

**ANÁLISE MULTIVARIADA DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL NA GESTÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS: UM ESTUDO COMPARATIVO DAS REGIÕES DE
DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

**MULTIVARIATE ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL VULNERABILITY IN SOLID
WASTE MANAGEMENT: A COMPARATIVE STUDY OF DEVELOPMENT REGIONS IN
THE STATE OF PERNAMBUCO**

**ANÁLISIS MULTIVARIADO DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL EN LA GESTIÓN
DE RESIDUOS SÓLIDOS: UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS REGIONES DE
DESARROLLO DEL ESTADO DE PERNAMBUCO**



10.56238/revgeov17n3-077

Raphael Holder Marcos da Silva

Mestrado em Engenharia Ambiental

Instituição: Universidade Federal Rural do Pernambuco (UFRPE)

E-mail: raphaelholder@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-0027-6287>

Alex Souza Moraes

Doutorado em Geociências

Instituição: Universidade Federal do Pernambuco (UFPE)

E-mail: alex.moraes@ufrpe.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4324-8271>

Daniel Pereira de Moraes

Doutorando em Engenharia Ambiental

Instituição: Universidade Federal Rural do Pernambuco (UFRPE)

E-mail: daniel.pmoraes@ufrpe.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7615-6920>

Alexandre Luiz Souza Borba

Doutorando em Engenharia Ambiental

Instituição: Universidade Federal Rural do Pernambuco (UFRPE)

E-mail: alexandrelsborba@yahoo.com.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-4776-7447>

Margarida Regueira da Costa

Doutorado em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pernambuco (UFPE)

E-mail: regueira.costa@uol.com.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-6727-0797>



Vitocley Bezerra de Moraes

Doutorado em Química

Instituição: Universidade Federal do Pernambuco (UFRPE)

E-mail: vitocley.moraes@ufrpe.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-7032-9168>**Valderice Pereira Alves Baydum**

Doutorando em Engenharia Ambiental

Instituição: Universidade Federal Rural do Pernambuco (UFRPE)

E-mail: valderice@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6536-6028>**Bartholomeu Siqueira Junior**

Mestrado em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal do Pernambuco (UFPE)

E-mail: barthsjr@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-2299-1358>

RESUMO

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos constitui um dos principais desafios ambientais do século XXI, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil. No Estado de Pernambuco, caracterizado por marcantes desigualdades socioeconômicas e ambientais entre suas Regiões de Desenvolvimento (RDs), a gestão dos resíduos sólidos torna-se ainda mais complexa. Este estudo tem como objetivo avaliar a vulnerabilidade ambiental associada à destinação de resíduos sólidos, por meio da aplicação de técnicas estatísticas multivariadas, em diferentes regiões de Pernambuco. Para isso, foram utilizados indicadores socioeconômicos, demográficos, de infraestrutura e de gestão ambiental, organizados em matrizes de dados e analisados por meio de métodos de Análise em Componentes Principais (ACP) e Análise de Agrupamentos (Cluster Analysis). Os resultados permitem identificar padrões regionais, evidenciando áreas críticas quanto ao manejo inadequado dos resíduos e ao risco ambiental decorrente, além de regiões com melhores índices de sustentabilidade na gestão. A análise comparativa entre as RDs fornece subsídios para políticas públicas direcionadas, orientando investimentos, programas de coleta seletiva, educação ambiental e destinação final ambientalmente adequada. Conclui-se que a aplicação de ferramentas multivariadas representa um instrumento eficaz para compreender a complexidade da gestão de resíduos sólidos em Pernambuco, possibilitando maior integração entre planejamento regional, redução de desigualdades e promoção do desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Lixo Urbano. Monitoramento Ambiental. Desigualdade Social. Poluição do Solo.

ABSTRACT

The growing generation of municipal solid waste is one of the main environmental challenges of the 21st century, especially in developing countries such as Brazil. In the state of Pernambuco, characterised by marked socioeconomic and environmental inequalities between its Development Regions (RDs), solid waste management becomes even more complex. This study aims to assess the environmental vulnerability associated with solid waste disposal through the application of multivariate statistical techniques in different regions of Pernambuco. To this end, socioeconomic,



demographic, infrastructure and environmental management indicators were used, organised into data matrices and analysed using Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis methods. The results allow the identification of regional patterns, highlighting critical areas in terms of inadequate waste management and the resulting environmental risk, as well as regions with better sustainability indices in management. The comparative analysis between the RDs provides input for targeted public policies, guiding investments, selective collection programmes, environmental education and environmentally appropriate final disposal. It is concluded that the application of multivariate tools is an effective instrument for understanding the complexity of solid waste management in Pernambuco, enabling greater integration between regional planning, reduction of inequalities and promotion of sustainable development.

Keywords: Urban Waste. Environmental Monitoring. Social Inequality. Soil Pollution.

RESUMEN

La creciente generación de residuos sólidos urbanos constituye uno de los principales retos medioambientales del siglo XXI, especialmente en países en desarrollo como Brasil. En el estado de Pernambuco, caracterizado por marcadas desigualdades socioeconómicas y ambientales entre sus Regiones de Desarrollo (RD), la gestión de los residuos sólidos se vuelve aún más compleja. El objetivo de este estudio es evaluar la vulnerabilidad ambiental asociada al destino de los residuos sólidos, mediante la aplicación de técnicas estadísticas multivariadas, en diferentes regiones de Pernambuco. Para ello, se utilizaron indicadores socioeconómicos, demográficos, de infraestructura y de gestión ambiental, organizados en matrices de datos y analizados mediante métodos de Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Agrupamientos (Cluster Analysis). Los resultados permiten identificar patrones regionales, poniendo de manifiesto áreas críticas en cuanto a la gestión inadecuada de los residuos y el riesgo medioambiental derivado, así como regiones con mejores índices de sostenibilidad en la gestión. El análisis comparativo entre las RD proporciona información para políticas públicas específicas, orientando inversiones, programas de recogida selectiva, educación medioambiental y destino final adecuadamente medioambiental. Se concluye que la aplicación de herramientas multivariadas representa un instrumento eficaz para comprender la complejidad de la gestión de residuos sólidos en Pernambuco, permitiendo una mayor integración entre la planificación regional, la reducción de las desigualdades y la promoción del desarrollo sostenible.

Palabras clave: Basura Urbana. Monitoreo Ambiental. Desigualdad Social. Contaminación del Suelo.



1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) permanece no centro da agenda ambiental global, sobretudo em razão do aumento contínuo da geração, dos custos sociais e econômicos associados e dos impactos cumulativos sobre clima, saúde e biodiversidade. Segundo o Global Waste Management Outlook 2024, o mundo gerou aproximadamente 2,3 bilhões de toneladas de RSU em 2023, com projeções que podem alcançar 3,8 bilhões de toneladas até 2050, caso padrões de consumo e produção atuais sejam mantidos (UNEP; ISWA, 2024).

No contexto brasileiro, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto nº 10.936/2022, estabeleceu diretrizes baseadas na hierarquia de gestão — não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição ambientalmente adequados dos rejeitos — além de instrumentos como planos, logística reversa e responsabilidade compartilhada (BRASIL, 2010; BRASIL, 2022). Apesar dos avanços institucionais, a plena implementação da PNRS ainda encontra desafios significativos.

Dados recentes confirmam essa lacuna: de acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024, o país gerou 80,96 milhões de toneladas de RSU em 2023, das quais apenas 58,5% tiveram disposição final em aterros sanitários, enquanto 41,5% ainda foram destinados de forma inadequada, revelando déficits estruturais no setor (ABRELPE, 2024).

Em Pernambuco, a governança dos resíduos sólidos se articula à legislação federal e à Política Estadual de Resíduos Sólidos (Lei nº 14.236/2010), contando com instrumentos de planejamento baseados em Regiões de Desenvolvimento (RDs). Essas divisões territoriais, definidas pela Secretaria de Planejamento e Gestão (SEPLAG), visam orientar políticas públicas regionais e promover uma visão integrada de desenvolvimento (SEPLAG, 2018).

As diferenças socioeconômicas, demográficas e de infraestrutura entre as RDs tornam necessária a aplicação de metodologias analíticas que permitam captar padrões de vulnerabilidade ambiental. Nesse sentido, técnicas de análise multivariada como Análise em Componentes Principais (PCA), Análise de Agrupamento (Cluster) e Análise Fatorial têm sido amplamente empregadas em estudos de saneamento e resíduos sólidos para sintetizar variáveis, identificar tipologias e hierarquizar prioridades de gestão (MARTÍNEZ-MARTÍNEZ et al., 2020; MOURA et al., 2021; FURLAN; ANDRADE; ZANETTI, 2023).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma análise multivariada da vulnerabilidade ambiental na gestão de resíduos sólidos em Pernambuco, comparando as diferentes Regiões de Desenvolvimento a partir de indicadores atualizados obtidos em bases oficiais, como o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e o Sistema Nacional de Informações de Saneamento Ambiental (SINISA). Pretende-se, assim, identificar padrões regionais, destacar áreas críticas e subsidiar o planejamento estratégico estadual, em consonância com os princípios da PNRS e



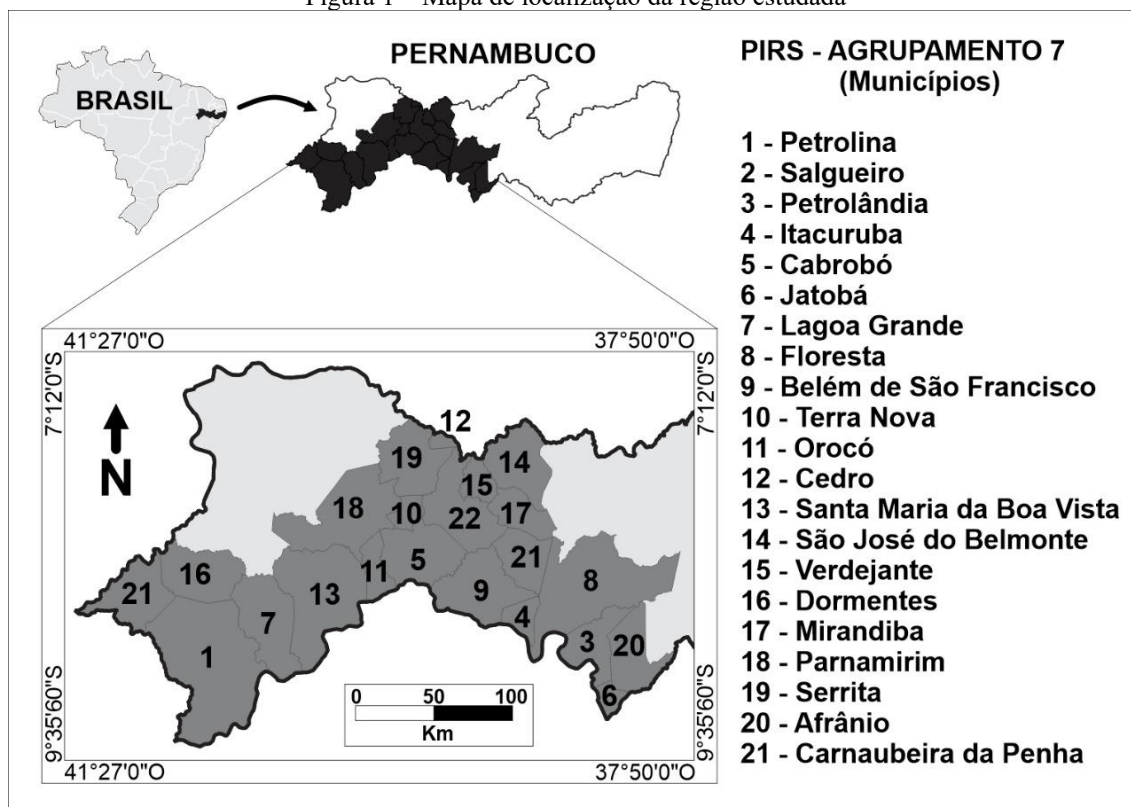
da política estadual, contribuindo para a construção de soluções alinhadas à economia circular e à descarbonização.

2 METODOLOGIA

2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi conduzida no estado de Pernambuco, considerando as Regiões de Desenvolvimento (RDs): Sertão do São Francisco, Sertão Central e Sertão do Itaparica (figura 1). A escolha das RDs como unidades de análise se justifica pela heterogeneidade socioeconômica e ambiental que caracteriza a área, permitindo avaliar comparativamente diferentes contextos regionais de vulnerabilidade ambiental.

Figura 1 – Mapa de localização da região estudada



Fonte: Autor (2025)

2.2 COLETA DE DADOS

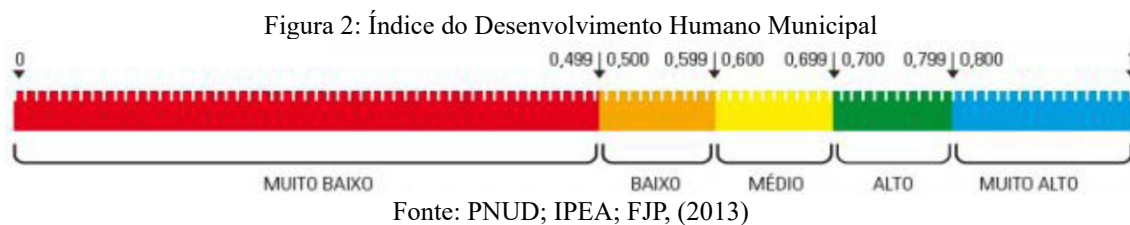
Para complementar os dados primários, também foram consultadas informações adquiridas junto a organizações públicas, privadas e do terceiro setor, tais como: o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE / BRASIL), o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Ministério das Cidades (MCidades), o Tribunal de Contas da

União (TCU), o Banco Central (BC), a Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco (SEMAS-PE), entre outros.

Quanto a composição gravimétrica dos resíduos coletados, utilizamos a estimativa da composição gravimétrica publicada no Plano Intermunicipal de Resíduos Sólidos-PIRS, Agrupamento 07, Pernambuco.

Já a coleta de dados do IDHM, foi através do Atlas Desenvolvimento Humano (ADH) do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), dos municípios inseridos nas regiões do estudo.

Como forma de avaliar o índice de desenvolvimento humano municipal, utilizou-se a escala apresentada na figura 2



Caso uma região possui um IDHM de 0,7, isso significa que ela está em um nível de desenvolvimento alto. Isso indica que as pessoas têm uma boa expectativa de vida, acesso à educação e uma renda média adequada.

O IDHM é um índice que mede o desenvolvimento humano em três áreas diferentes: longevidade, educação e renda. Ele nos ajuda a entender o quão bem uma determinada região está progredindo em termos de qualidade de vida e bem-estar.

Para calcular o IDHM, são considerados diversos indicadores, como a expectativa de vida, a taxa de alfabetização e a renda per capita. Esses indicadores são agrupados em três dimensões principais que é a dimensão de longevidade, avalia a expectativa de vida das pessoas em uma região. Quanto maior a expectativa de vida, maior será o IDHM nessa área, a dimensão de educação analisa o acesso à educação e os níveis de alfabetização da população. Quanto mais pessoas tiverem acesso à educação de qualidade e souberem ler e escrever, maior será o IDHM nessa área, a dimensão de renda considera a renda média por pessoa em uma região. Quanto maior a renda média, maior será o IDHM nessa área.

O IDHM varia de zero a um, sendo que zero representa nenhum desenvolvimento humano e um representa o pleno desenvolvimento humano. Ele é dividido em cinco faixas de desenvolvimento: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto (Figura 2). Essas faixas nos ajudam a entender em qual nível de desenvolvimento uma região se encontra (PNUD; IPEA; FJP, 2013; OLIVEIRA et. al., 2015).



Também utilizados dados secundários provenientes de bases oficiais, assegurando confiabilidade e comparabilidade: Gravimetria dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU): obtida em relatórios técnicos, diagnósticos municipais e estudos do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) e da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE); Infraestrutura de Saneamento: percentual de população atendida por rede de abastecimento de água, percentual atendido por rede de esgoto, índice de tratamento de esgoto coletado e perdas na distribuição de água, obtidos no IBGE (MUNIC, PNSB) e no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS); Dados Complementares de Gestão Ambiental: presença de planos municipais de gestão de resíduos, coleta seletiva, existência de cooperativas de catadores e forma de destinação final (aterro, lixão ou controlado).

2.3 LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DE DADOS POR ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Quanto aos instrumentos, à análise de dados foram utilizados os softwares Google Earth Pro para análise espacial, o Rstudio para a estatística, o Microsoft Excel como planilha e o Origin para confecção de mapas.

A utilização da estatística multivariada pode ser aplicada no objetivo de integração dos dados obtidos das diversas bases para descobrir relações intrínsecas entre os parâmetros dos resíduos sólidos juntamente com os parâmetros sociais e de infraestrutura.

A Análise em Componentes Principais (ACP), foi aplicada para reduzir a dimensionalidade dos dados e identificar os fatores latentes que explicam a variabilidade entre os parâmetros e municípios. Foram consideradas as componentes com autovalores por pelo menos 70% da variância total.

A Análise de Agrupamentos foi realizado para obter diferentes grupos com correlações hierárquicas específicas entre si, acompanhadas de um gráfico denominado dendrograma (figura 3).

A integração de dados gravimétricos, sociais e de saneamento via análise multivariada permite não apenas compreender a complexidade da gestão de resíduos em Pernambuco, mas também gerar uma tipologia dos municípios estudados, evidenciando desigualdades e subsidiando a formulação de políticas públicas para mitigação da vulnerabilidade ambiental.

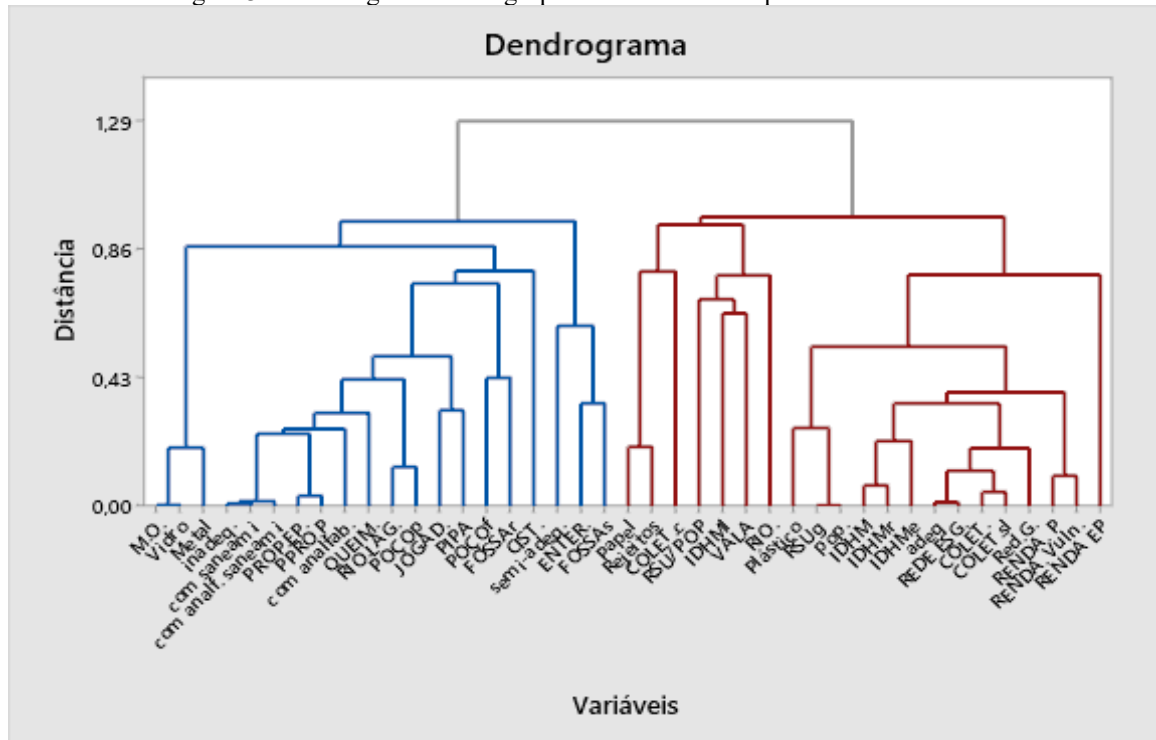
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os parâmetros analisados foram estruturados no dendrograma ilustrado na figura 3, com objetivo de representar graficamente a relação entre objetos ou grupos de objetos em uma análise de agrupamentos. A hierarquia é delineada por meio da medida da distância entre os parâmetros, sendo assim, quanto mais próximos uns dos outros, menor será sua distância de correlação.



É possível sugerir que a partir das análises preliminares dos dados desta pesquisa, considerando as diversas bases de dados como: gravimetria, população, destinação dos resíduos sólidos, abastecimento de água, esgotamento sanitário e índices de pobreza.

Figura 3 – Dendrograma com agrupamento de todos os parâmetros de análise/



Fonte: Autor (2024) por meio do software estatístico.

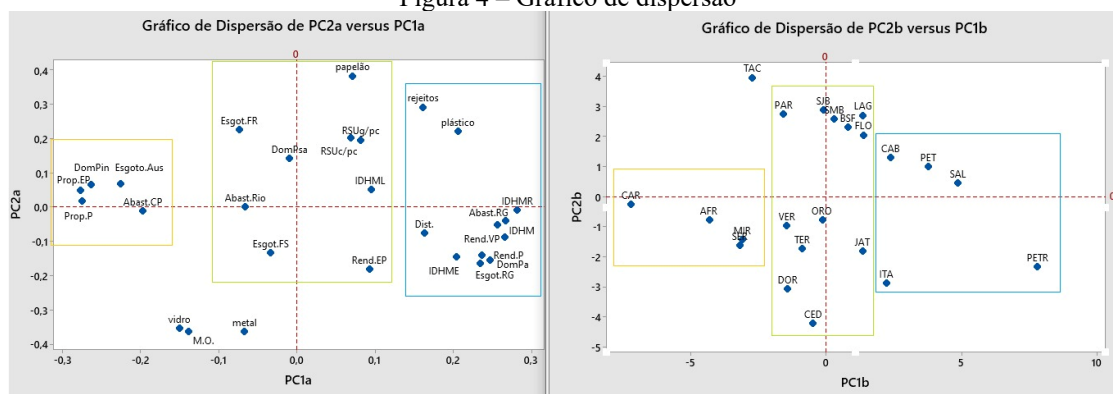
O dendrograma mostrou dois grandes grupos de parâmetros que de forma geral, indica um gradiente com municípios que possuem maior índice de desenvolvimento humano junto com maior acesso a rede de esgoto e fornecimento de água em detrimento a outros municípios com maior necessidade de investimento em infraestruturas e educação ambiental (figura 3).

Na figura 4 é mostrado o gráfico de dispersão, esta valida os resultados obtidos no dendrograma apresentado anteriormente (figura 3).

As cidades com maior vulnerabilidade social do ponto de vista econômico encontram-se posicionadas ao lado esquerdo de cada componente principal, isso reafirma sua aproximação e garante uma possibilidade efetiva de que os municípios com menor PIB são aqueles que possuem também menores condições de saneamento, disposição inadequada de resíduos e abastecimento público deficiente.

Na mesma proporção, os municípios com maior PIB encontram-se ao lado direito, incluindo em seu grupo uns bons níveis de desenvolvimento humano, tratamento dos resíduos por reciclagem do plástico e esgotamento sanitário adequado.

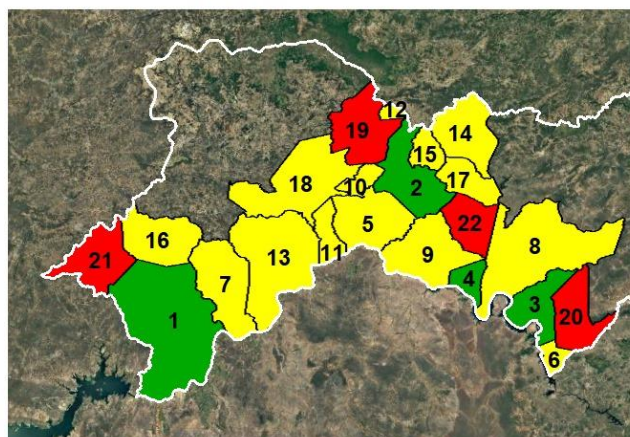
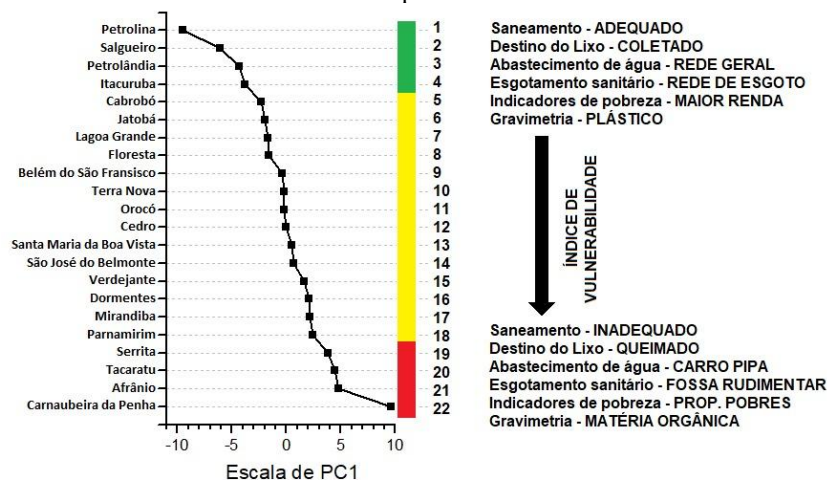
Figura 4 – Gráfico de dispersão



Fonte: Autor, 2024

A figura 5, desenvolvida a partir de uma interpretação multivariada, apresenta um índice de vulnerabilidade socioambiental relacionado ao gerenciamento de resíduos sólidos em municípios do Sertão pernambucano. O gráfico ordena os municípios segundo a escala obtida por análise multivariada, com um gradiente que vai de condições mais adequadas (verde) a situações críticas (vermelho).

Figura 5 – Escala de vulnerabilidade dos municípios localizados no Sertão do São Francisco, Sertão Central e Sertão do Itaparica



Fonte: Autor (2025)

No extremo positivo da escala (lado direito, em vermelho), encontram-se municípios como Serrita, Tacaratu, Afrânio e Carnaubeira da Penha, caracterizados por fatores negativos que indicam vulnerabilidade socioambiental, entre esses fatores, destacam-se: Saneamento inadequado; Destino final do lixo frequentemente associado à queima a céu aberto; Abastecimento de água via carros-pipa, denotando precariedade hídrica; Esgotamento sanitário predominantemente por fossas rudimentares; Indicadores sociais de maior vulnerabilidade, com alta proporção de população pobre; Predomínio da fração orgânica na gravimetria dos resíduos, associada a ausência de tratamento.

Esses municípios representam áreas de alta vulnerabilidade socioambiental, nas quais a ineficiência do saneamento básico e da gestão de resíduos amplia os riscos de contaminação do solo, da água e do ar, além de agravar problemas de saúde pública.

No extremo negativo da escala (lado esquerdo, em verde), destacam-se municípios como Petrolina, Salgueiro, Petrolândia e Itacuruba, que apresentam menor vulnerabilidade, refletindo maior capacidade institucional, infraestrutura consolidada e indicadores sociais menos críticos, dos quais denotam: Saneamento adequado; Coleta regular do lixo domiciliar; Abastecimento de água por rede geral; Rede de esgoto estruturada; Indicadores de pobreza menos expressivos, com maior renda relativa, provavelmente devido aos altos índices de atividades agroindustriais desenvolvidas; Perfil gravimétrico marcado por maior proporção de materiais recicláveis, como plásticos.

A transição ao longo do gráfico mostra um gradiente contínuo entre as condições de maior e menor vulnerabilidade. Municípios em posição intermediária (como Floresta, Belém do São Francisco e Cedro) apresentam situações mistas: ainda enfrentam problemas na cobertura de saneamento e coleta seletiva, mas com condições sociais ou estruturais que atenuam parcialmente os impactos.

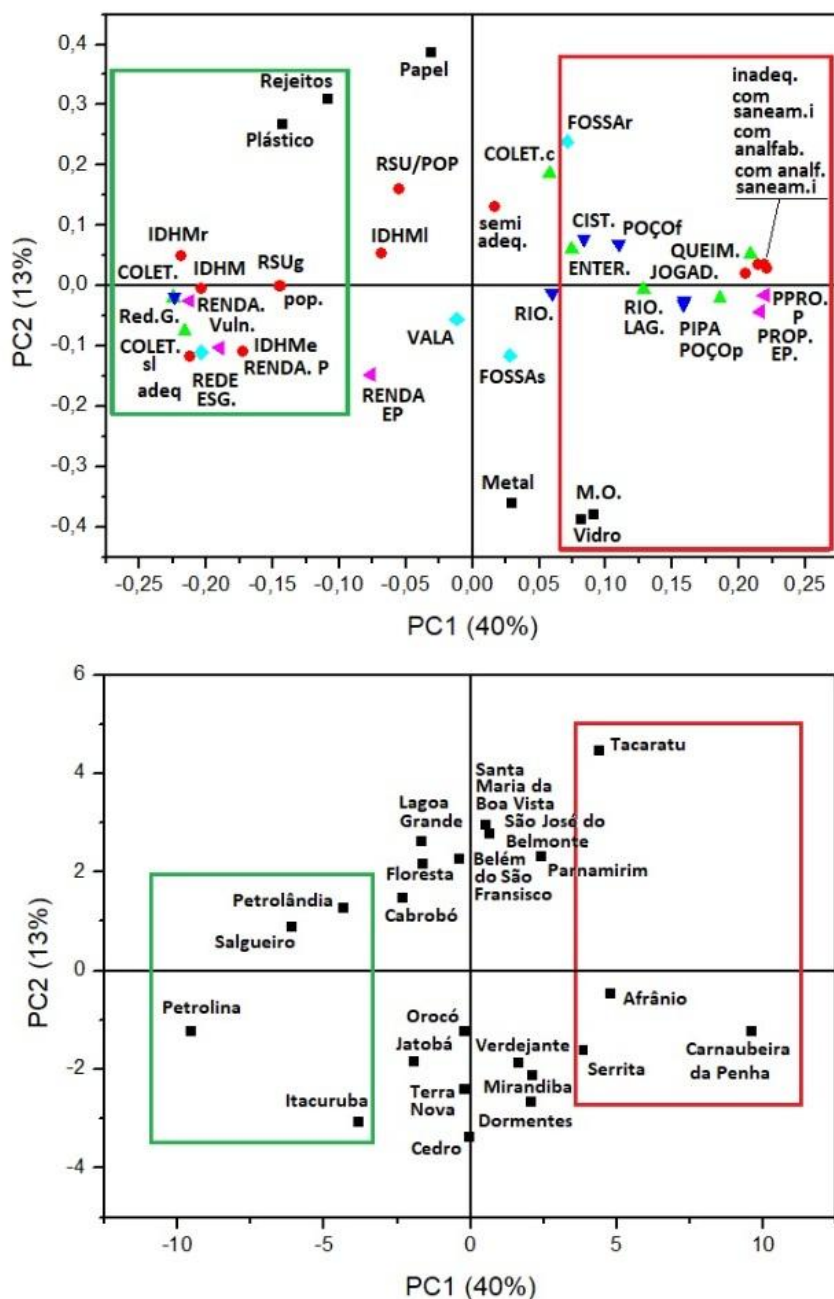
O gráfico sugere que a vulnerabilidade ambiental relacionada à gestão de resíduos sólidos não decorre apenas de fatores técnicos de coleta e disposição, mas resulta da interação multidimensional entre saneamento básico, acesso a água, infraestrutura urbana e indicadores sociais, (figura 5).

Assim, cria-se a seguinte relação: Onde a pobreza é maior e o saneamento é deficiente, a gravimetria tende a ser dominada pela fração orgânica, indicando padrões de consumo mais básicos e ausência de reaproveitamento, enquanto as localidades com maior renda e rede de serviços consolidada, a gravimetria tende a apresentar maior participação de recicláveis, sinalizando mercados de consumo diversificados e alguma inserção em cadeias de reciclagem.

Nesse contexto, o índice revela que a gestão de resíduos sólidos é um espelho das desigualdades socioambientais regionais, ou seja, municípios mais ricos, com infraestrutura consolidada, exibem menor vulnerabilidade, enquanto localidades mais pobres, com déficit histórico de saneamento, permanecem em condição crítica.



Figura 6 – Gráfico dos componentes principais relacionando os índices de vulnerabilidade aos municípios do agrupamento 7



Fonte: Autor (2025)

Cipriano e Lacava (2004) coletaram dez amostras diretamente no lixão municipal com a finalidade de caracterizar os resíduos sólidos domiciliares (RSD). A análise dos resultados indicou elevada presença de matéria orgânica (93,65%), evidenciando a viabilidade da implantação de uma usina de compostagem. Da mesma forma, os resultados apresentados apontam os locais em que a instalação de sistemas de tratamento deve ser direcionada, incluindo as cidades mais prejudicadas.

Na tabela 1 é mostrado o IDHM por municípios, percebe-se que Carnaubeira da Penha é o município com menor número do índice, enquanto Petrolina é o maior, consequentemente por conta da irrigação de fruticultura na região, muito forte, aumentando assim a economia e a qualidade de vida.



Tabela 1 – Índice IDHM

Municípios	IDH (IBGE, 2010)			
	IDHM	IDHM Renda	IDHM Longevidade	IDHM Educação
Carnaubeira da Penha	0,573	0,491	0,755	0,508
Afrânio	0,588	0,542	0,761	0,493
Dormentes	0,589	0,558	0,741	0,495
Santa Maria da Boa Vista	0,590	0,564	0,773	0,472
Mirandiba	0,591	0,512	0,769	0,525
Itacuruba	0,595	0,567	0,712	0,523
Serrita	0,595	0,542	0,760	0,512
Lagoa Grande	0,597	0,581	0,705	0,52
Parnamirim	0,599	0,556	0,776	0,499
Orocó	0,610	0,536	0,766	0,553
São José do Belmonte	0,610	0,569	0,769	0,520
Cedro	0,615	0,565	0,717	0,573
Cabrobó	0,623	0,581	0,773	0,539
Petrolândia	0,623	0,604	0,755	0,531
Floresta	0,626	0,588	0,775	0,538
Belém do São Francisco	0,642	0,611	0,784	0,553
Jatobá	0,645	0,604	0,775	0,573
Salgueiro	0,669	0,645	0,799	0,58
Petrolina	0,697	0,695	0,799	0,611

Fonte: Adaptado IBGE, (2010).

A tabela evidencia um patamar de desenvolvimento humano municipal com certa homogeneidade entre todos os municípios do sertão de Pernambuco, no entanto configuram baixo a moderado, isso reflete os resultados apresentados anteriormente. O IDHM varia de 0,573 (Carnaubeira da Penha) a 0,697 (Petrolina), indicando uma hierarquia clara em que polos regionais tendem a concentrar melhores resultados, sendo Salgueiro também em posição superior, IDHM 0,669. Essa relação com os resíduos sólidos, os resultados deixam claro que regiões com menores índices de IDHM são também as menos favorecidas com saneamento adequado, tornando-se um ponto de destaque para a gestão pública competente.

5 CONCLUSÃO

A metodologia utilizada na pesquisa se mostrou eficiente e eficaz na apresentação dos resultados, a qual relaciona informações públicas e disponíveis com técnicas multivariadas, podendo relacionar diferentes parâmetros incluídos em municípios distintos com características e condições econômicas específicas.

O estudo comprovou que a vulnerabilidade ambiental no manejo de resíduos sólidos em Pernambuco é resultado da interação entre condições sociais, infraestrutura de saneamento e perfil de geração de resíduos, confirmando que **a problemática não é apenas técnica, mas estrutural e socioeconômica.**

Portanto, medidas devem ser tomadas a fim de erradicar a vulnerabilidade dessas áreas, essas medidas dizem respeito à efetivação de políticas diferenciadas por perfil municipal, reconhecendo que



a vulnerabilidade ambiental é multifatorial; Integração entre saneamento e gestão de resíduos, uma vez que déficits de esgoto e abastecimento impactam diretamente na forma como os resíduos são manejados; Incentivo a consórcios intermunicipais, especialmente para municípios menores e mais vulneráveis, que carecem de escala e recursos próprios para implantar aterros e sistemas de coleta seletiva; Foco em educação ambiental e inclusão social, sobretudo em áreas críticas, para reduzir a prática da queima de resíduos e valorizar materiais recicláveis.



REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024 (ano-base 2023). São Paulo: ABRELPE, 2024.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 jan. 2022.

CIPRIANO, A. P. Z.; LACAVA, P. M. Caracterização do resíduo sólido urbano da estância turística de São Luiz do Paraitinga, SP. Rev. Biociên., v.10, n.3, p.115-120, 2004.

FURLAN, A. G.; ANDRADE, M. F.; ZANETTI, R. Aplicação de análise multivariada em estudos de saneamento ambiental. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 28, n. 2, p. 315-327, 2023.

MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, L. et al. Multivariate analysis for waste management planning in Latin American regions. Waste Management, v. 101, p. 200-210, 2020.

MOURA, R. N. et al. Técnicas multivariadas na avaliação de indicadores de resíduos sólidos no Brasil. Revista Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 6, n. 2, p. 55-68, 2021.

SEPLAG – Secretaria de Planejamento e Gestão de Pernambuco. Cadernos Regionais das Regiões de Desenvolvimento. Recife: SEPLAG, 2018.

UNEP; ISWA – United Nations Environment Programme; International Solid Waste Association. Global Waste Management Outlook 2024. Nairobi: UNEP, 2024.

