que, apesar dos diversos benefícios da ACP com IBAs, alguns desafios também devem ser considerados. A escolha do método de ACP adequado, a interpretação dos CPs e a validação dos resultados são aspectos cruciais que exigem rigor metodológico e cautela na interpretação (Vyas; Kumaranayake, 2006). Importância do tamanho da amostra e da correlação das variáveis, bem como a necessidade de tratar os indicadores de valor dinâmico como constantes (Diantin, 2015). Estratégias analíticas alternativas para interpretar os resultados do ACP, incluindo regras para fatores de retenção e estratégias de rotação (Kellow, 2007) ou a necessidade de uma consideração cuidadosa do tipo de matriz utilizada para a transformação do ACP, sendo as matrizes padronizadas mais precisas (Fung; Ledrew, 1987). Esses estudos ressaltam coletivamente a necessidade de consideração cuidadosa do tamanho da amostra, correlação de variáveis, tipo de matriz e métodos de extração de componentes ao usar ACP para índices baseados em área.

A ACP com IBAs se configura como uma ferramenta poderosa e versátil para a análise de dados espaciais, oferecendo diversos benefícios para a compreensão de padrões espaciais complexos e a tomada de decisões em diversos domínios. Ao considerar os desafios metodológicos e interpretativos, essa abordagem pode ser utilizada de forma eficaz para extrair informações valiosas de dados espaciais, contribuindo para o avanço do conhecimento em diversas áreas.

2.3 PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Resíduos sólidos urbanos (RSU) são todos os resíduos gerados em áreas urbanas, provenientes de atividades domésticas, comerciais, institucionais e industriais. Resíduos estes que são predominantes na América Latina, região mais urbanizada do mundo, com cerca de

80% da população vivendo em áreas urbanas (Kaza *et al.*, 2018). Esses resíduos incluem uma variedade de materiais descartados, como papel, plástico, vidro, metal, resíduos orgânicos, entre outros (Alfaia; Costa; Campos, 2017).

A gestão adequada dos RSU, consiste no planejamento, organização, implementação e controle de atividades relacionadas à coleta, transporte, tratamento, reciclagem e disposição final adequada de resíduos sólidos (Kaza; Yao; Stowell, 2016). Essa cadeia é fundamental para a saúde pública, o meio ambiente e o bem-estar das populações urbanas (Abdallah *et al.*, 2020). A implementação de um sistema de gestão pode variar de acordo com as especificidades regionais, mas são comumente classificados em seis fases: a) diagnóstico; b) planejamento e elaboração de políticas; c) educação e conscientização populacional; d) coleta seletiva e triagem; e) tratamento e destinação final; e f) monitoramento e avaliação (Sarno, 2022).

A fase diagnóstica, nesse contexto, é uma etapa fundamental que envolve a coleta e análise de informações detalhadas sobre a situação atual dos RSU em uma determinada região. Nesta fase, são realizados estudos e levantamentos para compreender a composição, origem, quantidade, características e fluxos dos resíduos gerados na área de estudo (Brasil, 2012). Dentre os aspectos da fase diagnóstica, a etapa caracterização dos RSU, consiste em determinar indicadores como a geração *per capita*, efetividade da gestão dos RSU, subsídios do planejamento estratégicos e a adequação às disposições da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Brasil, 2012; ABRELPE, 2013).

No Brasil, a PNRS exige estudos de caracterização dos resíduos como instrumento para o planejamento da gestão municipal, as prefeituras podem adotar diversas modalidades de gestão de resíduos sólidos urbanos, como coleta seletiva, aterros sanitários, usinas de triagem, consórcios intermunicipais, planos integrados, cooperativas de catadores e programas de educação ambiental (Brasil, 2012).

A caracterização dos resíduos sólidos pode ser realizada por diferentes agentes, como órgãos governamentais, instituições de pesquisa, empresas especializadas em consultoria ambiental e universidades (FEAM, 2019). Esses agentes devem apresentar conhecimentos sobre a coleta, separação, classificação e análise dos resíduos, contribuindo para a obtenção de dados precisos sobre a composição e as características dos RSU.

Nesse sentido, a PNRS determina que todos os municípios deverão possuir um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), prevista a obrigatoriedade da fase diagnóstica. Nesse contexto, a cidade de Três Pontas, Minas Gerais, não possui um

PMGIRS, ainda que responsável pelo diagnóstico, planejamento e execução da infraestrutura de coleta de RSU (Três Pontas, 2015).

2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A caracterização dos RSU se configura como uma etapa fundamental para a implementação de um sistema de gestão eficaz, permitindo o direcionamento adequado dos recursos e a otimização dos processos de coleta, transporte, tratamento e disposição final (Alfaia; Costa; Campos, 2017). Através da análise da composição dos RSU, é possível identificar os tipos de materiais predominantes, a origem dos resíduos, a quantidade gerada *per capita* e a distribuição espacial da geração (Iyamu; Anda; Ho, 2020). Essas informações são essenciais para o planejamento estratégico da gestão de RSU, subsidiando a tomada de decisões assertivas e a implementação de ações direcionadas para cada tipo de resíduo.

Diversas metodologias podem ser empregadas na caracterização dos RSU, variam de acordo com os objetivos específicos do estudo e a disponibilidade de recursos (Allesch; Brunner, 2014). A metodologia mais comum consiste na coleta aleatória de amostras representativas dos RSU em diferentes pontos de geração, como residências, comércios, instituições e indústrias. As amostras coletadas são então separadas e classificadas de acordo com a sua composição material, permitindo a quantificação da proporção de cada tipo de material presente nos RSU (FEAM, 2019).

Além da triagem manual, outras técnicas podem ser utilizadas para complementar a caracterização dos RSU, como a análise granulométrica, que determina a distribuição dos resíduos por tamanho, e a análise composicional, que identifica os elementos químicos presentes nos materiais (Dahlén; Lagerkvist, 2008). Essas técnicas fornecem informações valiosas sobre as propriedades físicas e químicas dos RSU, auxiliando na definição dos métodos de tratamento e disposição final mais adequados.

A caracterização de RSU é um processo multifacetado que exige a expertise de diversos agentes e a aplicação de métodos rigorosos para garantir a obtenção de dados confiáveis e relevantes para a gestão eficaz desses materiais. Conforme as normas da ABNT (2004) e do FEAM (2019), o processo se estrutura em etapas essenciais: seleção da amostra, coleta de dados, análise da composição, quantificação da geração, documentação, análise e emissão de relatório. A coleta de dados se destaca como pilar fundamental, assegurando a representatividade dos resultados e norteando ações para o manejo adequado dos RSU.

Diversas modalidades de coleta podem ser empregadas, cada qual com suas

características e aplicações específicas. A coleta seletiva, por exemplo, permite a segregação dos resíduos na fonte geradora, facilitando sua análise e destinação correta (Cobo; Dominguez-Ramos; Irabien, 2018). A coleta residencial fornece informações sobre os hábitos de consumo e descarte da população, enquanto a coleta industrial se concentra nos resíduos gerados por atividades industriais, que podem apresentar características específicas e exigir análises mais complexas. A coleta em vias públicas busca avaliar o impacto da disposição inadequada de resíduos no meio ambiente (Bharti; Singh; Singh, 2017).

A escolha do tipo de coleta e do método de amostragem depende dos objetivos da análise e das características da população de resíduos, exigindo um planejamento meticuloso e a capacitação da equipe de coleta. Após a coleta dos resíduos sólidos, a jornada segue para etapas cruciais: a classificação e análise. Nessa fase, os materiais descartados são categorizados de acordo com suas características e composição, permitindo uma compreensão profunda de sua natureza e orientando o manejo adequado (FEAM, 2019). A classificação se inicia com a segregação dos resíduos em categorias pré-definidas, como orgânicos, recicláveis, perigosos e rejeitos. Cada categoria possui características e destinos específicos, demandando análises detalhadas para garantir a correta gestão dos materiais, sujeita às demandas locais (municípios) ou limitações dos processos industriais, como previsto pelo Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS) (Brasil, 2012).

A análise dos resíduos orgânicos, por exemplo, concentra-se na determinação do teor de umidade, matéria orgânica volátil e cinzas, fornecendo informações essenciais para compostagem, produção de biogás ou outras formas de valorização energética (Lunag; Elauria, 2021). Os resíduos recicláveis passam por processos de triagem e identificação dos diferentes tipos de materiais, como papel, plástico, metal e vidro, possibilitando sua reintrodução no ciclo produtivo.

No caso dos resíduos perigosos, a análise se aprofunda na avaliação de suas propriedades físico-químicas e toxicológicas, determinando o risco que apresentam ao meio ambiente e à saúde humana (Adelodun *et al.*, 2021). Essa etapa é crucial para definir o destino final adequado, como incineração em instalações controladas ou aterros sanitários específicos. Os rejeitos, que não se encaixam nas categorias anteriores, também são submetidos à análise para determinar a melhor forma de disposição final, considerando critérios rigorosos de segurança ambiental (Alfaia; Costa; Campos, 2017). Através da categorização e do estudo detalhado de suas características, é possível direcionar cada tipo de resíduo para o destino mais adequado, minimizando os impactos negativos ao meio ambiente e promovendo um ciclo de gestão mais sustentável e responsável.

Por fim, é importante ressaltar que a análise e a gestão adequadas dos resíduos, independentemente de sua classificação, são essenciais para garantir a preservação ambiental e a saúde pública a longo prazo. A implementação de medidas eficazes de tratamento e disposição final dos resíduos contribui não apenas para evitar contaminações e danos aos ecossistemas, mas também para promover uma economia circular, na qual os recursos são utilizados de forma mais eficiente e sustentável.

3 ARTIGO 1 - PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O CÁLCULO E ANÁLISE ESPACIAL DE UM ÍNDICE DE VULNERABILIDADE INTRAURBANA DE TRÊS PONTAS - MG

Resumo

A escassez de dados intraurbanos representa um desafio significativo na construção de um índice de vulnerabilidade a nível de setor censitário no Brasil. Tal índice é crucial para orientar o monitoramento da distribuição de acesso a recursos e serviços, o desenvolvimento socioeconômico e a alocação de recursos para regiões mais necessitadas. Este estudo utilizou dados do Censo de 2010 do Brasil para desenvolver um Índice de Vulnerabilidade Intraurbano. Dados de 88 setores censitários do Censo de 2010 foram analisados para gerar o índice. Quatorze indicadores, distribuídos em três domínios, foram selecionados para análise de componentes principais (ACP) com padronização dos componentes principais. Análises de sensibilidade foram conduzidas para verificar se o tamanho da população e o método de ponderação afetam a robustez do índice. Os setores censitários vulneráveis foram identificados e mapeados utilizando o QGIS. Dois componentes principais explicaram 71,80% da variação total nos indicadores analisados. O primeiro componente, Índice de Desenvolvimento Social Intraurbano (PC1), variou de -0,38 a 1,17, enquanto o segundo componente, Índice de Privação de Recursos e Serviços Intraurbano (PC2), variou de -1,6 a 2,9. A sobreposição desses índices evidenciou áreas com alta privação de recursos e serviços básicos, que abrigam 13,31% da população e 12,57% dos domicílios, conjuntamente sobreposto a áreas significativamente de baixo desenvolvimento social. A construção de um índice que considere as áreas vulneráveis intraurbanas de Três Pontas a nível de setor censitário demonstrou-se viável e estatisticamente robusta. No futuro, esse modelo de índice poderá apoiar o monitoramento da distribuição de recursos e a gestão pública do município.

Palavras-chave: Análise dos Componentes Principais; Índices baseados em área; Estratificação socioeconômica.

Abstract

The scarcity of intra-urban data represents a significant challenge in constructing a vulnerability index at the census tract level in Brazil. Such an index is crucial for guiding the monitoring of resource and service access distribution, socioeconomic development, and the allocation of resources to the most needy regions. This study used data from the 2010 Brazilian Census to develop an Intra-Urban Vulnerability Index. Data from 88 census tracts

from the 2010 Census were analyzed to generate the index. Fourteen indicators, distributed across three domains, were selected for principal component analysis (PCA) with standardization of the principal components. Sensitivity analyses were conducted to verify whether population size and weighting method affect the robustness of the index. Vulnerable census tracts were identified and mapped using QGIS. Two principal components explained 71.80% of the total variation in the analyzed indicators. The first component, Intra-Urban Social Development Index (PC1), ranged from -0.38 to 1.17, while the second component, Intra-Urban Resource and Service Deprivation Index (PC2), ranged from -1.6 to 2.9. The overlap of these indices highlighted areas with high deprivation of basic resources and services, which house 13.31% of the population and 12.57% of the households, significantly overlapping with areas of low social development. The construction of an index that considers the intra-urban vulnerable areas of Três Pontas at the census tract level proved to be feasible and statistically robust. In the future, this index model could support the monitoring of resource distribution and public management in the municipality.

Keywords: Principal Component Analysis; Area-based indices; Socioeconomic stratification.

INTRODUÇÃO

Os fenômenos sociológicos que exercem uma influência substancial na qualidade da população são representados nas relações humanas, econômicas e políticas. Dentre eles, estão a pobreza, desigualdade e o crescimento econômico, que impactam significativamente na esfera pessoal e coletiva (REARDON; BISCHOFF, 2011). A pobreza, por exemplo, pode levar a uma série de desafios, como fome, falta de acesso a serviços básicos de saúde e educação, e exclusão social (KANG *et al.*, 2022). A desigualdade, por sua vez, pode gerar tensões sociais, afetar a coesão social e a estabilidade política, além de limitar as oportunidades de desenvolvimento para as pessoas mais pobres (PÁL *et al.*, 2021).

Estes fenômenos manifestam-se de várias maneiras na sociedade, uma das quais é a concentração de riqueza em determinados estratos populacionais. Tal fenômeno ocorre quando um determinado estrato limitado da população detém a maior parte dos recursos para sobrevivência, o que frequentemente resulta em uma distribuição geográfica distinta e desigual (PANZERA; POSTIGLIONE, 2020). Este cenário é compreendido por segregação residencial, caracterizada pela coexistência de diferentes classes sociais em regiões geograficamente distintas, proporcionando acesso desigual a oportunidades e recursos. Neste contexto, estratos com maior poder aquisitivo tendem a ocupar regiões de maior valorização e

exclusividade, enquanto aqueles com menos recursos são relegados a áreas menos valorizadas e com escassez de recursos (REARDON; BISCHOFF, 2011).

Essa segregação pode ter implicações negativas para a coesão e mobilidade social, pois pode restringir as oportunidades de desenvolvimento para indivíduos em situação de pobreza, perpetuando, dessa forma, o ciclo de desigualdade social (MASSEY; DENTON, 1988). Identificar e determinar recortes populacionais geograficamente desfavorecidos exige compreensão da sua complexidade e multidimensionalidade, atributos derivados da pluralidade de causas ou fatores interligados que participam de suas configurações. A complexidade destes fenômenos reside na impossibilidade de se atribuir uma única causa ou fator à sua ocorrência ou desenvolvimento. Ao invés disso, fenômenos sociais usualmente incorporam um conjunto difuso de relações (REARDON; BISCHOFF, 2011).

Há diversas estratégias disponíveis para abordar essa complexidade, estas incluem, mas não se limitam, a técnicas de análise multivariada, com ênfase na redução da dimensionalidade (JOHNSON; WICHERN, 2019). A redução da dimensionalidade busca reduzir o número de variáveis em um conjunto de dados, preservando a interpretabilidade (RENCHER; CHRISTENSEN, 2012). A aplicação dessas técnicas de redução da dimensionalidade torna-se especialmente útil quando voltadas a questões complexas. Ao simplificar a complexidade dos dados, favorece o processo de identificação e interpretação, nesse cenário, permite desenvolver índices sintéticos capazes de representar cenários diversos.

Alguns exemplos de índices mais conhecidos, estão o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), medida da Organização das Nações Unidas que avalia a qualidade de vida em países através da saúde, educação e renda, deste modo o IDH Municipal (IDHM) adequa esta medida para municípios brasileiros (IPEA, 2013). Por fim, o Índice de Gini, que mensura o coeficiente de desigualdade econômica em um país ou região (PANZERA; POSTIGLIONE, 2020). Os índices baseados em área, que são fundamentais por fornecerem um meio de identificar regiões com desvantagens socioeconômicas, podem ser aperfeiçoados pela redução da dimensionalidade, característica que permite um direcionamento mais eficaz de políticas e recursos públicos para essas áreas (AZAM; RAHMAN, 2022; WANG *et al.*, 2023).

Existem métodos diversos de mensuração dos índices, desenvolvidos conforme a finalidade e os dados disponíveis, podendo ser apresentados em diversas escalas, como valores absolutos, percentuais ou escores normalizados (KRISHNAN, 2013). No entanto, existem limitações, como a possibilidade de não capturar as dimensões das faixas socioeconômicas e ser sensível à seleção e a qualidade das variáveis. O desenvolvimento de

índices pode ser sensível a valores extremos (*outliers*), além de ser afetado pela escolha técnica de normalização dos dados (JOLLIFFE; CADIMA, 2016).

A ACP (Análise de Componentes Principais) é uma técnica estatística amplamente utilizada para reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados multivariados, mantendo a maior parte da variação original. No contexto da avaliação da vulnerabilidade social a desastres naturais, a ACP tem sido aplicada para construir índices compostos que combinam múltiplos indicadores socioeconômicos (AZAM; RAHMAN, 2022; BUCHERIE *et al.*, 2022). De acordo com Jolliffe e Cadima (2016), o ACP é uma análise de dados adaptativa, usada para reduzir a dimensionalidade de grandes conjuntos de dados, enquanto aumenta a interpretabilidade. A ACP sintetiza novas variáveis que são funções lineares das variáveis originais, que sucessivamente maximizam a variância e que são não correlacionadas entre si. Essas novas variáveis são os CPs e são definidas pelo conjunto de dados em questão e não previamente.

No estudo conduzido por Vyas e Kumarannayake (2006), realizou uma análise crítica dos índices socioeconômicos derivados de uma ACP. A pesquisa abordou a seleção de variáveis, preparação de dados e questões relacionadas ao agrupamento de dados, interpretação de resultados e estratificação das famílias por meio de índices socioeconômicos. Concluiu-se que, embora a ACP seja eficaz na estratificação de populações socioeconomicamente distintas, as considerações sobre os dados subjacentes influenciam a análise devem ser ponderadas durante a geração e interpretação dos resultados.

Portanto, a seleção cuidadosa das variáveis para a ACP é vital para garantir a acurácia na mensuração da desigualdade intraurbana ao longo do tempo. A pesquisa de Libório *et al.* (2022) detalha que a criação de indicadores de desigualdade intraurbana pode ter variações dependendo dos objetivos e dos dados disponíveis, podendo ser apresentados em diferentes formas como valores absolutos, percentuais ou escores normalizados. Dessa forma, é importante avaliar cuidadosamente as limitações dos dados e da análise no desenvolvimento de índices, bem como, considerar outras abordagens, dependendo do contexto e do objetivo (WANG *et al.*, 2021).

Ainda sobre a ACP, embora útil, pode não contemplar todas as facetas da desigualdade socioeconômica dos dados disponíveis, sendo necessário a inclusão de outras técnicas de análise. Ainda em Bangladesh, a investigação de Azam e Rahman (2022) apresenta uma abordagem de SIG para avaliar a vulnerabilidade espacial de Bangladesh às mudanças climáticas e extremos. O estudo utiliza análise multivariada geoespacial para identificar setores vulneráveis e visualizar a distribuição espacial da vulnerabilidade. O estudo destaca a

necessidade de medidas de mitigação e adaptação específicas para cada setor e localização, além de ressaltar a importância da qualidade dos dados para a realização de estudos dessa natureza.

Finalmente, o estudo de Wang *et al.* (2021) apresenta a criação de um índice de privação de área para os condados da China, usando dados do censo de 2010. O índice foi baseado em quatro domínios de privação: educação, saúde, condições de vida e renda. O estudo ressalta a importância e os desafios de desenvolver um índice de privação de área em países de baixa e média renda, oferecendo *insights* valiosos para pesquisadores e profissionais em políticas públicas e desenvolvimento.

Portanto, a proposta do presente estudo é a elaboração e emprego de um Índice de vulnerabilidade intraurbano para o município de Três Pontas, Minas Gerais. Através desse índice, buscou-se evidenciar a amplitude e a natureza da desigualdade interurbana, disponibilizando uma ferramenta eficaz para mensuração e, conseqüentemente, diminuição dessas disparidades.

MATERIAIS E MÉTODOS

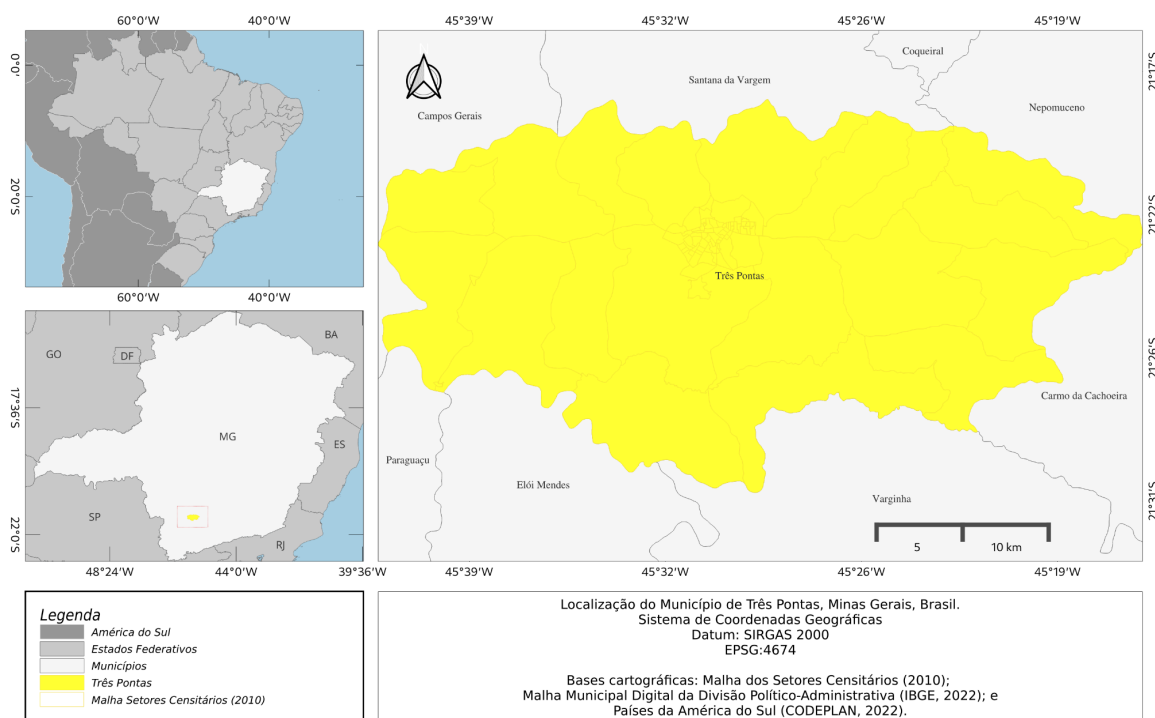
O método aplicado para construir o índice de vulnerabilidade foi adaptado de Krishnan (2013) e Wang *et al.* (2021). Ambos os trabalhos seguem às fases adaptadas abaixo:

- Identificação de variáveis capazes de explicar e cartografar as disparidades socioeconômicas entre as comunidades.
- Transformação dos indicadores em casos onde a distribuição possa não ser linear, assegurando assim o cumprimento das premissas de técnicas paramétricas como a correlação de Pearson.
- Eliminação de valores atípicos (*outliers*), uma vez que a ACP é sensível a estes dados discrepantes.
- Inspeção da matriz de correlação com o objetivo de identificar correlações extremamente baixas ou altas, a fim de evitar o uso de indicadores pouco significativos correlações de interesse.
- Realização dos testes de confiabilidade, incluindo o coeficiente alfa de Cronbach e o coeficiente ômega de McDonald, para avaliar a consistência dos indicadores fundamentais dos componentes.
- Cálculo do índice e categorização das áreas em clusters para facilitar a interpretação e a compreensão dos resultados obtidos.

ÁREA DE ESTUDO

Situada no sul do estado de Minas Gerais, a cidade de Três Pontas (-21.37°S , -45.51°W) encontra-se em uma região montanhosa, com altitudes oscilando entre 800 e 1.200 metros acima do nível do mar. Distante cerca de 290 quilômetros de Belo Horizonte, a capital estadual. Com uma população de 55.259 mil habitantes, uma densidade populacional de 80,11 hab./km² e uma área territorial de 689,794 km², o município apresenta características demográficas específicas Figura 1 (IBGE, 2022).

Figura 1 - A área de estudo e os setores censitários.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

IMPORTAÇÃO DO BANCO DE DADOS

O presente estudo foi conduzido a partir de um conjunto de dados (secundários) abrangentes coletados e divulgados pelo Censo Demográfico de 2010, composto por 23 planilhas distintas. Dados de agregados censitários sobre a população e domicílios (conjunto familiar), permitindo uma análise profunda das características socioeconômicas da área de estudo. Para esse estudo, empregou-se conteúdos da planilha básica, domicílios, pessoas e

renda. As informações básicas (Basico) fornecem um panorama geral da população e dos domicílios, enquanto as categorias Domicilio01 e Domicilio02 detalham as características das unidades habitacionais, incluindo tipo de moradia, condições de saneamento e acesso a serviços básicos.

A categoria Entorno01 complementa a análise ao fornecer informações sobre as características do entorno dos domicílios, como infraestrutura urbana, acesso a áreas verdes e equipamentos públicos. As categorias Pessoa01, Pessoa03 e Pessoa13 fornecem dados sociodemográficos detalhados dos indivíduos, como idade, gênero, nível de escolaridade, renda e situação no mercado de trabalho. Por fim, a categoria Responsavel01, Responsavel02 e ResponsavelRenda detalham as características dos responsáveis pelas unidades habitacionais, como renda, nível de escolaridade e ocupação profissional.

SELEÇÃO, TRATAMENTO E CONVERSÃO DOS INDICADORES

A investigação contou com a integração de dados tabulares (planilhas, extensão “.csv”) com dados espaciais (*shapefile*, malha dos setores censitários, extensão “.shp”) no *software* QGIS. Essa integração permitiu a análise conjunta das informações socioeconômicas e da localização geográfica dos setores censitários, possibilitando uma compreensão mais profunda das disparidades espaciais e da distribuição dos recursos na área de estudo.

Os dados tabulados passaram por várias etapas de tratamento, como correção dos tipos de colunas, substituição de dados faltantes pela média da coluna e limpeza de valores com erro de formatação. Essas medidas visam garantir a integridade e consistência dos dados antes das análises mais avançadas. A partir das variáveis primárias, foram calculados os respectivos indicadores, proporcionando uma base sólida para as análises subsequentes. Inicialmente, foram selecionados 14 indicadores para Vulnerabilidade Intraurbana, com base em revisão de literatura e disponibilidade de dados. A lista completa dos indicadores, incluindo descrição das unidades, fontes de dados, tema e componentes de vulnerabilidade, está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 - Indicadores considerados para a composição do Índice Vulnerabilidade Intraurbano.

(continua)

Indicador/Descrição	Equação
AR-01: Responsáveis com renda inferior a um salário Proporção de responsáveis com rendimento salarial inferior a um salário mínimo.	$(\text{ResponsavelRenda_V001} + \text{ResponsavelRenda_V002}) / \text{Responsavel02_V001}$
AR-02: Insegurança habitacional Proporção de domicílios que enfrentam condições de moradia instáveis ou inadequadas.	$(\text{Domicilio02_V009} + \text{Domicilio02_V010} + \text{Domicilio02_V011}) / \text{Domicilio01_V002}$
AR-03: População acima de 76 anos Proporção de pessoas na população que possuem 76 anos ou mais.	$(\text{Soma de Pessoa13_V111 até Pessoa13_V134}) / \text{Basico_V002}$
AR-04: Superlotação domiciliar Densidade de pessoas vivendo em um domicílio, ajustada por um fator constante.	$(\text{Basico_V002} / \text{Basico_V001}) / 3.35^*$
AR-05: Mulheres responsáveis Proporção de mulheres que são responsáveis por um domicílio.	$(\text{Responsavel01_V001} / \text{Responsavel02_V001})$
ED-01: Crianças alfabetizadas tardiamente (10 aos 14 anos) Proporção de crianças entre 10 e 14 anos que foram alfabetizadas tardiamente.	$(\text{Pessoa01_V007} + \text{Pessoa01_V008} + \text{Pessoa01_V009} + \text{Pessoa01_V010} + \text{Pessoa01_V011}) / (\text{Pessoa13_V044} + \text{Pessoa13_V045} + \text{Pessoa13_V046} + \text{Pessoa13_V047} + \text{Pessoa13_V048})$
ED-02: Pessoas alfabetizadas de 60 aos 80 anos de idade Proporção de pessoas entre 60 e 80 anos que são alfabetizadas.	$(\text{Soma de Pessoa01_V057 até Pessoa01_V077}) / \text{Basico_V002}$
ED-03: Responsáveis e familiares alfabetizados Proporção de responsáveis e familiares em um domicílio que são alfabetizados.	$(\text{Soma de Pessoa01_V078 até Pessoa01_V084}) / \text{Basico_V002}$
ED-04: Conviventes alfabetizados com 10 ou mais anos Proporção de alfabetizados entre indivíduos com 10 anos ou mais em coabitação.	$\text{Pessoa01_V085} / \text{Basico_V002}$

Quadro 1 - Indicadores considerados para a composição do Índice Vulnerabilidade Intraurbano.

(conclusão)

Indicador/Descrição	Equação
PR-01: Sem cobertura da coleta de resíduos sólidos Proporção de domicílios sem acesso à coleta regular de resíduos sólidos.	$(\text{Soma de Domicilio01_V038 até Domicilio01_V041}) / \text{Domicilio01_V002}$
PR-02: Sem acesso à rede elétrica Proporção de domicílios sem acesso à eletricidade.	$(\text{Domicilio01_V046} / \text{Domicilio01_V002})$
PR-04: Domicílios sem condições básicas Proporção de domicílios sem acesso a condições básicas de moradia, como água potável e saneamento.	$(\text{Domicilio01_V023} + \text{Domicilio01_V034} + \text{Domicilio01_V046}) / \text{Domicilio01_V002}$
PR-05: Moradores em condições precárias** Proporção de pessoas vivendo em condições precárias de moradia.	$(\text{Domicilio02_V029} + \text{Domicilio02_V041}) / \text{Basico_V002}$

Legenda: *Um domicílio em condições precárias refere-se a uma habitação que não atende aos padrões mínimos de qualidade e segurança estabelecidos pelo IBGE (2022); **A taxa de ocupação residencial obtida pelo valor médio de 82 setores censitários urbanos de Três Pontas (IBGE, 2012); AR (Autonomia de Renda); ED (Educação); PR (Privação de Recursos e Serviços).

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

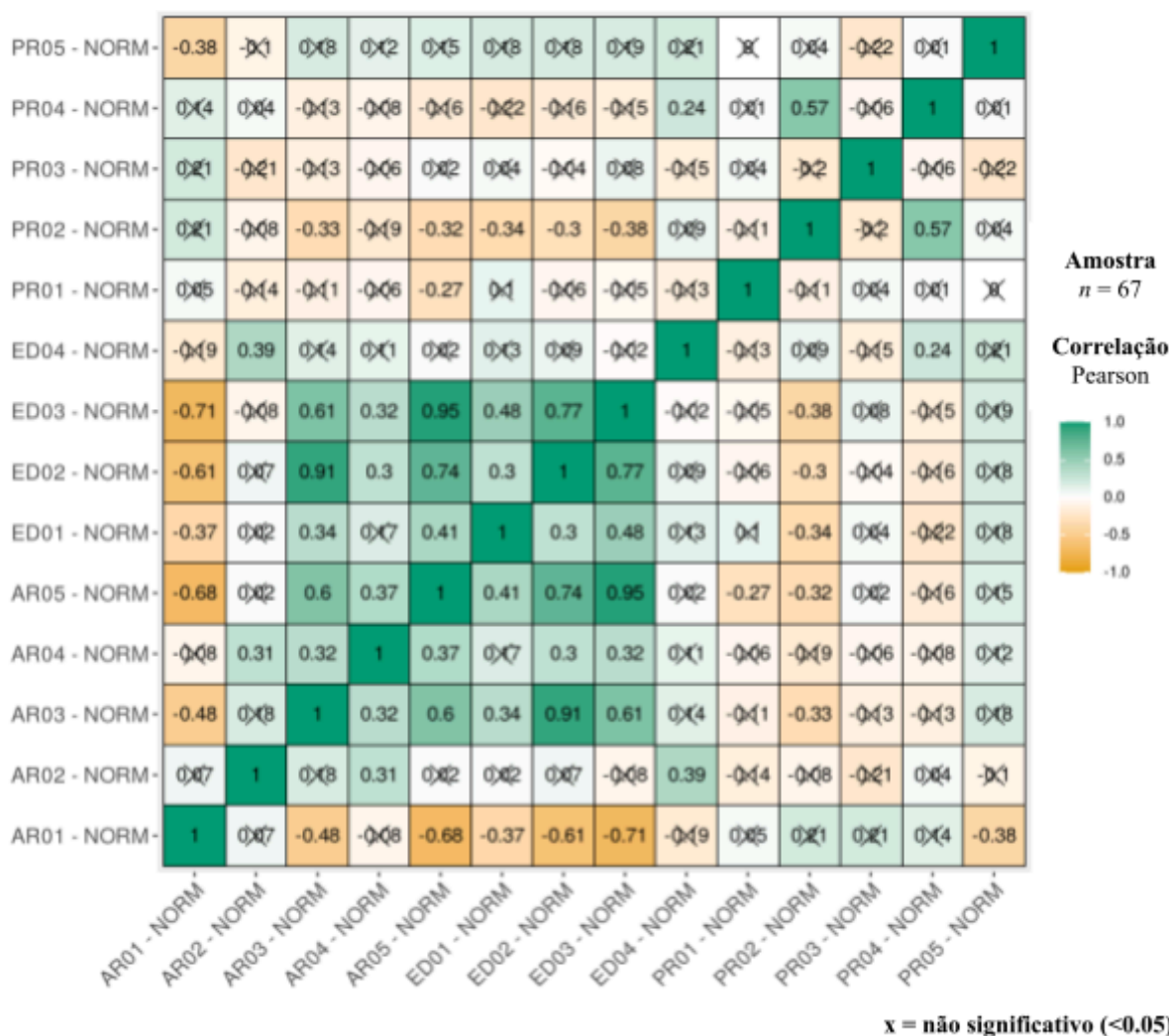
Após a obtenção dos indicadores, os valores dos componentes foram gerados por meio do software *Jamovi* e posteriormente exportados formatados em ".csv". Em seguida, o arquivo ".csv" foi importado para o QGIS, onde ocorreu a união com a camada de malha dos setores censitários (".shp") usando uma mesma coluna de identificação dos setores (nas tabelas "Cod_setor" no shape "GEOCODI"). Essa integração entre os dados tabulados e a camada espacial permitiu análises georreferenciadas mais abrangentes e detalhadas, enriquecendo a compreensão dos padrões e relações presentes na base de dados.

REMOÇÃO DOS INDICADORES SIGNIFICATIVAMENTE IRRELEVANTES

Para assegurar a confiabilidade da ACP, é imprescindível que o banco de dados da amostra seja depurado de indicadores irrelevantes ou com correlação insignificante, conforme

detalhado¹ na matriz de correlação. A inclusão desses indicadores pode distorcer a análise e dificultar a identificação de padrões relevantes. Com o intuito de eliminar tais indicadores, uma matriz de correlação completa dos conjuntos de dados foi computada utilizando o *software Jamovi*, versão 2.5.3 (CALDWELL, 2022). Mediante a análise desta matriz, identificaram-se e removeram-se os indicadores que exibiam coeficientes de correlação inferiores a 0,3. Essa abordagem criteriosa assegura que a ACP seja conduzida com um conjunto de dados coeso e isento de informações redundantes ou irrelevantes (Figura 2).

Figura 2 - Matriz de correlação dos 14 indicadores selecionados para pesquisa.



Legenda: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

¹Como prática comum, o coeficiente de correlação entre -0,3 e 0,3 é considerado insignificante. Quando uma variável não possui correlação significativa com outras variáveis, ou o número de variáveis correlacionadas significativamente é insignificante em relação ao número total de variáveis no conjunto de dados, ela é considerada inadequada para análise fatorial exploratória ou ACP.

ANÁLISE DA CORRELAÇÃO INTRA-DIMENSIONAL

Para assegurar a robustez e a coesão interna das dimensões representadas pelos indicadores, foi realizada uma análise de correlação intra-dimensional entre os indicadores avaliados. Essa etapa crucial se baseou no coeficiente de correlação r de Pearson, calculado para cada dimensão, representado por um mapa de calor. A visualização gráfica (Figura 3) dos resultados através do mapa de calor permitiu identificar padrões de correlação entre indicadores em cada dimensão, reforçando a validade das análises e a coerência metodológica da pesquisa.

Figura 3 - Matriz de correlação intra-dimensional.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

TESTE DE ADEQUAÇÃO

Antes da aplicação da ACP, é crucial a verificação do conjunto de dados da amostra quanto à adequação técnica. Diversas estatísticas podem ser utilizadas para essa avaliação, como a medida Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de esfericidade de Bartlett (BEACH; SPOKANE, 1989). O KMO, que varia entre 0 e 1, indica a adequação da amostragem. Valores acima de 0,50 são considerados adequados para ACP (LEDESMA; VALERO-MORA, 2007).

O teste de Bartlett verifica se a matriz de correlação é uma matriz identidade, o que significaria que as variáveis não estão relacionadas e, portanto, não adequadas para a detecção de estrutura. Neste teste, a estatística qui-quadrado e o grau de liberdade dos conjuntos de dados amostrais devem apresentar um nível de significância inferior a 0,05 para serem considerados adequados (JOLLIFFE; CADIMA, 2016). No presente estudo, tanto o teste KMO quanto o teste de Bartlett foram calculados através dos testes fatoriais disponíveis no *software Jamovi*. A análise desses testes permitiu determinar se o conjunto de dados da amostra é adequado para a aplicação da ACP, garantindo a confiabilidade dos resultados obtidos.

ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

Um índice composto foi criado para a cidade de Três Pontas, utilizando as variáveis principais do Censo Demográfico de 2010 do Brasil. Foram consideradas 71 variáveis compiladas e/ou calculadas em 14 indicadores, com base em uma amostra de 88 setores censitários. Esse índice está associado às condições socioeconômicas da região, sendo o menor nível de análise o setor censitário. Após a normalização do banco de dados e a realização dos testes estatísticos, a ACP foi aplicada aos conjuntos de dados. Essa etapa foi conduzida através do *software Jamovi*, que permitiu a geração dos escores de cada componente principal. Os escores gerados na ACP foram então integrados ao QGIS por meio da ferramenta "União", utilizando a mesma metodologia descrita anteriormente. Essa integração permitiu a visualização espacial dos resultados da ACP, facilitando a análise e interpretação dos padrões espaciais identificados.

MAXIMIZANDO A VARIÂNCIA E SIMPLIFICANDO A INTERPRETAÇÃO

Após determinar o número ideal de ACPs, a rotação *Varimax* foi empregada para otimizar a distribuição das variâncias e facilitar a interpretação dos resultados. Essa técnica empregada em estudos baseados em ACP, visa maximizar as variâncias explicadas pelos PCs com autovalores menores, aproximando-os de um cenário mais estável e interpretável (KAISER, 1958). No presente estudo, a rotação *Varimax* foi realizada no *Jamovi*. Essa ferramenta permitiu a obtenção dos maiores valores absolutos das cargas rotacionadas *Varimax*, que foram utilizados como pesos de variáveis e também como base para o agrupamento das variáveis nos PCs retidos.

TESTE DE CONSISTÊNCIA INTERNA DOS CPS

Com o intuito de garantir a confiabilidade das medidas e a robustez dos resultados, uma análise minuciosa da consistência interna dos CPs foi conduzida. Para este propósito, foram utilizados tanto o coeficiente alfa de Cronbach, uma estatística amplamente reconhecida para avaliar a confiabilidade de escalas com múltiplos itens, quanto o coeficiente ômega de McDonald (CRONBACH, 1951; MCDONALD, 1999).

O alfa de Cronbach varia entre 0 e 1, e valores mais próximos de 1 indicam uma maior consistência interna e confiabilidade dos itens. Neste estudo, um valor de alfa de Cronbach superior a 0,65 foi considerado aceitável para a inclusão dos indicadores nos grupos de CP. Adicionalmente, o teste W de McDonald foi empregado para identificar possíveis subgrupos de itens com baixa consistência interna (abaixo de 0,70), complementando assim a análise. Esta medida adicional permitiu a detecção e remoção de itens que, devido à sua baixa correlação com os demais, poderiam distorcer os resultados da análise.

IDENTIFICAÇÃO DE CLUSTERS DE VULNERABILIDADE POR SETOR

Após a agregação dos indicadores em CPs, a etapa final envolveu a identificação de clusters de vulnerabilidade setoriais. Para tanto, foi empregado o método de Classificação por Jenks (quebra natural), uma técnica de análise de cluster (AC) comumente utilizada no QGIS e adequada para classificar mapas temáticos com alta variância (JENKS, 1967; QGIS, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A abordagem analítica focal para o presente estudo é a ACP. No entanto, algumas estatísticas de teste foram realizadas nos conjuntos de dados de amostra para garantir antecipadamente a adequação do ACP. Examinando a matriz de correlação dos 14 indicadores de dados inicialmente selecionados, 4 indicadores foram eliminados devido a correlações insignificantes e 2 foram removidos por correlação negativa com os componentes.

Oito indicadores adicionados foram submetidos à avaliação da adequação e esfericidade da amostragem para aplicação da ACP (Tabela 1). A adequação da amostra foi verificada através do índice KMO, que apresentou um valor de 0,739 para o conjunto de dados como um todo. A análise individual dos indicadores também revelou valores de KMO superiores a 0,5 para todos os itens, confirmando a adequação dos dados da amostra para a ACP. O teste de esfericidade de Bartlett, por sua vez, resultou em um valor p inferior a 0,001, reforçando a viabilidade da aplicação da ACP neste conjunto de dados.

Tabela 1 - Medida de Adequação de Amostragem de KMO.

Indicadores	KMO
Global	0.739
ED02 - Pessoas alfabetizadas de 60 aos 80 anos de idade.	0.706
ED03 - Responsáveis e familiares alfabetizados.	0.752
AR03 - População acima de 76 anos.	0.707
AR05 - Mulheres responsáveis.	0.761
AR04 - Superlotação domiciliar.	0.877
PR05 - Moradores em condições precárias.	0.708
PR01 - Sem cobertura da coleta de resíduos sólidos.	0.674
PR02 - Sem acesso à rede elétrica.	0.614

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A presente análise corrobora os resultados de estudos anteriores que também empregaram a ACP em contextos semelhantes. No trabalho de Barrozo *et al.* (2020),

desenvolvido no Brasil, o índice KMO obtido para o GeoSES (um índice socioeconômico baseado em dados do Censo Demográfico de 2010) foi de 0,85, demonstrando a adequação dos dados para a análise fatorial utilizada na construção do índice. O GeoSES incorpora sete dimensões socioeconômicas: educação, mobilidade, pobreza, riqueza, renda, segregação e privação de recursos e serviços. Bucherie (2022), ao construir um índice de vulnerabilidade climática, obteve um valor de KMO de 0,74 para a ACP. Wang (2021), ao desenvolver o Índice de Deprivação de Área do Condado (CADI), alcançou um valor de KMO de 0,85.

Os resultados da análise da adequação e esfericidade dos dados, tanto no presente estudo quanto nos trabalhos mencionados, fornecem fortes indícios de que a ACP é uma ferramenta adequada para a análise dos conjuntos de dados em questão. Os valores de KMO superiores a 0,5 e a significância estatística do teste de Bartlett indicam que os dados possuem a correlação e a dispersão adequadas para a aplicação da ACP, permitindo a extração de componentes principais relevantes e a redução da dimensionalidade dos dados sem perda significativa de informação.

A Tabela 2 apresenta os resultados do teste de consistência interna dos setores dos sub-índices de Desenvolvimento Social e Privação de Recursos e Serviços, utilizando o alfa de Cronbach (α) e o ômega de McDonald (ω), comumente usados para avaliar a confiabilidade de escalas psicométricas e indicar o grau de inter-relação entre os itens de um teste ou sub-índice.

Tabela 2 - Teste de consistência interna dos setores dos sub-índices através do alfa de Cronbach e o ômega de McDonald.

CPs	Média	DP	α de Cronbach	ω de McDonald
Desenvolvimento Social	0.394	0.0754	0.680	0.871
Privação de Recursos e Serviços	0.613	0.117	0.713	0.864

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para o sub-índice de Desenvolvimento Social, a média é 0.394 com um desvio padrão de 0.0754, mostrando uma certa variabilidade nos dados. O alfa de Cronbach é 0.680, abaixo do valor de corte geralmente aceito de 0.70 para indicar boa consistência interna. No entanto, o ômega de McDonald é 0.871, bem acima do valor de corte de 0.70, sugerindo uma alta consistência interna.

Para o sub-índice de Privação de Recursos e Serviços, a média é 0.613 com um desvio padrão de 0.117, indicando uma maior variabilidade nos dados comparado ao Desenvolvimento Social. O alfa de Cronbach é 0.713, ligeiramente acima do valor de corte de 0.70, indicando uma consistência interna aceitável. O ômega de McDonald é 0.864, novamente mostrando uma alta consistência interna.

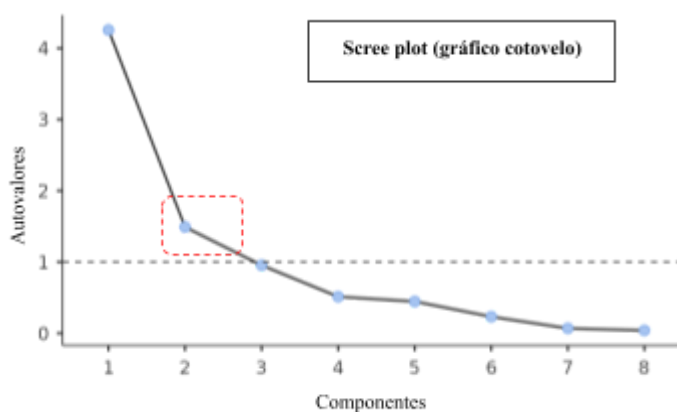
Os resultados indicam que, embora o alfa de Cronbach sugira uma consistência interna moderada para o Desenvolvimento Social, o ômega de McDonald revela uma alta consistência interna para ambos os sub-índices. Isso sugere que os sub-índices são confiáveis e que os itens dentro de cada sub-índice estão bem correlacionados, especialmente quando se considera a estrutura latente dos dados. Esses achados reforçam a validade das medidas utilizadas na pesquisa e a robustez dos sub-índices em capturar as dimensões relevantes de Desenvolvimento Social e Privação de Recursos e Serviços.

RETENÇÃO DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Para reduzir o número total de variáveis em um número menor e para reter informações úteis relevantes do conjunto de dados, realizou-se a ACP. Assim, os CPs podem ser retidos usando a regra prática estabelecida por Kaiser (1960), que utiliza "valores próprios (autovalores) maiores que 1" como critério. Como a análise do presente estudo foi projetada e realizada sobre conjuntos de dados normalizados, os autovalores gerados por meio da ACP também são normalizados, portanto, o critério de Kaiser não pode ser seguido diretamente para reter componentes.

No entanto, Cattell (1966) estabeleceu que uma quebra significativa no gráfico de scree plot (gráfico de cotovelo) gerado com autovalores indicam o número de CPs a serem retidos, que é outro critério comumente usado em estudos baseados em ACP. Neste estudo, 2 componentes principais foram retidos como mostrado na Figura 3 seguindo o critério de Cattell (formação de um cotovelo, demarcando a redução da variância entre os indicadores).

Figura 4 - Ilustração dos autovalores para todos os CPs.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A análise dos PCs retidos revelou um índice de variância geral explicada de 71,80%, com o PC1 contribuindo com 42,90% e o PC2 com 28,90% da variância total (Tabela 2). Estes resultados demonstram forte aderência à literatura existente sobre o tema. Estudos semelhantes realizados por Azram (2022) e Bucherie (2022) obtiveram valores de variância explicada de 73,52% e 71,50%, respectivamente, ao analisar índices de vulnerabilidade a mudanças climáticas e populações urbanas com elevada concentração de recursos.

Vale ressaltar que a recomendação da literatura para a retenção de componentes indica que estes devem explicar pelo menos 70% a 80% da variância total (RENCHEER; CHRISTENSEN, 2012). Os resultados do presente estudo se alinham a essa recomendação, reforçando a robustez da análise e a confiabilidade dos resultados obtidos.

IDENTIFICAÇÃO DAS DIMENSÕES E OS PESOS VARIÁVEIS

Considerando as maiores cargas dos componentes rotacionados *varimax* derivadas dos autovalores de cada PC, foram mantidos 2 perfis de vulnerabilidade, ou sub-índices, bem como pesos imparciais para cada indicador (Tabela 3). No entanto, a partir dessa descoberta, pode-se afirmar que existem 2 sub-índices capazes de dimensionar a vulnerabilidade socioeconômica e desenvolvimento socioeconômico em Três Pontas.

Tabela 3 - Variância explicada dos 2 primeiros PCs, retidos pelo critério de Catell, juntamente com seus autovalores.

Indicadores	PC1	PC2	Singularidade
ED02 - Pessoas alfabetizadas de 60 aos 80 anos de idade	0.934	-	0.127
AR03 - População acima de 76 anos.	0.895	-	0.191
ED03 - Responsáveis e familiares alfabetizados.	0.849	0.372	0.141
AR05 - Mulheres responsáveis.	0.831	0.371	0.171
AR04 - Superlotação domiciliar.	0.430	0.703	0.320
PR05 - Moradores em condições precárias.	-	0.875	0.152
PR01 - Sem cobertura da coleta de resíduos sólidos.	-	0.874	0.234
Autovalores	4.256	1.490	-
Variância explicada (%)	42,9%	28,9%	-
Total variância			71,80%

Legenda: O método de rotação aplicado é *Varimax*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

CLUSTERIZAÇÃO

A Análise de Cluster (AC) se destaca como uma ferramenta valiosa em diversas pesquisas, permitindo a revelação de padrões de vulnerabilidade e a identificação de combinações típicas entre as unidades de análise com base em seus atributos (BOURONCLE *et al.*, 2017). Neste estudo, a classificação da vulnerabilidade intraurbana foi elaborada através do método de quebra natural de Jenks. O Sistema *Jenks Natural Breaks Classification* se caracteriza como um método de classificação de dados projetado para otimizar a organização de um conjunto de valores em classes naturais.

Uma classe natural é definida como o intervalo de classes ideal encontrado naturalmente em um conjunto de dados. Um intervalo de classes é composto por itens com características semelhantes que formam um grupo natural dentro do conjunto de dados. O método de Jenks busca minimizar o desvio médio dentro das classes, enquanto maximiza o desvio das médias entre os outros grupos. Essa abordagem resulta na redução da variância dentro das classes e na maximização da variância entre elas (JENKS, 1967).

DESENVOLVIMENTO SOCIAL (PC1)

Este componente principal representa uma dimensão crucial do desenvolvimento social intraurbano de Três Pontas. É caracterizado por uma carga fatorial significativa em

indicadores como a proporção de pessoas alfabetizadas entre 60 e 80 anos, a presença de uma população com 76 anos ou mais, a alfabetização de responsáveis e familiares, e a proporção de mulheres responsáveis pelos domicílios. Essa configuração sugere uma forte ênfase na importância do capital humano e na estabilidade familiar como pilares do desenvolvimento. A predominância de grupos demográficos mais idosos e a presença de responsáveis e familiares com níveis de alfabetização indicam uma população mais envelhecida e com menor nível educacional, o que, por sua vez, pode influenciar negativamente os níveis de renda e contribuir para uma maior vulnerabilidade socioeconômica.

A Tabela 4 apresenta a distribuição do desenvolvimento social em três classes (baixo, médio e alto) com base nos valores do primeiro componente principal (PC1). No contexto, três clusters foram identificados usando a quebra natural de Jenks. Observa-se que o cluster altamente vulnerável apresentou a maior magnitude em PC1, com pontuações abaixo de 0. Comparando com os dados da Tabela 3.4, o cluster altamente vulnerável corresponde principalmente às categorias de baixo desenvolvimento social, uma vez que suas pontuações de PC1 são inferiores a 0.

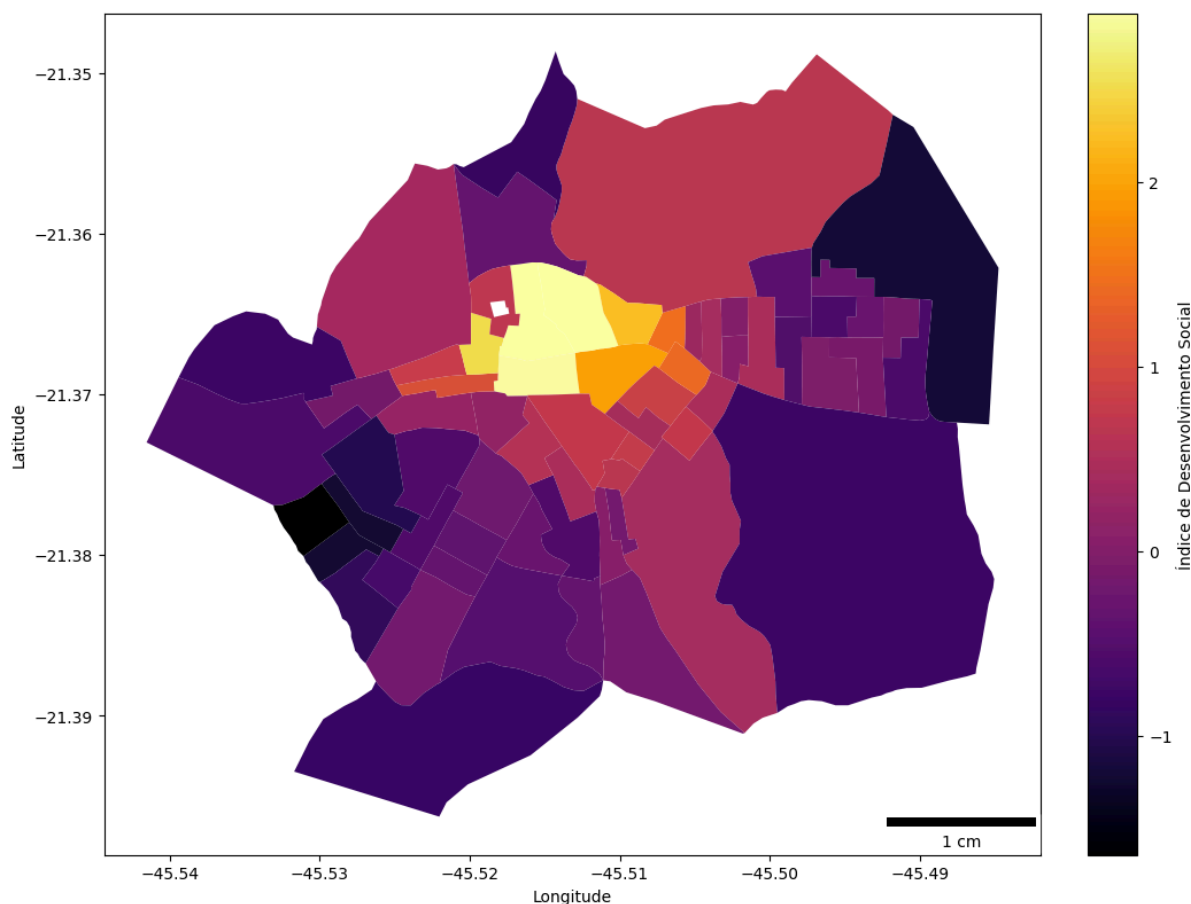
Tabela 4 - Distribuição populacional por classe social a partir do Índice de Desenvolvimento Social Intraurbano (PC1).

Classes	População	População (%)
Baixo (-1,6 - 0,0)	33942	63,21
Médio (0,0 - 1,5)	16087	29,96
Alto (1,5 - 2,90)	3671	6,84
Total	53.700	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A análise global abrange uma população total de 53.700 indivíduos, distribuídos em 16.043 domicílios e 88 setores censitários. Esses resultados destacam a disparidade na distribuição de desenvolvimento social, sublinhando a necessidade de intervenções diferenciadas para atender às demandas específicas de cada grupo social, particularmente aqueles em situações de maior vulnerabilidade (ver distribuição geográfica Figura 5).

Figura 5 - Distribuição espacial dos setores censitários baseado no Índice de Desenvolvimento Social Intraurbano.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A análise da distribuição populacional segundo o Índice de Desenvolvimento Social Intraurbano (PC1) revelou uma concentração significativa de indivíduos na classe de baixo desenvolvimento social (PC1: -1,6 a 0). Esta categoria abrange 33.942 indivíduos, representando 63,21% da população total estudada. Além disso, 9.737 domicílios encontram-se nesta classe, correspondendo a 60,69% dos domicílios totais. A distribuição geográfica desses domicílios revela que 55 setores censitários, ou 62,50% do total, estão classificados como de baixo desenvolvimento social. Esses dados indicam uma predominância significativa de baixos índices de desenvolvimento social, sugerindo a necessidade de políticas públicas direcionadas a essa parcela majoritária da população para promover melhorias em suas condições de vida.

A classe de desenvolvimento social médio (PC1: 0 a 1,5) inclui 16.087 indivíduos, o que representa 29,96% da população total. Nesta categoria, há 5.002 domicílios, correspondendo a 31,18% dos domicílios totais, distribuídos por 26 setores censitários,

equivalentes a 29,55% do total. Em contraste as anteriores, a classe de alto desenvolvimento social (PC1: 1,5 a 2,9), por sua vez, representa a menor parcela da população e dos domicílios, com apenas 3.671 indivíduos (6,84% da população total) e 1.304 domicílios (8,13% do total). Apenas 7 setores censitários, ou 7,95% do total, estão incluídos na classe de alto desenvolvimento social.

A população idosa alfabetizada desempenha um papel crucial na indicação de um bom desenvolvimento social. A alfabetização entre idosos é um preditor significativo de bem-estar (ROMAN, 2004). Indicadores sociais como a expectativa de vida alfabetizada (LLE) servem como medidas abrangentes de desenvolvimento social, destacando a importância da alfabetização na determinação da expectativa de vida e do bem-estar geral (RAHAMAN KHAN; ASADUZZAMAN, 2021). A alfabetização em saúde, particularmente entre os idosos, afeta significativamente a qualidade de vida e a resiliência, enfatizando a necessidade de investimentos em organizações promotoras da alfabetização para melhorar o bem-estar (ALMEIDA; VEIGA, 2020). Além disso, a alfabetização em saúde está intimamente ligada às habilidades de autocuidado, influenciando os resultados de saúde e o manejo de condições crônicas em indivíduos idosos (TOLSON, 2008). Portanto, a presença de uma população idosa alfabetizada não só significa bem-estar individual, mas também contribui para indicadores mais amplos de desenvolvimento social.

A presença de uma população envelhecida afeta significativamente o crescimento econômico e o desenvolvimento. Estudos mostram que o envelhecimento inibe o consumo dos residentes, reduz os benefícios econômicos da força de trabalho, impedindo o crescimento econômico (WEI, 2023). Pesquisas empíricas revelam que o envelhecimento da população na China tem um efeito negativo duradouro sobre a força de trabalho, o PIB e a taxa de poupança, necessitando de medidas para neutralizar esses impactos (CHEN; LIU, 2023). O envelhecimento da população na China inibe o consumo doméstico, promove a poupança nacional e dificulta o desenvolvimento econômico sustentável, especialmente no contexto de lento crescimento populacional e contrações econômicas globais (ZHANG; MA; DU, 2023). Nos EUA, o envelhecimento da população desacelerou o crescimento econômico ao diminuir o PIB per capita, principalmente por meio de um crescimento mais lento do emprego e da produtividade do trabalho (MAESTAS; MULLEN; POWELL, 2023). Apesar dos desafios, o envelhecimento da população também pode impulsionar o crescimento da economia de idosos e das indústrias de serviços relacionados, provocando mudanças para setores de alta tecnologia e aumento do emprego de talentos de alta qualidade (CHEN; XIONG, 2023).

Fatores socioeconômicos influenciam significativamente a alfabetização familiar e o

envolvimento dos tutores na promoção da alfabetização. Pesquisas indicam que o status socioeconômico da família se correlaciona com a qualidade dos livros e recursos de aprendizagem disponíveis para as crianças, impactando seu desenvolvimento inicial de alfabetização (LAPE *et al.*, 2023). No mais, os níveis de educação dos pais desempenham um papel crucial nas habilidades de aprendizagem das crianças, com o ensino superior das mães contribuindo positivamente para os resultados da alfabetização (BOJA; ACHIM, 2022).

O risco socioeconômico familiar afeta indiretamente as habilidades sociais das crianças por meio do engajamento cognitivo dos pais, destacando a importância da orientação dos pais no desenvolvimento da alfabetização (HAQUE *et al.*, 2023). Abordando esses fatores, as intervenções devem se concentrar em melhorar o acesso a recursos educacionais, envolver os pais em programas de alfabetização e promover práticas de alfabetização precoce para mitigar o impacto das disparidades socioeconômicas na alfabetização familiar e no envolvimento dos responsáveis na promoção das habilidades de alfabetização.

PRIVAÇÃO DE RECURSOS E SERVIÇOS (PC2)

A análise dos dados relacionados à privação de recursos e serviços básicos, representada pelo segundo componente principal (PC2), revela importantes disparidades na distribuição da população, dos domicílios e dos setores censitários em Três Pontas. Estes dados foram organizados em três classes: baixo, médio e alto desenvolvimento (Tabela 5). A classe de baixo desenvolvimento (PC2: -0,38 a 0,15) abrange 11.543 indivíduos, representando 21,50% da população total. Nesta classe, encontram-se 3.548 domicílios, correspondendo a 22,12% do total. Em termos de setores censitários, 29 setores, ou 32,95% dos setores analisados, estão incluídos nesta categoria. Estes números refletem uma parte considerável da população vivendo em condições de maior privação de recursos e serviços básicos, sublinhando a necessidade de intervenções urgentes para melhorar a qualidade de vida e o acesso a serviços essenciais.

Tabela 5 - Distribuição populacional por classe social a partir do Índice Privação de Recursos e Serviços Intraurbano (PC2).

Classes	População	População (%)
Baixo (-0,38 - 0,15)	11543	21,50
Médio (0,15 - 0,63)	10945	20,38
Alto (0,63 - 1,17)	31212	58,12
Total	53.700	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A classe de médio desenvolvimento (PC2: 0,15 a 0,63) inclui 10.945 indivíduos, o que equivale a 20,38% da população total. Esta classe contém 3.174 domicílios, representando 19,78% do total. São 16 setores censitários, ou 18,18% dos setores analisados, que compõem esta categoria. A população nesta classe enfrenta desafios consideráveis em termos de acesso a recursos e serviços básicos, embora não esteja na faixa de maior privação. A classe de alto desenvolvimento (PC2: 0,63 a 1,17) concentra a maioria da população, com 31.212 indivíduos, representando 58,12% do total. Esta classe também inclui 9.321 domicílios, correspondendo a 58,10% do total. Em termos de setores censitários, 43 setores, ou 48,86% dos setores analisados, estão nesta categoria. A predominância desta classe indica uma distribuição mais favorável de recursos e serviços básicos, embora a concentração em setores específicos possa sugerir disparidades espaciais que influenciam a equidade no acesso a esses recursos.

É importante ser ressaltado que os índices PC1 e PC2 possuem suas interpretações de maneira opostas, ou seja, enquanto em PC1 (Desenvolvimento Social) os valores classificados como - Baixo - possuem uma característica intrínseca de condições precárias de vida, no índice PC2 (Pruvação de Recurso) os valores classificados como - Alto - representam as pessoas que têm baixa prruvação de recursos, ou seja, são pessoas com melhores condições de vida, desta forma as pessoas que se encontram nos dois grupos simultaneamente são as pessoas que estão em extrema vulnerabilidade, este assunto será melhor discutido, a seguir, no item 3.6 deste trabalho.

A densidade habitacional e as condições de moradia são frequentemente utilizadas como indicadores de prruvação material e qualidade de vida. Estudos mostram que áreas com alta densidade habitacional e condições precárias de moradia enfrentam desafios significativos em termos de saúde pública e bem-estar social. Por exemplo, uma pesquisa sobre urbanização e saúde pública revelou que a alta densidade habitacional está correlacionada com a disseminação de doenças infecciosas e problemas de saúde mental (SATTERTHWAITE, 2020). Além disso, a precariedade das condições de moradia, incluindo a falta de infraestrutura básica, contribui para a vulnerabilidade social e econômica das populações (KRAUSE; DENALDI, 2022).

As condições precárias de moradia têm sido associadas a uma série de problemas sociais e de saúde. A falta de acesso a serviços essenciais, como água potável e saneamento, agrava a vulnerabilidade das populações residentes em áreas de moradia inadequada. Achados indicam que a melhoria das condições de moradia é crucial para a promoção da saúde pública

e a redução das desigualdades sociais (WHO, 2018). A habitação inadequada é um fator determinante de saúde, afetando tanto a saúde física quanto a mental dos residentes (PASTERNAK, 2016).

A falta de acesso à coleta regular de resíduos sólidos é um indicador crítico de privação ambiental e socioeconômica. A gestão inadequada de resíduos sólidos urbanos é uma preocupação global, afetando principalmente comunidades vulneráveis. A ausência de serviços regulares de coleta de lixo contribui para a degradação ambiental e representa riscos à saúde pública, como a proliferação de vetores de doenças (POLAT, 2022). Pesquisas destacam a importância de políticas eficazes de gestão de resíduos para melhorar a qualidade de vida em áreas urbanas marginalizadas (SINGH, 2019; ABDALLAH *et al.*, 2020).

Os dados revelam disparidades significativas na distribuição de recursos e serviços básicos em Três Pontas, indicando a necessidade de políticas públicas focadas na redução dessas desigualdades (ver a distribuição geográfica Figura 6). Investimentos em infraestrutura básica, como saneamento, coleta de resíduos e melhorias habitacionais, são essenciais para melhorar as condições de vida nas áreas classificadas como de baixo e médio desenvolvimento. Garantir o acesso equitativo a serviços de saúde, educação e outros serviços sociais básicos é igualmente crucial.

Figura 6 - Distribuição espacial dos setores censitários baseado no Índice de Privação de Recursos e Serviços Intraurbano.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Por fim, programas de desenvolvimento comunitário que promovam a participação e o empoderamento dos moradores podem contribuir para a sustentabilidade e resiliência das comunidades. A abordagem integrada e multifacetada é fundamental para o enfrentamento das privações e promover o desenvolvimento social equitativo em Três Pontas. Estes esforços combinados podem ajudar a mitigar as disparidades socioeconômicas e ambientais, garantindo que todos os membros da comunidade tenham acesso aos recursos e serviços necessários para um melhor bem-estar.

ÁREAS VULNERÁVEIS EM TRÊS PONTAS

A análise dos dados sobre áreas vulneráveis em Três Pontas, com base nos indicadores do segundo componente principal (PC2) e do primeiro componente principal (PC1), revela importantes *insights* sobre a distribuição da população e dos domicílios em termos de

privação de recursos e serviços básicos, bem como desenvolvimento social (Tabela 6).

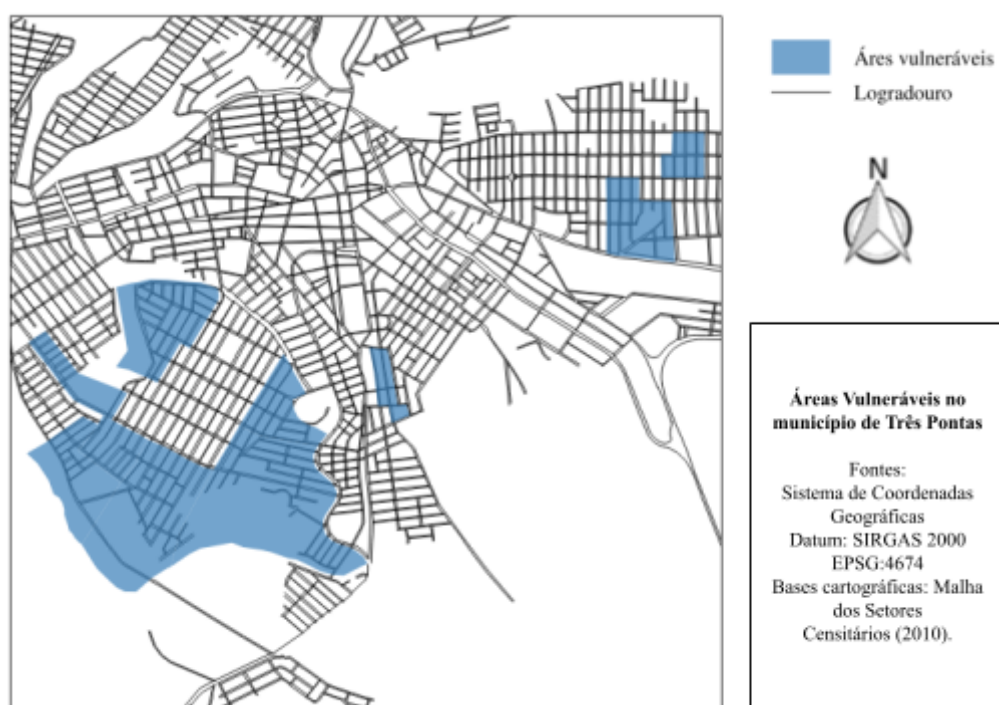
Tabela 6 - Distribuição populacional e domiciliar das áreas vulneráveis de Três Pontas.

Áreas vulneráveis		População	População (%)	Domicílios	Domicílios (%)
PC2	Alto (1,5 - 2,9)	7145	13.31	2016	12.57
PC1	Baixo (-0,38 - 0,15)				

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A sobreposição entre áreas de alta privação de recursos, indicada pelo segundo componente principal (PC2), e áreas de baixo desenvolvimento econômico, identificadas pelo primeiro componente principal (PC1), revela a existência de áreas vulneráveis em Três Pontas. As regiões caracterizadas por baixo desenvolvimento social (PC1: -0,38 a 0,15) enfrentam desafios socioeconômicos consideráveis, refletidos em indicadores desfavoráveis de educação, renda e coesão familiar, conforme evidenciado pelos dados fornecidos na tabela. Essas áreas abrigam uma população significativa em situação de vulnerabilidade socioeconômica (ver Figura 7), destacando a necessidade de intervenções específicas para abordar suas necessidades e promover o desenvolvimento sustentável.

Figura 7 - Distribuição espacial dos setores com maior vulnerabilidade social.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os dados apresentados na tabela ressaltam que as áreas com alta privação de recursos (PC2: 1,5 a 2,9) abrigam uma parcela considerável da população de Três Pontas. Com 7.145 indivíduos, representando 13,31% da população total, e 2.016 domicílios, correspondendo a 12,57% do total de domicílios na cidade, essas áreas enfrentam uma carência significativa em infraestrutura básica e acesso a serviços essenciais. A sobreposição dessas áreas com as regiões de baixo desenvolvimento social reforça a existência de áreas vulneráveis em Três Pontas, enfatizando a necessidade urgente de políticas públicas abrangentes para melhorar as condições de vida nessas comunidades.

CONCLUSÃO

A análise da vulnerabilidade em Três Pontas revela uma convergência preocupante de fatores socioeconômicos desfavoráveis. As áreas com alta privação de recursos e serviços básicos, que abrigam 13,31% da população e 12,57% dos domicílios, se sobrepõem significativamente às áreas de baixo desenvolvimento social. Essa sobreposição agrava a vulnerabilidade socioeconômica de 7.145 indivíduos, expondo-os a uma conjunção de desafios como baixos níveis de alfabetização, especialmente entre idosos, maior prevalência de domicílios chefiados por mulheres e acesso precário a serviços básicos, como saneamento e coleta de resíduos. A persistência dessas áreas vulneráveis evidencia a necessidade urgente de políticas públicas direcionadas, com foco na redução das desigualdades socioeconômicas e na promoção do desenvolvimento humano. Investir em educação, infraestrutura, geração de renda e acesso a serviços essenciais, como saúde e saneamento básico, é crucial para romper o ciclo de pobreza e promover a inclusão social nessas áreas. A análise dos índices de vulnerabilidade socioeconômica em Três Pontas revela não apenas um cenário crítico para este município, mas também aponta para uma problemática que pode ser extrapolada para outras localidades com características similares. A convergência de fatores desfavoráveis observada pode servir como um modelo analítico para outras regiões do país que enfrentam desafios socioeconômicos análogos. Portanto, a metodologia e os resultados deste estudo não se limitam ao contexto local, mas podem ser aplicados a nível nacional para identificar e abordar áreas de vulnerabilidade socioeconômica em diversos municípios brasileiros. Esta abordagem ampliada permite que o artigo contribua para uma compreensão mais abrangente dos desafios enfrentados por comunidades vulneráveis em todo o Brasil, fornecendo uma base sólida para a formulação de políticas públicas direcionadas à redução das desigualdades e à promoção do desenvolvimento humano em uma escala mais ampla.

4 ARTIGO 2 - RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU): UMA ANÁLISE SOCIOECONÔMICA DA GERAÇÃO E COMPOSIÇÃO

Resumo

Os resíduos sólidos urbanos têm um impacto significativo no gerenciamento público dos municípios brasileiros, gerando prejuízos à saúde coletiva e à qualidade ambiental. A caracterização desses resíduos e a identificação de suas frações por categoria são técnicas de coleta de dados essenciais para um gerenciamento adequado dos resíduos produzidos pela população local. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo analisar a composição dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Três Pontas, Minas Gerais, utilizando para isso um Índice de Desenvolvimento Social Intra Urbano, desenvolvido a partir de dados agregados por setor censitário fornecidos pelo censo demográfico de 2010. Foram realizados testes estatísticos de hipóteses com 5% de significância em avaliações comparativas (MANOVA e ANOVA), além de testes de regressão para as frações majoritárias e suas respectivas classes socioeconômicas. Os resultados mostraram que a fração de biodegradáveis corresponde a 54,48% dos resíduos, 10,08% são resíduos plásticos recicláveis, 3,06% são resíduos sanitários potencialmente contaminados, e 2,14% são rejeitos diversos não recicláveis. Observou-se que os resíduos gerados por famílias em áreas de alto desenvolvimento social apresentam maiores percentuais de materiais recicláveis, enquanto as famílias em áreas de baixo desenvolvimento socioeconômico tendem a gerar menores quantidades de resíduos. A alta incidência de resíduos biodegradáveis e materiais recicláveis evidencia um potencial a ser explorado, sugerindo a necessidade de reavaliar o modelo atual de coleta seletiva e a possibilidade de implementar uma usina de compostagem, baseada em um estudo de viabilidade técnica.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos; Caracterização Gravimétrica; Desenvolvimento Socioeconômico.

Abstract

Urban solid waste significantly impacts public management in Brazilian municipalities, leading to damage to public health and environmental quality. The characterization of this waste and the identification of its fractions by category are essential data collection techniques for the proper management of waste produced by the local population. In this context, this study aimed to analyze the composition of urban solid waste in the city of Três Pontas, Minas Gerais, using an Intra-Urban Social Development Index, developed from data aggregated by census tract provided by the 2010 demographic census. Hypothesis tests with a 5%

significance level were conducted in comparative evaluations (MANOVA and ANOVA), in addition to regression tests for the major fractions and their respective socioeconomic classes. The results showed that the biodegradable fraction accounts for 54.48% of the waste, 10.08% are recyclable plastic waste, 3.06% are potentially contaminated sanitary waste, and 2.14% are various non-recyclable waste. It was observed that waste generated by families in high social development areas presents higher percentages of recyclable materials, while families in low socioeconomic development areas tend to generate smaller amounts of waste. The high incidence of biodegradable and recyclable materials highlights a potential to be explored, suggesting the need to reassess the current selective collection model and the possibility of implementing a composting plant based on a technical feasibility study.

Keywords: Waste Management; Gravimetric Characterization; Socioeconomic Development.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos representam um desafio significativo em escala global, com uma produção mundial de resíduos sólidos atingindo aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas anuais em 2012 (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012). Quatro anos depois, em 2016, esse volume havia aumentado significativamente para 2,01 bilhões de toneladas, um crescimento 54% (KAZA *et al.*, 2018). De acordo com o relatório *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, os países de alta renda, que representam apenas 16% da população mundial, geram cerca de 34% (683 milhões de toneladas) do total de resíduos sólidos municipais do mundo.

A região da Ásia Oriental e Pacífico é responsável pela maior parte dos resíduos gerados no mundo, seguida pela Europa e Ásia Central, América Latina e Caribe, América do Norte, Sul da Ásia, Oriente Médio e Norte da África e África Subsaariana. No entanto, a quantidade de resíduos gerados por pessoa varia amplamente entre os países, com as taxas mais altas geralmente encontradas em países de alta renda e urbanizados (KAZA *et al.*, 2018).

Os resíduos sólidos urbanos constituem um dos diversos fluxos gerenciados pelas cidades, e sua distribuição revela que a maior parcela (54%) provém das residências, seguida pela contribuição do setor de comércio e serviços (17%), da indústria (7%), da construção e demolição (5%), da área da saúde (3%) e de outras fontes (14%). Em termos teóricos, a maioria dos bens de consumo produzidos é consumida localmente e comumente tratada como resíduos sólidos domésticos ou domiciliares (KAZA *et al.*, 2018).

A população brasileira, por exemplo, gera diariamente entre 1 a 1,49 kg por pessoa, superior à registrada nos países vizinhos, como Bolívia e Paraguai, que variam entre 0,50 a 0,99 kg por pessoa (KAZA *et al.*, 2018). Em 2021, a média brasileira alcançou 1,067 kg por habitante por dia (equivalente a 390 kg por habitante por ano), evidenciando um destaque para os resíduos de origem doméstica. Este aumento se relaciona às mudanças sociais impostas pela pandemia de COVID-19, com parte das atividades produtivas transferidas para o ambiente doméstico (ABRELPE, 2021). Além disso, a taxa brasileira supera em percentual significativo a produção desses resíduos em comparação com Bolívia e Paraguai.

Com dimensões continentais, o Brasil ostenta uma notável diversidade climática, cultural, territorial e econômica. Dessa maneira, abordagens uniformes para a gestão de resíduos sólidos deparam-se com os desafios impostos pelas distintas demandas regionais relacionadas à geração, tratamento e composição dos resíduos sólidos urbanos (KEBAILI *et al.*, 2022). Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos apresentado pela ABRELPE, a região Sudeste, composta por São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, corresponde a 49,7% (1,26 kg/capita/dia) do total, seguida pela região Nordeste com 24,7% (0,971 kg/capita/dia), Sul com 10,8% (0,805 kg/capita/dia), Centro-Oeste com 7,5% (1,02 kg/capita/dia) e Norte com 7,4% (0,898 kg/capita/dia), conforme dados de 2021.

Essas disparidades encontram-se intrinsecamente ligadas ao nível de desenvolvimento socioeconômico e à densidade demográfica. No âmbito do investimento, representado pelos recursos destinados aos serviços de coleta, transporte, destinação e limpeza, a região Sudeste realiza um investimento médio de R\$ 13,82 por habitante, enquanto o Nordeste contribui com R\$ 9,05 (ABRELPE, 2021). Tais discrepâncias se aprofundam em aspectos como destinação, cobertura do serviço de coleta e oportunidades de emprego no setor de resíduos, enfatizando a necessidade de estratégias específicas para cada região.

Embora os dados representem os contextos entre grandes regiões, essa heterogeneidade também é observada em nível municipal. O Estado de Minas Gerais, por exemplo, possui uma área territorial de 586.513,983 km² dividida em 854 municípios que se encontram em diferentes estágios de desenvolvimento urbano e econômico.

Conforme os dados do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, apenas 3,40% das cidades mineiras contam com mais de 100 mil habitantes, apenas 6,56% com 60 mil habitantes. Ou seja, 93,33% dos municípios possuem menos de 60 mil habitantes, variável que condiciona a capacidade de investimento, disponibilidade de recurso e a margem de arrecadação da gestão pública local. Referente aos serviços básicos, 286 cidades possuem uma cobertura inferior a 50% do serviço de esgotamento sanitário (IBGE, 2010), 364 não

apresentam sistemas de destinação adequada para os resíduos sólidos (SINIR, 2019), 86 ainda operam lixões (descarte ao ar livre) (SINIR, 2019) e 9,4% não possuem nenhum sistema de coleta seletiva (ABRELPE, 2021).

A cidade de Três Pontas está localizada na região Sul do Estado de Minas Gerais e enfrenta os desafios oriundos do crescimento urbano e do desenvolvimento econômico, fatores que influenciam diretamente na gestão dos resíduos. Somado a esse contexto, o município não possui um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), previsto na Lei Federal n.º 12.305 de agosto de 2010 (BRASIL, 2012), ou Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Em síntese, a PNRS estabelece princípios, instrumentos e diretrizes de gerenciamento integrado, atribuindo responsabilidades aos entes públicos e privados.

Na última década, a gestão municipal monitora a geração de resíduos através de mecanismos indiretos, sendo comum a amostragem (peso do caminhão) em períodos não padronizados. Além da ausência de sistematização, esse método fornece apenas a massa total, tornando inacessíveis informações quanto a origem residual (bairros e seus aspectos socioeconômicos), composição (tipos de resíduos, plásticos, papel, vidro, etc.) e volume não compactado (permite aferir a eficácia da compactação dos caminhões).

De acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), a análise gravimétrica deve seguir uma metodologia padronizada, que inclui a separação dos resíduos em diferentes categorias, como papel, plástico, vidro, metal, orgânicos, entre outros, e a pesagem de cada categoria. Além disso, a análise gravimétrica deve ser realizada em diferentes pontos de coleta, a fim de garantir a representatividade dos resultados. A amostragem representativa deve ser obtida através de uma estratificação socioeconômica simplificada (baseado em faixas de salário mínimo) (FEAM, 2019).

Neste sentido, a autocorrelação espacial pode ser útil para a determinação de populações representativas ao identificar padrões espaciais na distribuição das características demográficas, socioeconômicas ou comportamentais da população (ANSELIN; SRIDHARAN; GHOLSTON, 2006). Ao analisar a autocorrelação espacial, é possível identificar áreas com características semelhantes ou diferentes em termos de população, o que pode auxiliar na definição de populações representativas para determinados fins, como estudos de mercado, planejamento urbano, políticas públicas, entre outros.

Para objetivo dessa investigação, empregou-se um método de caracterização dos RSU no município de Três Pontas, Minas Gerais. A seleção da amostra foi obtida por meio de critérios para segregação (amostragem estratificada), baseados em dados socioeconômicos,

obtidos através do Censo Demográfico de 2010, fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012).

MATERIAIS E MÉTODOS

A investigação foi conduzida na cidade de Três Pontas (21°22'13" S 45°30'44" O), com população estimada de 57.127 mil habitantes, distribuídos em cerca de 16 mil domicílios (IBGE, 2010). A área urbana representa cerca de 1,54% (10,61 km²) da unidade territorial, densidade demográfica de 78,08 hab./km², contando com 85,93% população urbanizada (IBGE, 2022). O município conta com dois sistemas de gestão de RSU distintos: regular, coletado por um serviço porta-a-porta e embarcado diretamente para o aterro sem triagem prévia. Os serviços porta-a-porta coletam resíduos de mercados, estradas, serviços públicos, unidades industriais e comerciais, bem como residenciais. Os recicláveis são coletados pela Associação Trespontana de Catadores de Materiais Recicláveis (ATREMAR), organização da sociedade civil, atua na coleta seletiva municipal, financiada pela venda dos materiais recicláveis.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA METODOLOGIA SAKURAI

O método de Sakurai's é uma abordagem alternativa para determinação do número de amostras necessárias para caracterização de resíduos sólidos urbanos. Este método é baseado na teoria da amostragem probabilística e considera a variabilidade dos resíduos e o nível de precisão desejado (SAKURAI, 1986).

A equação (1) a seguir pode ser utilizada para estimar o número de amostras necessárias pelo método de Sakurai's:

$$n = \frac{s^2}{\left(\frac{e \cdot x}{1.96}\right)^2 + \frac{s^2}{N}} \quad (1)$$

Onde:

s é desvio padrão da taxa de geração (em kg/hab./dia);

e é o erro permitido para a estimativa da taxa (em %);

x é valor médio da taxa de geração (em kg/hab./dia);

N é o número total de domicílios.

O valor crítico da distribuição normal para um nível de confiança de 95% é representado por 1,96. A equação é usada para garantir que o tamanho da amostra seja adequado para produzir resultados confiáveis e representativos da população em estudo. No presente estudo, a equação foi transformada em código Python, utilizando como base os dados do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR+).

Para isso, utilizou-se o consumo médio *per capita* de resíduos sólidos para os anos de 2016 a 2019. A população em foco, composta por 16.043 habitantes, apresentou um valor médio de geração de resíduos de 0,84 kg por habitante por ano (SINIR, 2019). Além disso, o desvio padrão, que foi de 0,44, indica uma variação considerável em torno da média, refletindo diferenças significativas na produção de resíduos entre os habitantes ao longo dos anos analisados. O resultado obtido pela equação foi de 168, valor posteriormente utilizado para *n* amostral.

A coleta de dados foi conduzida e a análise da composição dos resíduos foi feita por categoria, com base em materiais recicláveis e não recicláveis, e os resultados foram comparados com outros estudos para avaliar a qualidade dos dados obtidos. O método de Sakurai é especialmente útil em países em desenvolvimento, onde a disponibilidade de dados é limitada e os recursos são escassos, pois é de fácil aplicação e requer apenas instrumentos e materiais básicos.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E PERCENTUAL

A definição das categorias para classificação dos resíduos foi elaborada considerando o contexto municipal, ou seja, quais resíduos são reciclados e os processos de tratamento, como sugere Villalba *et al.*, (2020). Essa estratégia reduz as categorias de resíduos não utilizados localmente, favorecendo o processo de caracterização e análise dos resultados. O plástico, por exemplo, são classificados em recicláveis ou não-recicláveis, o primeiro representando as sacolas de supermercado, garrafas de refrigerante e o segundo, folhas E.V.A, adesivos e outros. A lista com todas as categorias está disposta no Quadro 1.

Quadro 1 - Frações selecionadas para a caracterização dos resíduos domésticos.

(continua)

Frações	Siglas	Descrição
Resíduos Biodegradáveis	(RB)	Resíduos culinários, serragem, alimentos, jardinagem e outros.

Quadro 1 - Frações selecionadas para a caracterização dos resíduos domésticos.

(conclusão)

Frações	Siglas	Descrição
Resíduos Plásticos Recicláveis	(RPR)	Embalagens de refrigerante (PET), produtos de limpeza (PEAD), encanamentos hidráulicos plásticos (PVC), sacos plásticos (PEBD), brinquedos e cabides (PP), vasilhames culinários (PS) e disco compacto (outros).
Resíduos Plásticos Não-Recicláveis	(RPNR)	Embalagens plásticas de salgadinho, plásticos a vácuo (BOPP), cabos de panela, acetato, esponjas de limpeza (poliuretano), folhas EVA, placas acrílicas e bandejas de isopor.
Resíduos Recicláveis Diversos	(RRD)	Papel de escritório, cadernos, revistas brilhantes, papelão para embalagens, ondulado ou não.
Resíduos Recicláveis Metálicos Não-Ferrosos	(RRNF)	Latas de alumínio, papel alumínio para embalagem, recipientes para alimentos de alumínio, peças de cobre, objetos de bronze, entre outros.
Resíduos Recicláveis Metálicos Ferrosos	(RRMF)	Latas de alimentos e bebidas, sucatas de ferro, parafusos, pregos, estruturas metálicas, ferramentas de ferro, entre outros.
Resíduos de Vidro	(RV)	Garrafas de cerveja e potes de geleia; outros objetos de vidro.
Resíduos Eletrônicos e Baterias	(REB)	Aparelhos telefônicos, lâmpadas, cabos, carregadores de bateria, acumuladores/pilhas simples, recarregáveis ou não.
Resíduos de Serviços de Saúde	(RSS)	Seringas, ampolas de medicamento, agulhas, curativos, talas, máscaras e outros.
Resíduos Sanitários	(RS)	Fraldas, papel higiênico, animais mortos, excrementos de animais, areia para gatos, etc.
Resíduos Não-Recicláveis diversos	(RNRC)	Borracha, embalagens de creme dental, tecidos, calçados, porcelana, vasos de barro, palha de aço, entre outros.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O percentual de cada material é calculado através do peso específico, obtido pela pesagem individual dos tipos de resíduos analisados. Para determinar essa percentagem a FEAM recomenda aplicação da equação (2):

$$\text{percentual de cada fração (\%)} = \frac{\text{peso de cada fração (kg)}}{\text{peso total da amostra}} \times 100 \quad (2)$$

PLANEJAMENTO AMOSTRAL E COLETA DE DADOS

Foram realizadas três campanhas com duração de 28 dias totais, conduzidas nos meses de fevereiro, março, abril e outubro de 2022. As coletas ocorreram em pontos selecionados aleatoriamente para cada população, segundo os recortes geográficos dos grupos socioeconômicos. A amostra foi transportada em sacos plásticos de 100 litros (0,1 m³) preenchidos pelos resíduos deixados nas calçadas pelos moradores. O levantamento resultou em 168 sacos de lixo de 100 litros, equivalente a 16.800 litros de resíduos, ou seja, um total de 16,8 m³ de amostras igualmente distribuídas entre os meses analisados. As amostras coletadas no primeiro dia da campanha foram desconsideradas, totalizando três amostras por estrato.

TABULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A tabulação foi realizada com o Google Sheets, assim como a estatística descritiva e representações gráficas. Os testes estatísticos foram conduzidos no *software Jamovi* (interface gráfica para linguagem R (LOVE; DROPMANN, 2022)). A normalidade das categorias será obtida pelo teste de Shapiro-Wilk, considerando um intervalo de confiança de 95%. As categorias que apresentarem normalidade dos dados serão analisadas pelos testes MANOVA, ANOVA e Tukey, a fim de qualificar a diferença significativa entre os grupos e anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

DISTRIBUIÇÃO DOS SETORES POR ESTRATO

Os estratos socioeconômicos foram definidos a partir do método indicado no item 3 (Proposta metodológica para o cálculo e análise espacial de um índice de vulnerabilidade intraurbana de Três Pontas - Minas Gerais), utilizando os setores censitários como delimitadores para o recorte das amostras. A análise dos dados revela que a maioria dos setores censitários de Três Pontas se enquadra na classe de baixo desenvolvimento social. Especificamente, dos 88 setores censitários analisados, 55 estão classificados como de baixo desenvolvimento social, o que corresponde a 62,50% do total. Esta classe é caracterizada por desafios socioeconômicos significativos, refletidos em indicadores desfavoráveis de educação, renda e estabilidade familiar. A classe de desenvolvimento social médio abrange 26

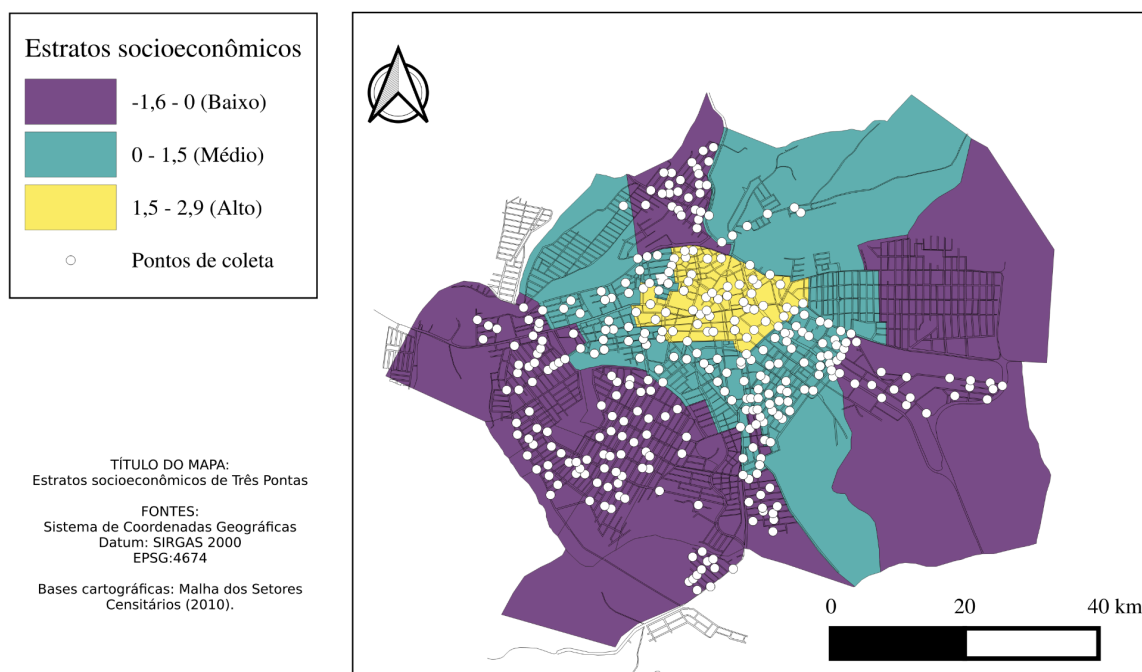
setores censitários, representando 29,55% do total. Esses setores apresentam uma condição intermediária de desenvolvimento, onde alguns indicadores socioeconômicos são melhores do que os da classe baixa, mas ainda apresentam carências importantes. A classe de alto desenvolvimento social inclui apenas 7 setores censitários, correspondendo a 7,95% do total. Esses setores apresentam os melhores indicadores de educação, renda e estabilidade familiar, indicando uma menor vulnerabilidade socioeconômica. No total, a análise abrange 88 setores censitários, proporcionando uma visão abrangente da distribuição socioeconômica em Três Pontas.

DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS POR ESTRATO

A análise das amostras revelou variações médias entre as diferentes classes socioeconômicas em termos de massa por volume ($\text{kg}/0,1\text{m}^3$). A classe média, com 73 amostras, apresentou uma média de $10,53 \text{ kg}/0,1\text{m}^3$ e um desvio-padrão de $4,36 \text{ kg}/0,1\text{m}^3$, resultando em um total de 768,69 kg, o que representa 49,55% do total das amostras. A classe baixa, que compreende 78 amostras, teve uma média de $7,40 \text{ kg}/0,1\text{m}^3$ e um desvio-padrão de $3,91 \text{ kg}/0,1\text{m}^3$, totalizando 576,99 kg, ou 37,19% do total das amostras. A classe alta, com 17 amostras, apresentou a maior média de $12,09 \text{ kg}/0,1\text{m}^3$ e um desvio-padrão de $6,58 \text{ kg}/0,1\text{m}^3$, resultando em um total de 205,58 kg, representando 13,25% do total das amostras.

No total, foram analisadas 168 amostras, com uma média geral de $9,23 \text{ kg}/0,1\text{m}^3$ e um desvio-padrão de $4,75 \text{ kg}/0,1\text{m}^3$, somando um total de 1.551,26 kg. Esses dados oferecem uma visão abrangente da distribuição da massa por volume entre as diferentes classes socioeconômicas, destacando tanto a variabilidade quanto a predominância relativa de cada classe na composição total. Os pontos de coleta podem ser visualizados no mapa apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Mapa urbano de Três Pontas subdividido por estratos socioeconômicos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS

A composição geral resultante das campanhas de amostragem estão apresentadas na Tabela 1. Em todas as campanhas, os resíduos biodegradáveis foram a principal fração, representando mais da metade do total de resíduos. A segunda fração predominante em todos os casos foram os resíduos plásticos recicláveis, provavelmente devido à definição ampla que utilizamos para essa categoria (ver no Quadro 2). Plásticos e vidros também foram frações significativas, com destaque para os resíduos sanitários.

Esses dados mostram que uma parte substancial dos RSU em Três Pontas é composta por materiais recicláveis (21,94%), comparativamente à média nacional de, aproximadamente, 30%, nota-se uma proporção de 8% menor, demonstrando uma maior proporção de catadores autônomos ou informais, afetando quantificação exata desses materiais (BRASIL, 2012; SNIS, 2016). Dentre esses materiais, estão especialmente plásticos (10,00%) e vidros (7,08%). A presença de metais ferrosos e não-ferrosos, embora em menor quantidade (0,54% e 0,14%, respectivamente), e resíduos recicláveis diversos (4,18%), sublinha a importância de sistemas de coleta seletiva eficientes e a necessidade de infraestrutura adequada para a reciclagem. Promover a reciclagem desses materiais pode contribuir significativamente para a

sustentabilidade ambiental e a gestão eficaz dos resíduos sólidos no estado.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2015), em 2019, a cidade de Três Pontas coletou 13.332 toneladas de resíduos sólidos urbanos (resíduos domésticos e de ambientes públicos). Isso corresponde a uma geração *per capita* de 0,75 kg por habitante por dia. Deste total, apenas 459 toneladas foram recuperadas através de associações e coletores de materiais recicláveis, representando 3,44% da geração total. Esse percentual está abaixo, mas próximo, da média nacional do ano anterior. Em 2018, o Brasil coletou 64,4 milhões de toneladas de resíduos urbanos, dos quais 3,6% foram coletados de forma seletiva (SNIS, 2016). Embora o percentual de coleta esteja orbitando o valor médio nacional, a coleta seletiva abarca cerca de 49,5% do município, mas o baixo nível de retenção dos materiais recicláveis resulta das dificuldades em obter dados sobre a coleta seletiva realizada por outros meios e associações, consequentemente, não são quantificados.

Tabela 1 - Geração dos RSU por categoria, entre os estratos socioeconômicos.

(continua)

Shapiro-Wilk					
	Classe	Média	Desvio-padrão	W	p
Peso (kg)	Alto	11.200	5.8952	0.920	0.001
	Baixo	7.535	3.8260	0.936	< .001
	Médio	10.760	4.2964	0.983	0.065
Resíduos Biodegradáveis (%)	Alto	54.475	3.2334	0.962	0.088
	Baixo	55.708	4.3471	0.990	0.316
	Médio	54.508	3.7451	0.994	0.779
Resíduos Plásticos Recicláveis (%)	Alto	10.966	2.6399	0.941	0.010
	Baixo	9.144	3.4136	0.984	0.084
	Médio	11.013	2.7810	0.984	0.104

Tabela 1 - Geração dos RSU por categoria, entre os estratos socioeconômicos.

				(continuação)	
				Shapiro-Wilk	
	Classe	Média	Desvio-padrão	W	p
Resíduos Plásticos Não-Recicláveis (%)	Alto	1.234	0.7634	0.917	0.001
	Baixo	1.566	0.8617	0.930	< .001
	Médio	1.095	0.6432	0.928	< .001
Resíduos Recicláveis Diversos (%)	Alto	4.052	0.9961	0.986	0.758
	Baixo	4.386	0.9037	0.954	< .001
	Médio	4.042	0.8411	0.979	0.027
Resíduos Recicláveis Metálicos Não-Ferrosos (%)	Alto	0.174	0.1350	0.890	< .001
	Baixo	0.109	0.0869	0.784	< .001
	Médio	0.179	0.1274	0.922	< .001
Resíduos Recicláveis Metálicos Ferrosos (%)	Alto	0.903	0.6530	0.904	< .001
	Baixo	0.357	0.2800	0.416	< .001
	Médio	0.632	0.5828	0.757	< .001
Resíduos de Vidro (%)	Alto	7.793	1.5449	0.983	0.643
	Baixo	6.292	1.3672	0.928	< .001
	Médio	7.390	1.7440	0.991	0.495
Resíduos Eletrônicos e Baterias (%)	Alto	0.461	0.1321	0.770	< .001
	Baixo	0.658	0.1312	0.975	0.007
	Médio	0.599	0.1983	0.881	< .001
Resíduos de Serviços de Saúde (%)	Alto	0.716	0.2103	0.708	< .001
	Baixo	0.437	0.2298	0.802	< .001
	Médio	0.475	0.3317	0.789	< .001
Resíduos Sanitários (%)	Alto	3.170	0.5903	0.980	0.486
	Baixo	2.947	0.4032	0.987	0.161
	Médio	3.049	0.5152	0.929	< .001

Tabela 1 - Geração dos RSU por categoria, entre os estratos socioeconômicos.

				(conclusão)	
				Shapiro-Wilk	
	Classe	Média	Desvio-padrão	W	p
Resíduos Não-Recicláveis diversos (%)	Alto	0.739	0.0961	0.986	0.758
	Baixo	0.716	0.1440	0.971	0.002
	Médio	0.800	0.1126	0.942	< .001
Amostra (n)			168		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Uma pesquisa realizada em 2012 pelo Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística (IBOPE) revelou que 86% da população brasileira concorda que a reciclagem é uma responsabilidade de todos (MENEZES *et al.*, 2019). No entanto, apenas 26% dos entrevistados afirmaram que separam os materiais recicláveis sempre ou frequentemente. A pesquisa entrevistou 10.368 pessoas entre julho de 2011 e fevereiro de 2012. Esses dados indicam que, apesar dos esforços para conscientizar a população sobre a importância da reciclagem e dos investimentos em programas e projetos de sustentabilidade, essas iniciativas ainda precisam ser ampliadas (FGV, 2012).

VARIAÇÃO DOS RSU ENTRE AS CLASSES

Os resultados da MANOVA e ANOVA apresentados fornecem uma visão abrangente sobre a distribuição e características dos diferentes tipos de resíduos gerados na comunidade, destacando as diferenças significativas entre os estratos e os resíduos analisadas. A análise MANOVA revela que há diferenças estatisticamente significativas entre as classes em relação à composição dos resíduos, conforme evidenciado pelo teste de Pillai. As cargas fatoriais significativas indicam que os grupos de resíduos diferem substancialmente entre si em termos das variáveis consideradas, com um valor aproximado de F^2 (7.895) e um $p < 0,05$, indicando forte significância estatística.

Um estudo realizado por Trang *et al.* (2017) apresentou resultados semelhantes, destacando uma tendência significativa na composição dos resíduos gerados por famílias de

²O valor de F é uma estatística usada em testes de hipóteses, como ANOVA e MANOVA, que compara a variabilidade entre grupos com a variabilidade dentro dos grupos. Um valor de F alto indica que a diferença entre os grupos é significativa.

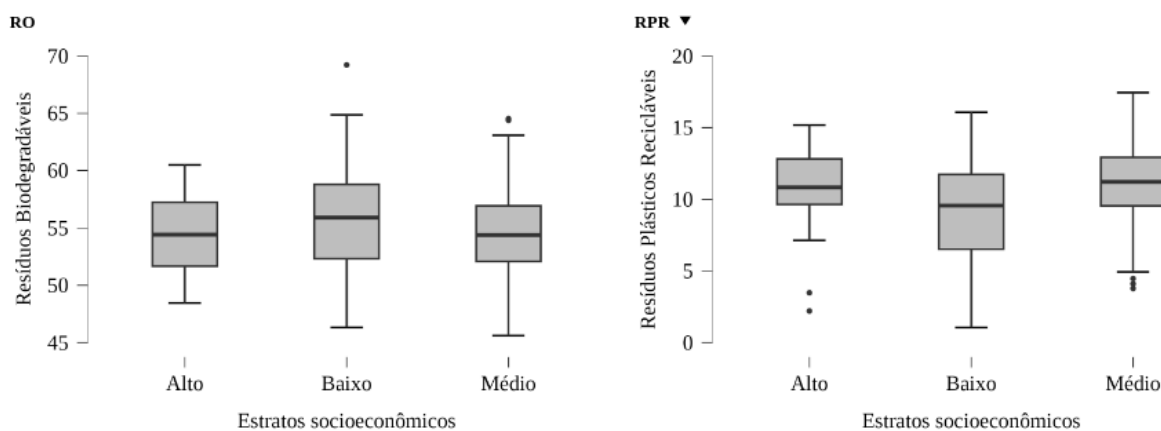
maior poder aquisitivo. Os dados indicaram que essas famílias produziam uma proporção consideravelmente maior de materiais recicláveis, como papel, plástico e PET, em comparação aos resíduos orgânicos. Essa observação sugere que o nível socioeconômico influencia diretamente os padrões de descarte de resíduos, refletindo maior acesso e conscientização sobre práticas de reciclagem entre os grupos mais favorecidos economicamente.

Essa tendência pode estar associada a hábitos de consumo diferentes, onde produtos com embalagens recicláveis são mais prevalentes e o desperdício de alimentos é potencialmente menor devido a um planejamento de consumo mais eficiente e maior acesso a tecnologias de conservação de alimentos. A investigação conduzida por Bandara *et al.* (2007) mostrou que áreas urbanas com maior renda e nível educacional apresentam práticas mais eficientes de gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo a separação de resíduos orgânicos para compostagem, elementos que influenciam a composição dos resíduos orgânicos.

Os resultados do teste de regressão indicam uma correlação fraca ($R^3 = 0.151$) entre as classes sociais e os resíduos biodegradáveis, com o modelo explicando apenas 2.3% da variação observada ($R^2 = 0.023$). A análise de variância confirma a significância estatística do modelo ($F = 4.021$, $p < 0.05$), sugerindo que as classes sociais possuem um impacto significativo, embora pequeno, nos resíduos biodegradáveis (Figura 2). Especificamente, a classe social baixa está associada a um aumento marginal nos resíduos biodegradáveis ($p > 0.05$), enquanto a classe social média não mostra uma diferença significativa em relação à classe de referência ($p > 0.05$). Esses resultados indicam que, apesar de a influência das classes sociais ser estatisticamente significativa, seu efeito prático sobre os resíduos biodegradáveis é limitado. Parizeau *et al.* (2006) explorou as dinâmicas em bairros de baixa renda em Toronto, destacando como a insegurança alimentar e a falta de infraestrutura contribuem para uma maior geração de resíduos orgânicos.

³O coeficiente de correlação, denotado por R, é uma medida estatística que avalia a relação linear entre duas variáveis. Varia de -1 a 1, onde valores próximos de 1 indicam uma forte correlação positiva, ou seja, quando uma variável aumenta, a outra variável também tende a aumentar. Por outro lado, valores próximos de -1 indicam uma forte correlação negativa, ou seja, quando uma variável aumenta, a outra variável tende a diminuir. Um valor de R próximo de 0 indica uma correlação fraca ou inexistente entre as variáveis. Em resumo, o coeficiente de correlação R é uma medida fundamental para compreender o grau e a direção de associação entre variáveis em um conjunto de dados.

Figura 2 - *Boxplot* comparativo entre classes sociais: Resíduos Biodegradáveis e Resíduos Plásticos Recicláveis.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para os resíduos plásticos recicláveis, com uma soma dos quadrados de 36248.582 para a classe, o F de 15.854 e $p < 0,05$, reforça a significância das diferenças na geração de resíduos plásticos recicláveis. Os dados indicam que a classe média gera a maior proporção de resíduos plásticos recicláveis (11,01%), seguida pela classe alta (10,96%) e pela classe baixa (9,14%). Esta tendência pode ser explicada pela maior capacidade de consumo das classes média e alta, que frequentemente compram produtos com embalagens plásticas recicláveis. Estudos mostram que famílias de renda mais alta tendem a consumir mais produtos embalados, resultando em uma maior geração de resíduos plásticos recicláveis (BANDARA *et al.*, 2007).

Além disso, estas classes geralmente possuem melhor acesso a programas de reciclagem e estão mais conscientes sobre práticas sustentáveis, contribuindo para uma maior taxa de reciclagem (PEARSON; DAWSON; RADECKI BREITKOPF, 2012). Um estudo conduzido por Tse Wegedie *et al.* (2018) também corrobora esta observação, destacando que consumidores de alta renda são mais propensos a participar de programas de reciclagem devido à maior sensibilização ambiental e à acessibilidade a serviços de reciclagem.

Em relação aos resíduos plásticos não-recicláveis (RPNR), a soma dos quadrados de 609.577 e F de 14.459 com $p < 0,05$ destaca a relevância das diferenças observadas entre as classes para este tipo de resíduo. A geração de resíduos plásticos não-recicláveis é mais alta na classe baixa (1,56%) comparada às classes média (1,09%) e alta (1,23%). Uma possível explicação para isso é o consumo de produtos mais baratos e menos duráveis, que frequentemente utilizam plásticos não recicláveis.

Famílias de baixa renda podem ter menos acesso a opções de reciclagem e menos incentivo para separar resíduos devido a uma menor conscientização ou infraestrutura inadequada (ABD'RAZACK *et al.*, 2017). A falta de programas eficientes de reciclagem em áreas de baixa renda também contribui para uma maior proporção de plásticos não-recicláveis no fluxo de resíduos (RONDÓN TORO; LÓPEZ MARTÍNEZ; LOBO GARCÍA DE CORTÁZAR, 2023). De acordo com Jabeen *et al.* (2017), a falta de acesso a programas de reciclagem e a menor prioridade dada ao manejo adequado de resíduos em comunidades de baixa renda resultam em maiores quantidades de resíduos plásticos não-recicláveis.

Para os resíduos recicláveis diversos (RRD), a análise revela uma soma dos quadrados de 6137.307 para a classe, com um F de 6.257 e $p < 0,05$, indicando diferenças significativas na quantidade de resíduos recicláveis diversos. No caso dos resíduos recicláveis metálicos ferrosos (RRMF), a soma dos quadrados de 126.976 para a classe com um F de 29.401 e $p < 0,05$ indica diferenças altamente significativas entre as classes. Quanto aos resíduos de vidro (RV), a análise mostra uma soma dos quadrados de 85.657 para a classe, com um F de 21.459 e $p < 0,05$, demonstrando diferenças estatisticamente significativas entre as classes. Por fim, para os resíduos eletrônicos e baterias (REB), com uma soma dos quadrados de 198.448 para a classe e F de 17.258 e $p < 0,05$, há uma diferença notável na geração deste tipo de resíduo.

Os resultados das análises indicam que existem variações significativas na composição e quantidade de resíduos entre as diferentes classes de resíduos estudados. Estes achados têm importantes implicações para o planejamento de gestão de resíduos sólidos urbanos. As diferenças identificadas sugerem a necessidade de estratégias específicas para lidar com cada tipo de resíduo, promovendo a reciclagem e o tratamento adequado de resíduos biodegradáveis, plásticos, metálicos e eletrônicos. A segregação e reciclagem mostram-se cruciais, especialmente devido às diferenças significativas nos resíduos plásticos recicláveis e não-recicláveis, destacando a importância de programas de segregação na fonte e campanhas de conscientização para aumentar as taxas de reciclagem. A gestão eficaz de resíduos biodegradáveis pode reduzir significativamente o volume de resíduos encaminhados para aterros, promovendo a compostagem e outras técnicas de tratamento orgânico. Devido à alta significância nas diferenças observadas para resíduos eletrônicos, é crucial implementar programas de coleta e reciclagem específicos para esses materiais, mitigando os impactos ambientais.

Estudos na cidade de Shalimar e em Cali, Colômbia, destacam diferenças significativas na composição de resíduos entre grupos socioeconômicos (KAMRAN; CHAUDHRY; BATOOL, 2015; ULLOA TORREALBA *et al.*, 2023). Grupos de baixa renda

tendem a produzir menos resíduos em geral (média de 7.535/0,1m³), com o grupo de menor renda gerando o mínimo de resíduos em cada temporada na cidade de Shalimar (OLAYA *et al.*, 2013). Além disso, a análise nas cidades dos EUA revelou que os residentes próximos a instalações de coleta de lixo tinham renda mais alta e eram menos propensos a serem membros de grupos minoritários, embora tivessem níveis de educação ligeiramente mais baixos, ao contrário das hipóteses de racismo ambiental e classicismo (MARKHAM; RUFA, 1997). Essas disparidades na geração e composição de resíduos enfatizam a influência do status socioeconômico nos tipos e quantidades de resíduos sólidos produzidos em diferentes classes sociais.

VARIAÇÃO TEMPORAL DOS RSU

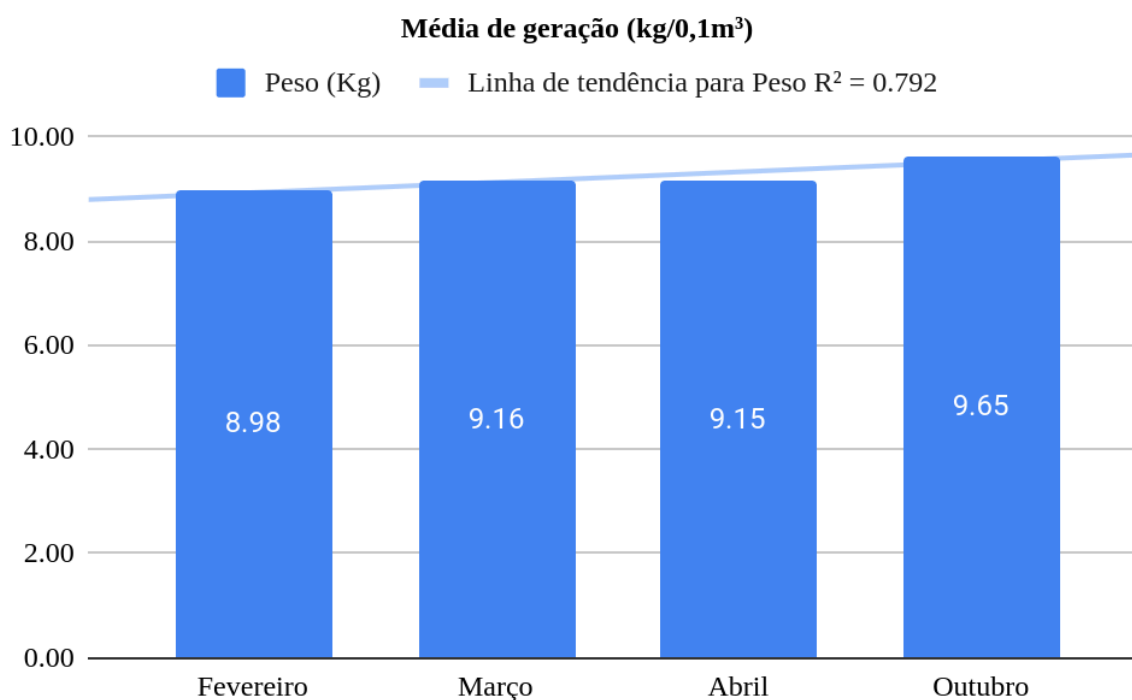
Para a variável Mês, o teste de Pillai não encontrou diferenças estatisticamente significativas, com um valor de aproximadamente 0.083 e um $p > 0.05$. Isso sugere que não há uma variação significativa nas variáveis dependentes ao longo dos diferentes meses analisados. A análise dos resíduos revela que a maior parte da variabilidade nas variáveis dependentes não pode ser explicada pelo modelo (variação entre os meses), indicando que outros fatores não incluídos na análise podem influenciar os resultados, como as classes identificadas previamente.

As variações sazonais impactam significativamente a composição dos resíduos sólidos, com estudos mostrando flutuações na quantidade e no conteúdo do material em diferentes meses. Pesquisas conduzidas em vários países da Europa Oriental destacaram que a geração média mensal de RSU variou de 18,70 a 38,31 kg per capita mês (JEĐRCZAK; POŁOMKA; DRONIA, 2023). Estudos experimentais sobre a composição do RSU e propriedades térmicas demonstraram mudanças notáveis ao longo do ano, como mudanças no conteúdo de resíduos orgânicos de 17,0% na primavera para 31,5% no outono (DENAFAS *et al.*, 2014). A análise de amostras de resíduos coletadas mensalmente ao longo de um ano revelou variações na quantidade e composição dos resíduos municipais gerados, com papel, vidro e plásticos coletados seletivamente, mostrando um aumento significativo de aproximadamente 5% ao mês (SLIUSAR *et al.*, 2020).

Essas descobertas enfatizam a importância de considerar as flutuações sazonais ao planejar estratégias e tecnologias de gerenciamento de resíduos para lidar com as mudanças na composição dos resíduos sólidos. Contudo, diferente dos achados de outros estudos, os resultados destacam a importância de considerar outros possíveis determinantes do

comportamento das variáveis dependentes, além do fator tempo. Embora a estatística descritiva ilustra um aumento acentuado entre os meses (Figura 3), os resultados não apresentaram significância estatística. Esses achados fornecem informações importantes para compreender a dinâmica das variáveis dependentes ao longo do tempo e podem orientar futuras investigações sobre os fatores que influenciam essas variáveis.

Figura 3 - Peso médio das amostras ao longo dos meses de coleta.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

PROPORÇÃO DE RESÍDUOS DE VIDRO ACIMA DA MÉDIA

A taxa de resíduos de vidros apresentou uma proporção significativa, de 7,08%, embora represente uma parcela significativa, essa proporção representa um recorte temporal de 2022. Isso se deve à redução das atividades de lazer externas, onde o consumo de álcool e outros ficou restrito ao ambiente domiciliar durante a Pandemia de Coronavírus. Essa análise é concebida por um estudo realizado por Queiroga *et al.*, (2021), onde houve um aumento do consumo de bebidas alcoólicas durante a quarentena e, conseqüentemente, um possível aumento do descarte de garrafas de vidro.

Em 2019, ainda de acordo com o SNIS+, das 321 toneladas de resíduos coletados pela

associação de catadores locais, 115 toneladas (36%) foram de resíduos de vidro. Corroborando com alta incidência de vidros na composição dos RSU no município. No mais, estudos de Ying-Chu (2018), realizados em municípios chineses exibiram uma taxa de vidros de 9,4%, Abylkhani *et al.* (2020) na cidade de Nur-Sultan, capital do Cazaquistão, apresentou uma taxa de 3,2% de vidros transparentes valor próximo ao estudo de Guermoud *et al.* (2009), cidade de Mostaganém, Argélia, essa taxa foi de 2,8%. Portanto, esses resíduos variam de acordo com tempo e local dos estudos, indicando novas análises são essenciais para compreender as dinâmicas que envolvem os resíduos de vidro e sua participação na massa de resíduos sólidos.

CONCLUSÃO

A análise dos resultados da caracterização dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em Três Pontas revelou que, alinhado com a tendência nacional, as frações predominantes foram resíduos biodegradáveis (54,48%) e plásticos recicláveis (10,08%). As áreas de maior desenvolvimento social apresentaram os maiores percentuais de recicláveis, atingindo 25,38%. Análises estatísticas das médias das frações predominantes revelaram diferenças significativas entre as classes sociais, evidenciando padrões específicos de geração de resíduos. Em áreas com maior poder aquisitivo e nível educacional mais elevado, verificou-se uma tendência acentuada na geração de materiais recicláveis. Em contraste, regiões habitadas por famílias de baixa renda e menor nível de escolaridade apresentaram uma menor taxa geral de geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Não foram observadas variações significativas na composição e na quantidade de resíduos entre as classes ao longo dos meses avaliados. Os altos percentuais de resíduos biodegradáveis e recicláveis na composição dos RSU destacam o potencial de reciclagem no município e a necessidade de uma gestão eficaz desses materiais. A realização de novos estudos e análises é imprescindível para o estabelecimento de uma série histórica que sustente estratégias e ações eficazes nos programas de gestão de resíduos em Três Pontas. Recomenda-se, ainda, a determinação de parâmetros como a geração per capita para recortes econômicos distintos, a potencialidade de econômica e social da reciclagem, o poder calorífico para geração de energia e o teor de umidade dos resíduos, considerando também outras possíveis influências de outros recortes temporais, como sazonalidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destaca os desafios multifacetados enfrentados por Três Pontas em termos de vulnerabilidade socioeconômica e gestão de resíduos sólidos urbanos. Utilizando índices baseados em áreas derivadas de dados do censo, foi possível identificar setores da cidade com sobreposições significativas entre elevada privação de recursos e baixo desenvolvimento social. Estas áreas, que albergam 13,31% da população e 12,57% dos agregados familiares, são caracterizadas por baixas taxas de alfabetização, especialmente entre os idosos, uma maior prevalência de agregados familiares chefiados por mulheres e um acesso deficiente a serviços básicos, como saneamento e coleta de resíduos. Esta confluência de fatores socioeconômicos desfavoráveis agrava a vulnerabilidade de 7.145 indivíduos, sublinhando a necessidade urgente de políticas públicas direcionadas destinadas a reduzir as desigualdades e a promover o desenvolvimento humano. Além disso, a análise da composição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) revelou uma predominância de resíduos biodegradáveis (54,48%) e plásticos recicláveis (10,08%), com variações significativas entre as diferentes áreas socioeconômicas. As regiões com maior desenvolvimento social apresentaram maiores percentuais de recicláveis, refletindo seus maiores níveis de renda e escolaridade. Por outro lado, as áreas de rendimentos mais baixos geraram menos RSU em geral, apontando para disparidades na produção de resíduos e nas práticas de gestão. A integração destas conclusões demonstra a eficácia e robustez do índice de vulnerabilidade intraurbana desenvolvido através da Análise de Componentes Principais (PCA). Esta abordagem não só forneceu informações sobre a distribuição espacial da privação social e de recursos, mas também destacou o potencial para melhores estratégias de gestão de resíduos adaptadas às necessidades específicas dos diferentes setores urbanos. Em conclusão, o estudo afirma a viabilidade da criação de índices de vulnerabilidade detalhados e precisos ao nível do setor censitário, o que pode ajudar significativamente na monitorização e alocação de recursos. Aplicações futuras deste modelo podem apoiar os esforços da gestão pública para melhorar a qualidade de vida em Três Pontas, garantindo que as intervenções sejam equitativas e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, M. *et al.* Characterization and sustainable management strategies of municipal solid waste in Egypt. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 22, n. 6, p. 1371-1383, 1 Aug. 2020.
- ABD'RAZACK, N. T. A. *et al.* Habits and benefits of recycling solid waste among households in Kaduna, North West Nigeria. **Sustainable Cities and Society**, v. 28, p. 297-306, 2017.
- ABELAIRAS-ETXEBARRIA, P.; ASTORKIZA, I. From exploratory data analysis to exploratory spatial data analysis. **Mathematics and Statistics**, v. 8, n. 2, p. 82-86, Mar. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10007:2004 - Amostragem de resíduos sólidos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Resíduos sólidos: manual de boas práticas no planejamento**. São Paulo: ABRELPE, 2013. Disponível em: <http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20Manual%20BOAS%20PRATICAS%202013.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. 18. ed. São Paulo: ABRELPE, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. 19. ed. São Paulo: ABRELPE, 2021.
- ADELODUN, B. *et al.* Insights into hazardous solid waste generation during COVID-19 pandemic and sustainable management approaches for developing countries. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 23, n. 6, p. 2077-2086, 2021.
- ADENIYI, L. Assessment of the effects of location of disposal-sites on waste disposal practices of Urban residents in Nigeria. **GeoJournal**, v. 88, n. 4, p. 3889-3903, Aug. 2023.
- ADIPAH, S.; KWAME, O. N. A novel introduction of municipal solid waste management. **Journal of Environmental Science and Public Health**, v. 03, n. 02, 2018.
- ALFAIA, R. G. DE S. M.; COSTA, A. M.; CAMPOS, J. C. Municipal solid waste in Brazil: A review. **Waste Management and Research**, v. 35, n. 12, p. 1195-1209, 1 Dec. 2017.
- ALLESCH, A.; BRUNNER, P. H. Assessment methods for solid waste management: a literature review. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 6, p. 461-473, 1 June 2014.
- ALMEIDA, C. V. D.; VEIGA, A. Social determinants and health literacy of the elderly: walk to well-being. **OALib**, v. 07, n. 06, p. 1-16, 2020.
- ANSELIN, L.; SRIDHARAN, S.; GHOLSTON, S. Using exploratory spatial data analysis to leverage social indicator databases: the discovery of interesting patterns. **Social Indicators Research**, v. 82, n. 2, p. 287-309, 15 Nov. 2006.

AZAM, M. G.; RAHMAN, M. M. Assessing spatial vulnerability of Bangladesh to climate change and extremes: a geographic information system approach. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 27, n. 6, 2022.

BANDARA, N. J. G. J. *et al.* Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: a case study. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 135, n. 1-3, p. 31-39, 2007.

BARROZO, L. V. *et al.* GeoSES: A socioeconomic index for health and social research in Brazil. **PLoS one**, v. 15, n. 4, p. e0232074, Apr. 2020.

BEACH, S. R.; SPOKANE, A. R. Determining the factor structure of the inventory of interpersonal problems: an illustration of the exploratory factor analysis with the application of the bootstrap. **Journal of Counseling Psychology**, v. 36, n. 2, p. 223-233, 1989.

BERKOWITZ, S. A. *et al.* Evaluating area-based socioeconomic status indicators for monitoring disparities within health care systems: results from a primary care network. **Health Services Research**, v. 50, n. 2, p. 398-417, abr. 2015.

BHARTI, V.; SINGH, J.; SINGH, A. A review on solid waste management methods and practices in India. **International Journal of Innovative Research and Development**, v. 10, p. 4065-4067, 1 Jan. 2017.

BOJA, A.; ACHIM, F. The role of school-family partnership in developing children's interest for reading. **European Proceedings of Educational Sciences**, 23 Mar. 2022. Disponível em: <https://www.europeanproceedings.com/article/10.15405/epes.22032.45> . Acesso em: 19 maio. 2024.

BOURONCLE, C. *et al.* Mapping climate change adaptive capacity and vulnerability of smallholder agricultural livelihoods in Central America: ranking and descriptive approaches to support adaptation strategies. **Climatic Change**, v. 141, n. 1, p. 123-137, 1 Mar. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305/2010. Brasília: MMA, 2012.

BUCHERIE, A. *et al.* A comparison of social vulnerability indices specific to flooding in Ecuador: principal component analysis (PCA) and expert knowledge. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 73, p. 102897, Apr. 2022.

BUENROSTRO, O.; BOCCO, G.; VENCE, J. Forecasting generation of urban solid waste in developing countries: a case study in Mexico. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 51, n. 1, p. 86-93, Jan. 2001.

CALDWELL, A. R. SimplyAgree: an R package and jamovi module for simplifying agreement and reliability analyses. **Journal of Open Source Software**, v. 7, n. 71, p. 4148, 2022.

CALVO, M. C. M. *et al.* Estratificação de municípios brasileiros para avaliação de desempenho em saúde. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 25, n. 4, p. 767-776, 10 nov. 2016.

CATTELL, R. B. The scree test for the number of factors. **Multivariate Behavioral Research**, v. 1, n. 2, p. 245-276, Apr. 1966.

- CHEN, Y.; LIU, C. Analysis of the impact of aging on factors affecting economic dynamism. **Journal of Education, Humanities and Social Sciences**, v. 16, p. 38-45, 2 July 2023.
- CHEN, Z.; XIONG, R. Impact of China's aging population on economic development and possible solutions. **BCP Business & Management**, v. 38, p. 897-904, 2 Mar. 2023.
- COBO, S.; DOMINGUEZ-RAMOS, A.; IRABIEN, A. From linear to circular integrated waste management systems: A review of methodological approaches. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 279-295, Aug. 2018.
- CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, v. 16, n. 3, p. 297-334, 1951.
- DAHLÉN, L.; LAGERKVIST, A. Methods for household waste composition studies. **Waste Management**, v. 28, n. 7, p. 1100-1112, 1 Jan. 2008.
- DENAFAS, G. *et al.* Seasonal variation of municipal solid waste generation and composition in four East European cities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 89, p. 22-30, Aug. 2014.
- DIANTIN, W. Some problems in comprehensive evaluation of the principal component analysis. **Mathematics in Practice and Theory**, v. 45, p. 143–150, 2015.
- DOMÍNGUEZ-BERJÓN, F. *et al.* The usefulness of area-based socioeconomic measures to monitor social inequalities in health in Southern Europe. **European Journal of Public Health**, v. 16, n. 1, p. 54-61, 1 Feb. 2006.
- ELHAIK, E. Principal Component Analyses (PCA): Based findings in population genetic studies are highly biased and must be reevaluated. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 14683, 29 Aug. 2022.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Estudo Gravimétrico de Resíduos Sólidos Urbanos**. Belo Horizonte: FEAM, 2019. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/2019/MINAS_SEM_LIXOES/Bolsa_reciclagem/maio/Carilha_Estudo_Gravim%C3%A9trico.pdf. Acesso em: 16 nov. 2021.
- FUNG, T.; LEDREW, E. Application of principal components analysis to change detection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 53, p. 1649–1658, 1987.
- HABIB, K.; SCHMIDT, J. H.; CHRISTENSEN, P. A historical perspective of global warming potential from municipal solid waste management. **Waste Management**, v. 33, n. 9, p. 1926-1933, 2013.
- HAQUE, M. *et al.* An emerging concern of medical waste management in Rohingya refugee camps at Cox's Bazar, Bangladesh: existing practice and alternatives. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, 13 July 2023.
- HAVARD, S. *et al.* A small-area index of socioeconomic deprivation to capture health inequalities in France. **Social Science & Medicine**, v. 67, n. 12, p. 2007-2016, 2008.
- HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a Waste: a global review of solid waste management**. Washington, DC: World Bank, 2012. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>. Acesso em: 9 nov. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE - Cidades [Três Pontas, MG]**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/tres-pontas/panorama>. Acesso em: 22 nov. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Metodologia do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 41, 2013.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **O índice de desenvolvimento humano municipal brasileiro**. Brasília: IPEA, 2013.

IYAMU, H.; ANDA, M.; HO, G. A review of municipal solid waste management in the BRIC and high-income countries: A thematic framework for low-income countries. **Habitat International**, v. 95, p. 102097, 2020.

JĘDRCZAK, A.; POŁOMKA, J.; DRONIA, W. Seasonal variability of the quantity and morphological composition of generated waste and selectively collected waste. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, v. 41, n. 8, p. 1349-1359, Aug. 2023.

JENKS, G. F. The data model concept in statistical mapping. **International Yearbook of Cartography**, v.7, p. 186-190.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 374, n. 2065, p. 20150202, Apr. 2016.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1 Sept. 1958.

KAMRAN, A.; CHAUDHRY, M. N.; BATOOL, S. A. Effects of socio-economic status and seasonal variation on municipal solid waste composition: a baseline study for future planning and development. **Environmental Sciences Europe**, v. 27, n. 1, p. 16, 7 Aug. 2015.

KANG, Y. *et al.* China's changing city-level greenhouse gas emissions from municipal solid waste treatment and driving factors. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 180, n. 106168, p. 106168-106168, May 2022.

KAZA, S. *et al.* **What a Waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. Washington, DC: World Bank, 2018.

KAZA, S.; YAO, L.; STOWELL, A. **Sustainable financing and policy models for municipal composting: Sustainable Financing and Policy Models for Municipal Composting**. Washington, DC: World Bank, 9 Nov. 2016. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26286>. Acesso em: 9 nov. 2022.

KEIL, P. *et al.* Measurement and analysis of interspecific spatial associations as a facet of biodiversity. **Ecological Monographs**, v. 91, n. 3, p. e01452, Aug. 2021.

KELLOW, J. T. Using principal components analysis in program evaluation: some practical considerations. **Journal of MultiDisciplinary Evaluation**, v. 3, n. 5, p. 89-107, 24 Sept. 2007.

KHAN, D.; KUMAR, A.; SAMADDER, S. R. Impact of socioeconomic status on municipal solid waste generation rate. **Waste Management**, v. 49, p. 15-25, 2016.

KRAUSE, C.; DENALDI, R. **Núcleos urbanos informais: abordagens territoriais da irregularidade fundiária e da precariedade habitacional**. Brasília: IPEA, 2022.

KRISHNAN, V. **Constructing an area-based socioeconomic index: a principal components analysis approach**. Alberta, Canada: University of Alberta, 2010. Disponível em: <https://www.ualberta.ca/en/community-university-partnership/media-library/community-university-partnership/research/ecmap-reports/seicupwebsite10april13-1.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2023.

LAPE, M. E. *et al.* Socioeconomic and home educational resource risk factors and children's literacy and social skills in Guyanese families: Mediating role of parental cognitive engagement and parental guidance. **International Journal of Psychology**, v. 58, n. 6, p. 554-562, Dec. 2023.

LEDESMA, R. D.; VALERO-MORA, P. Determining the number of factors to retain in EFA: an easy-to-use computer program for carrying out parallel analysis. **Practical Assessment and Evaluation**, v. 12, n. 2, p. 1-11, Feb. 2007.

LUNAG, M.; ELAURIA, J. Characterization and management status of household biodegradable waste in an upland city of Benguet, Philippines. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 23, n. 2, p. 840-853, Mar. 2021.

MAESTAS, N.; MULLEN, K. J.; POWELL, D. The effect of population aging on economic growth, the labor force, and productivity. **American Economic Journal: Macroeconomics**, v. 15, n. 2, p. 306-332, 1 Apr. 2023.

MAGALHÃES, R. F.; DANILEVICZ, Â. D. M. F.; SAURIN, T. A. Reducing construction waste: a study of urban infrastructure projects. **Waste Management**, v. 67, p. 265-277, 2017.

MARKHAM, W. T.; RUFA, E. Class, race, and the disposal of urban waste: locations of landfills, incinerators, and sewage treatment plants. **Sociological Spectrum**, v. 17, n. 2, p. 235-248, Apr. 1997.

MASSEY, D. S.; DENTON, N. A. The dimensions of residential segregation. **Social Forces**, v. 67, n. 2, p. 281-315, 1988.

MCDONALD, R. P. Test theory: a unified treatment. **Psychological assessment**, v. 10, n. 3, p. 224, 1999.

MENEZES, R. O. *et al.* Análise estatística da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares: estudo de caso do município de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 271-282, 2019.

MIEZAH, K. *et al.* Municipal solid waste characterization and quantification as a measure towards effective waste management in Ghana. **Waste Management**, v. 46, p. 15-27, 27 Nov. 2015.

NOUFAL, M. *et al.* Determinants of household solid waste generation and composition in Homs City, Syria. **Journal of Environmental and Public Health**, v. 2020, p. 1-15, 26 Nov. 2020.

OLAYA, J. *et al.* Asociaciones entre la composición socioeconómica familiar y la generación urbana de residuos sólidos domiciliarios. **Revista EIA**, v. 10, n. 20, p. 127-137, 2013.

PÁL, V. *et al.* Concentration and inequality in the geographic distribution of physicians in the European Union, 2006-2018. **Regional Statistics**, v. 11, n. 3, p. 3-28, 2021.

PAMPALON, R.; HAMEL, D.; GAMACHE, P. A comparison of individual and area-based socio-economic data for monitoring social inequalities in health. **Health Reports**, v. 20, n. 4, p. 85-94, Dec. 2009.

PANZERA, D.; POSTIGLIONE, P. Measuring the spatial dimension of regional inequality: an approach based on the gini correlation measure. **Social Indicators Research**, v. 148, n. 2, p. 379-394, Apr. 2020.

PARIZEAU, K.; MACLAREN, V.; CHANTHY, L. Waste characterization as an element of waste management planning: lessons learned from a study in Siem Reap, Cambodia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 49, n. 2, p. 110-128, Dec. 2006.

PASTERNAK, S. Habitação e saúde. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 86, p. 51-66, 2016.

PEARSON, H. C.; DAWSON, L. N.; RADECKI BREITKOPF, C. Recycling attitudes and behavior among a clinic-based sample of low-income hispanic women in Southeast Texas. **PLoS ONE**, v. 7, n. 4, p. 34469, 6 Apr. 2012.

LETCHER, T. M.; VALLERO, D. A. **Waste: a handbook for management**. London, England: Academic Press, 2019.

POLAT, E. G. Medical waste management during coronavirus disease 2019 pandemic at the city level. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 19, n. 5, p. 3907-3918, 1 May 2022.

QUANTUM GIS. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project: QGIS, 2022. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/>. Acesso em: 22 fev. 2021.

QUEIROGA, V. V. *et al.* A pandemia da Covid-19 e o aumento do consumo de álcool no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, [s.l.], 11 Sept. 2021.

RAHAMAN KHAN, MD. H.; ASADUZZAMAN, MD. Literate life expectancy in Bangladesh: a new approach of social indicator. **Journal of Data Science**, v. 5, n. 1, p. 131-142, 12 July 2021.

REARDON, S. F.; BISCHOFF, K. Income inequality and income segregation. **American Journal of Sociology**, v. 116, n. 4, p. 1092-1153, 2011.

RENCHER, A. C.; CHRISTENSEN, W. F. **Methods of multivariate analysis**. New York: Wiley, 2012.

ROMAN, S. P. Illiteracy and older adults: individual and societal implications. **Educational Gerontology**, v. 30, n. 2, p. 79-93, Feb. 2004.

ESTEFANI RONDÓN TORO; LÓPEZ, A.; LOBO, A. Sequential methodology for the selection of municipal waste treatment alternatives applied to a case study in Chile. *Sustainability*, v. 15, n. 9, p. 7734–7734, 8 May. 2023.

SAKURAI, K. Basic concepts and procedures for the improvement of solid waste management in urban fringe areas. *Water Science and Technology*, v. 18, n. 7-8, p. 113-120, 1986.

SARNO, G. D. **Plano nacional de resíduos sólidos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2022.

SATTERTHWAITE, D. Getting housing back onto the development agenda: the many roles of housing and the many services it should provide its inhabitants. *Environment and Urbanization*, v. 32, n. 1, p. 3-18, Apr. 2020.

SINGH, D. M. Solid waste management in urban India: imperatives for improvement. *The journal of contemporary issues in business and government*, v. 25, n. 1, p. 87-92, 30 Dec. 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **Inventário nacional de resíduos sólidos: gestão dos resíduos sólidos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2019. Disponível em: <https://sinir.gov.br/mapas/gestao-residuos-solidos/>. Acesso em: 24 jul. 2023.

SLIUSAR, N. *et al.* Seasonal changes in the composition and thermal properties of municipal solid waste: a case study of the city of Perm, Russia. *Environmental Research, Engineering and Management*, v. 76, n. 2, p. 54-64, 3 July 2020.

TOLSON, D. Health literacy in later life. *International Journal of Older People Nursing*, v. 3, n. 3, p. 159-160, Sept. 2008.

TRANG, P. T. T. *et al.* The effects of socio-economic factors on household solid waste generation and composition: a case study in Thu Dau Mot, Vietnam. *Energy Procedia*, v. 107, p. 253–258, Feb. 2017.

TRÊS PONTAS (MG). Prefeitura. Secretaria Municipal de Administração e Recursos Humanos. **Plano municipal de saneamento básico do município de Três Pontas**. Três Pontas: SMAR, 2015. Disponível em: <https://www.trespontas.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/plano-municipal-de-saneamento-basico/58703>. Acesso em: 21 jan. 2024.

TRÊS PONTAS (MG). Prefeitura. Secretaria Municipal de Administração e Recursos Humanos. **Termo de colaboração número 002/2018**. Três Pontas: SMAR, 2018. Disponível em: https://www.trespontas.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/anexo?cdLocal=19&arquivo=%7BBC25DAE8-BDAD-DB7A-2BBD-AC74DA4A3EC5%7D.pdf. Acesso em: 22 jan. 2024.

TRINIDAD, S. *et al.* Use of area-based socioeconomic deprivation indices: a scoping review and qualitative analysis. *Health Affairs*, v. 41, n. 12, p. 1804-1811, 1 Dec. 2022.

TSHELEZA, V. *et al.* Vulnerability of growing cities to solid waste-related environmental hazards: The case of Mthatha, South Africa. *Jamba: Journal of Disaster Risk Studies*, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2019.

- ULLOA TORREALBA, Y. Z. *et al.* Correlation between remotely sensed solid waste on streets and socioeconomic class of an urban area. *In: 2023 JOINT URBAN REMOTE SENSING EVENT*, 17 May 2023, Heraklion, Greece. **Anais [...]** 2023 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), Heraklion, Greece: IEEE, 8 June 2023, p. 1-4.
- VETTER-GINDELE, J. *et al.* Assessment of household solid waste generation and composition by building Type in Da Nang, Vietnam. **Resources**, v. 8, n. 4, p. 171, Nov. 2019.
- VILLALBA, L. *et al.* Household solid waste characterization in Tandil (Argentina): Socioeconomic, institutional, temporal and cultural aspects influencing waste quantity and composition. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 152, p. 104530, 2020.
- VYAS, S.; KUMARANAYAKE, L. Constructing socio-economic status indices: how to use principal components analysis. **Health Policy and Planning**, v. 21, n. 6, p. 459-468, 2006.
- WANG, X. *et al.* Characterization of gas and particle emissions from open burning of household solid waste from South Africa. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 23, n. 15, p. 8921-8937, 2023.
- WANG, Z. *et al.* Construction of an area-deprivation index for 2869 counties in China: a census-based approach. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v. 75, n. 2, p. 114-119, Feb. 2021.
- WEGEDIE, K. Households solid waste generation and management behavior in case of Bahir Dar City, Amhara National Regional State, Ethiopia. **Cogent Environmental Science**, v. 4, n. 1, 4 June 2018.
- WEI, Z. The impact of population aging on economic growth: based on a case analysis in Beijing. **Highlights in Business, Economics and Management**, v. 13, p. 162-168, 29 May 2023.
- WELDEYOHANIS, Y. H.; ANESEYEE, A. B.; SODANGO, T. H. Evaluation of current solid waste disposal site based on socio-economic and geospatial data: a case study of Wolkite town, Ethiopia. **GeoJournal**, v. 87, n. 2, p. 585-601, 2022.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO housing and health guidelines**. Geneva: WHO, 2018.
- XIAO, S. *et al.* An overview of the municipal solid waste management modes and innovations in Shanghai, China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 24, p. 29943-29953, 2020.
- YAKUBU, Y.; ZHOU, J. Novel approach to quantify municipal solid waste management hierarchy based on analytical hierarchy process. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 4, p. 1897-1908, 2019.
- ZHANG, C.; MA, B.; DU, Q. Public acceptability and its determinants of unit pricing for municipal solid waste disposal: evidence from a household survey in Beijing. **Journal of Environmental Management**, v. 346, p. 118966–118966, 1 Nov. 2023.
- ZHANG, F.; GUO, M.; GAO, X. Quality index evaluation model based on index screening model. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, p. 3–10, 21 Sept. 2019.
- ZHANG, G. *et al.* Spatial characteristics of municipal solid waste generation and its

influential spatial factors on a city scale: a case study of Xiamen, China. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 17, n. 2, p. 399-409, 10 June 2015.

ZHOU, S.; LIANG, J. Migrant workers and environmental amenities and infrastructure in urban China: from the lens of environmental justice. **Journal of Environmental Policy and Planning**, v. 23, n. 6, p. 781-795, 2021.