

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JULIA EMANUELE OLIVEIRA SPIES

RESÍDUOS SÓLIDOS E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO NO PARANÁ: UMA
ANÁLISE ESPACIAL

Curitiba

2024

JULIA EMANUELE OLIVEIRA SPIES

RESÍDUOS SÓLIDOS E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO NO PARANÁ: UMA
ANÁLISE ESPACIAL

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador(a): Profa. Dra. Terciane Sabadini Carvalho

Curitiba

2024

TERMO DE APROVAÇÃO

JULIA EMANUELE OLIVEIRA SPIES

RESÍDUOS SÓLIDOS E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO NO PARANÁ: UMA ANÁLISE ESPACIAL

Monografia aprovada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Terciane Sabadini Carvalho

Orientador – Departamento de Economia - UFPR

Prof. Kênia Barreiro de Souza

Departamento de Economia - UFPR

Prof. Vinicius de Almeida Vale

Departamento de Economia – UFPR

Curitiba, 21 de junho de 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de cursar Economia na UFPR e ter cuidado de mim em cada etapa do curso.

À minha mãe, Alessandra, que nunca mediu esforços para me ver bem e feliz e financiou toda a minha educação.

À professora Terciane, pela orientação, paciência e incentivo na realização deste estudo. E por me inspirar a querer trabalhar na área da economia do meio ambiente e análise espacial.

Ao meu pai, avós e irmão que sempre incentivaram meus estudos e foram compreensíveis quando precisei me ausentar.

Ao meu noivo, Lorenzo, que foi meu apoio emocional para passar pelos momentos de provas avaliativas e conclusão desta monografia.

Aos meus amigos queridos, em especial aqueles que fiz durante a faculdade, que sempre me ajudaram quando eu precisei, seja nos estudos ou com palavras de apoio para realizar este trabalho.

Aos professores do departamento de Economia com quem tive a oportunidade de ter aula, que sempre se mostraram, sem exceção, dispostos a ensinar.

RESUMO

O crescimento econômico e populacional, e consequentemente, a industrialização e a urbanização intensificou a geração de resíduos sólidos no Brasil e no mundo. Esta produção de resíduos, que é uma externalidade gerada pela atividade econômica, e a sua má gestão culmina em degradação ambiental, afetando os compartimentos do solo, ar e água, e desencadeando problemas de saúde pública, alterações climáticas e declínio da biodiversidade. Desta maneira, estudos sobre esta problemática ganharam relevância no campo da economia, e por isso, esta monografia busca contribuir com a discussão deste tema. O principal objetivo é analisar a distribuição espacial da produção de resíduos sólidos nos municípios do Paraná, assim como a correlação dessa produção com indicadores de desenvolvimento econômico no espaço. Para isso, é realizada uma Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) por meio da construção de indicadores estatísticos, como o I de Moran univariado para identificar padrões de concentração ou dispersão espacial da produção de resíduos sólidos nos municípios do Paraná para o ano de 2021. Além disso, são construídos indicadores I de Moran bivariados para verificar a existência de autocorrelação espacial entre a produção de resíduos sólidos e variáveis socioeconômicas, como o Produto Interno Bruto (PIB) municipal e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) municipal. Os principais resultados mostram que há uma concentração da produção de lixo, ou seja, regiões que são grandes (pequenas) produtoras de lixo são rodeadas por outras regiões que também produzem muito (pouco) lixo. Já os resultados bivariados indicam localmente que regiões com alto (baixo) IDH parecem influenciar na baixa (alta) produção de lixo dos vizinhos.

Palavras-chave: resíduos sólidos; lixo; análise exploratória de dados espaciais, I de Moran; Paraná.

ABSTRACT

The economic and population growth, and consequently, the industrialization and urbanization, have intensified the generation of solid waste in Brazil and around the world. This waste production, which is an externality generated by economic activity, and its poor management culminates in environmental degradation, affecting the compartments of soil, air, and water, and triggering public health problems, climate change, and a decline in biodiversity. Therefore, studies on this issue have gained relevance in the field of economics, and for this reason, this monograph aims to contribute to the discussion of this topic. The main objective is to analyze the spatial distribution of solid waste production in the municipalities of Paraná, as well as the correlation of this production with economic development indicators in space. For this, an Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) is performed through the construction of statistical indicators, such as the univariate Moran's I to identify patterns of spatial concentration or dispersion of solid waste production in the municipalities of Paraná for the year 2021. Additionally, bivariate Moran's I indicators are constructed to verify the existence of spatial autocorrelation between solid waste production and socioeconomic variables, such as municipal Gross Domestic Product (GDP) and municipal Human Development Index (HDI). The main results show that there is a concentration of waste production, that means, regions that are large (small) waste producers are surrounded by other regions that also produce a lot (little) waste. The bivariate results locally indicate that regions with high (low) HDI seem to influence the low (high) waste production of their neighbors.

Key words: solid waste; garbage; exploratory analysis of spatial data; Moran's I ; Paraná.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MATRIZES DE CONTIGUIDADE	26
FIGURA 2 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DE MORAN.....	29
FIGURA 3 – MAPA DE QUANTIL DA PRODUÇÃO DE LIXO PER CAPITA EM KG/ANO	34
FIGURA 4 – MAPA DE QUANTIL DO PIB MUNICIPAL PER CAPITA	34
FIGURA 5 – MAPA DE QUANTIL DO IDH MUNICIPAL	35
FIGURA 6 – BOX MAP DA PRODUÇÃO DE LIXO PER CAPITA EM KG/ANO	36
FIGURA 7 – BOX MAP DO PIB MUNICIPAL PER CAPITA.....	36
FIGURA 8 – BOX MAP DO IDH MUNICIPAL.....	37
FIGURA 9 – DIAGRAMAS DE DISPERSÃO UNIVARIADOS	38
FIGURA 10 – LISA UNIVARIADO DE PRODUÇÃO DE LIXO PER CAPITA EM KG/ANO	39
FIGURA 11 – LISA UNIVARIADO DE PIB MUNICIPAL PER CAPITA	40
FIGURA 12 – LISA UNIVARIADO DE IDH MUNICIPAL	41
FIGURA 13 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO E LISA PARA PIB MUNICIPAL PER CAPITA E PRODUÇÃO DE LIXO PER CAPITA EM KG/ANO	43
FIGURA 14 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO E LISA PARA IDH MUNICIPAL E PRODUÇÃO DE LIXO PER CAPITA EM KG/ANO	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	11
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS E SUAS EXTERNALIDADES	11
2.2	ECONOMIA E PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO PARANÁ.....	16
3	REVISÃO DE LITERATURA EMPÍRICA	20
4	METODOLOGIA.....	25
4.1	MATRIZ DE PONDERAÇÃO ESPACIAL (W).....	25
4.1.1	Contiguidade	25
4.2	I DE MORAN GLOBAL UNIVARIADO	26
4.3	I DE MORAN GLOBAL BIVARIADO	30
4.4	I DE MORAN LOCAL UNIVARIADO	31
4.5	I DE MORAN LOCAL BIVARIADO.....	32
4.6	BASE DE DADOS	33
4.6.1	Descrição de dados.....	33
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	38
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

Quando os resíduos sólidos gerados pela produção de bens e serviços advindos da produção e consumo humano não são bem geridos, eles ocasionam uma degradação do meio ambiente, pois percorrem vários caminhos, até se instalarem no solo, no ar e/ou na água. Por consequência, problemas relacionados à saúde, mudança climática, redução de biodiversidade, degradação do solo, deterioração estética das cidades entre outros fatores acometem o bem-estar da população mundial, o que indica que o lixo pode ser considerado uma externalidade negativa (LA ROVERE, 1990).

Nas ciências econômicas, externalidade é o efeito da atividade de um indivíduo ou firma sobre outro, não captado pelo preço de mercado, ou seja, é um tipo de falha de mercado. É negativa se causa perdas à outra parte (a ação de uma das partes impõe custos à outra), e por não refletirem os preços de mercado, pode se tornar uma causa de ineficiência econômica (MANKIW, 2001).

Os resíduos sólidos podem ser encontrados no estado sólido, ou semissólido, ou podem ser gases contidos em recipientes ou líquidos que não podem ser lançados na rede pública de esgoto ou em corpos d'água. Já quanto a sua origem, podem ser classificados como advindos de residências urbanas, de limpeza urbana, de residências comerciais, da rede pública de saneamento, das indústrias, dos serviços de saúde, da construção civil, da agropecuária e silvicultura, de serviços de transportes e de mineração (POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2010).

No Brasil, a geração total de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) chegou a mais de 82 milhões de toneladas em 2018, mas somente cerca de 37 milhões de toneladas eram de resíduos orgânicos, em que 127.498 toneladas foram destinadas à compostagem, enquanto o restante da matéria orgânica foi designado aos aterros sanitários, lixões e aterros controlados (PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2022).

A industrialização e a urbanização foram um dos motivos da intensificação da poluição e de seus impactos negativos, principalmente em países de baixa e média renda. Por isso, apesar do grande benefício financeiro visto por grandes corporações de manterem o padrão de produção, os cofres públicos e os cidadãos sentem as consequências das externalidades negativas dos resíduos gerados pela produção em massa (BANCO MUNDIAL, 2023).

De acordo com estudo de Fuller et al. (2022), a poluição tem consequências danosas à saúde e teria sido responsável por uma estimativa de 9 milhões de mortes¹ (16% de todas as mortes no mundo), além de causar uma perda econômica de US\$4,6 trilhões (6,2% da economia global) em 2015.

Para o ano de 2019, os mesmos pesquisadores relataram que das 9 milhões de mortes prematuras ocorridas devido à poluição, 6,7 milhões proviam da poluição do ar e 1,4 milhões da poluição da água. Cabe ao governo, às grandes organizações mundiais e ao setor privado trabalharem juntos na gestão correta dos resíduos sólidos para combater os efeitos nocivos da poluição sobre a saúde e o capital humano (FULLER et al, 2022).

Para combater as implicações prejudiciais da poluição, a Organização das Nações Unidas em 2015 lançou 17 objetivos de desenvolvimento sustentável, dentre os quais “água potável e saneamento”, “consumo e produção responsáveis” e “vida na água”. Estes três objetivos, possuem como metas, reduzir a poluição por meio do aumento da reciclagem e redução de resíduos; de uma gestão sustentável dos recursos naturais através da diminuição do desperdício de alimentos, da redução da liberação de produtos químicos e qualquer outro tipo de resíduo no ar, água e solo, além de reduzir a poluição marinha advinda de atividades terrestres (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2024).

Neste contexto, esta monografia tem como objetivo principal realizar uma Análise Exploratória de Dados Espaciais da disposição dos resíduos sólidos per capita para os municípios do Paraná, devido a sua importância econômica, e sua relação com o PIB municipal per capita e o IDH municipal para o ano de 2021. Especificamente, pretende-se avaliar o padrão espacial da produção de resíduos sólidos, identificando a existência de dependência ou dissociação. Também pretende-se avaliar a relação espacial entre indicadores de desenvolvimento humano e econômico com a produção de resíduos sólidos nos municípios vizinhos.

O estado do Paraná foi a quinta maior economia do Brasil em 2021, com um PIB de R\$ 549.973 bilhões, e com um PIB per capita de R\$47.421,76, acima do brasileiro (R\$42.247,52), segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além disso, de acordo com o Programas das Nações Unidas para o

¹ Advindas principalmente da poluição da água, do ar e do chumbo.

Desenvolvimento – PNUD (2024) foi um dos estados com maior IDH com 0,769 em 2021, também acima do IDH brasileiro (0,754).

O Paraná, de acordo com o Censo Demográfico, em 2022, coletou 94,42% do lixo de domicílios particulares permanentes ocupados, acima da taxa de coleta brasileira, que é de 91,71%. Contudo, dentro do estado existem municípios que apresentaram um baixo nível de coleta, como Doutor Ulysses e Nova Laranjeiras, com apenas 32,08% e 35,7%, respectivamente (IBGE, 2022). Vale ressaltar que estes municípios, segundo o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (2010), apresentaram baixo IDH em 2010, com Doutor Ulysses ocupando a última posição do ranking (399º) e Nova Laranjeiras o 367º lugar.

Para uma melhor compreensão da temática deste estudo, além desta introdução, esta monografia possui mais cinco seções. A seção 2 aborda os resíduos sólidos como uma externalidade, assim como apresenta informações relacionadas ao lixo e a economia paranaense. A seção 3 apresenta alguns estudos que também avaliaram a relação dos resíduos sólidos com o crescimento e o desenvolvimento econômico. A seção 4 discorre sobre a metodologia e os dados utilizados. A seção 5 apresenta e discute os resultados obtidos. E por fim, tem-se as considerações finais.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O aumento da população e sua expectativa de vida, junto com o rápido processo de urbanização e o avanço no consumo de novas tecnologias, resultam na geração de grandes volumes de resíduos sólidos. A má gestão e o descarte inadequado desses resíduos resultam em impactos socioambientais, como degradação do solo, poluição de corpos d'água, aumento de enchentes, poluição do ar, assoreamento de cursos d'água, obstrução de bueiros, além de danos a áreas verdes e riscos à saúde pública devido à propagação de vetores de doenças nas áreas urbanas (BESEN E JACOBI, 2011).

A decomposição, por exemplo, de matéria orgânica, destinada em aterros sanitários, ao invés de composteiras, como deveria ser feito de acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2010) emite gases de efeito estufa e contribui para o aquecimento global e as mudanças climáticas (BESEN E JACOBI, 2011).

Portanto, a seguir, será discutido algumas dessas implicações negativas do lixo no âmbito da saúde, meio ambiente e economia, apresentando também um panorama da economia do Paraná e dos resíduos sólidos no estado.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS E SUAS EXTERNALIDADES

A falta de serviços de saneamento adequados (tratamento de água, esgoto e coleta de lixo), o adensamento populacional e as condições habitacionais precárias contribuem para o surgimento das Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI), as quais estão diretamente ligadas à degradação do meio ambiente (LANDAU E MOURA, 2016).

Em relação a coleta de lixo, o aterro sanitário, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), é o local onde o resíduo sólido que não pode ser reutilizado ou reciclado deve ser depositado. Contudo, não é isto que é observado no país. A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2022) afirma que de um total aproximado de 81,8 milhões de toneladas geradas de resíduos sólidos, apenas 61% dos resíduos sólidos coletados foram destinados aos aterros sanitários, o que equivale a 46,4 milhões de toneladas. Por outro lado, 29,7 milhões de toneladas (39%) foram destinados de forma inadequada, dispostos, por exemplo,

em lixões e aterros controlados. Estes 39%, entretanto, são suficientes para agravar a saúde da população.

Os lugares onde há descarte inadequado de resíduos sólidos criam condições propícias para a proliferação de agentes transmissores de doenças, como ratos, baratas, mosquitos e moscas, que encontram ali um ambiente favorável para se reproduzirem, além de causarem poluição das águas superficiais e subterrâneas, do solo e do ar, principalmente devido à incineração dos resíduos. Algumas das doenças incluem febre tifoide, cólera, disenteria, leishmaniose, febre amarela, dengue, malária, leptospirose e tétano (BELÉM E GOMES, 2021; LANDAU E MOURA, 2016).

A Biblioteca Virtual da Saúde (2011) também cita algumas consequências diretas ou indiretas que os resíduos sólidos podem causar. A poluição do ar é uma delas, já que a queima de plásticos, borrachas e espumas produzem gases tóxicos que podem causar dores de cabeça, náuseas e distúrbios respiratórios. Doenças como hepatite e de verminoses podem atingir pessoas quando o lixo é descartado em rios, lagos e córregos, devido a proliferação de microrganismos. Por último, o solo também pode ser prejudicado quando resíduos são descartados em ambientes inadequados, já que a decomposição do lixo pode contaminar lençóis freáticos.

Para os cofres públicos, os gastos federais no período de 1996 a 2000 com internações e programas de controle de Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI)² ultrapassaram a marca de R\$ 1,2 bilhão. Houve uma tendência de aumento desses gastos da ordem de 23% entre 1996 e 2000. (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2010).

Além da saúde, quando os resíduos sólidos não são corretamente manejados, a fauna e a flora também são prejudicadas. Os resíduos comuns do dia a dia, como restos de alimentos e materiais recicláveis e outros tipos de lixo podem representar sérios riscos ambientais devido à presença de elementos químicos iônicos que são absorvidos pelos organismos. Por exemplo, pilhas e baterias contêm níquel e cádmio, que são liberados no ambiente; lâmpadas contêm mercúrio, metal pesado que pode contaminar o solo e a água; pastilhas de freio possuem amianto, que pode afetar a saúde pulmonar; adubos químicos são ricos em fósforo, e embalagens de agrotóxicos e produtos veterinários também são preocupantes, além de dejetos de suínos e aves (DAROLT, 2008).

² Enfermidades relacionadas à água, excreta e lixo.

Outros autores também abordam os efeitos danosos que o lixo pode gerar no meio ambiente. Gouveia (1999) destaca que em muitos aterros sanitários, o chorume (líquido tóxico resultante da decomposição orgânica de resíduos) não recebe tratamento apropriado. Isso pode resultar na contaminação do solo e das fontes subterrâneas de água, enquanto os gases gerados durante o processo de decomposição são liberados no meio ambiente sem controle.

Roversi (2013) destaca que em relação à poluição hídrica causada pelos resíduos sólidos rurais ela pode ser provocada por produtos químicos, como minérios, organismos patogênicos, oriundos de matérias orgânicas e alterações físicas decorrentes de processos térmicos ou dos próprios resíduos. O autor ressalta que a qualidade da água tem sido significativamente prejudicada tanto em áreas urbanas quanto rurais, exigindo esforços coletivos para proteger e preservar esse recurso natural.

Já Deboni e Pinheiro (2010) afirmam que os resíduos sólidos do meio rural podem contaminar o solo, levando à poluição das águas, bem como causar poluição do ar quando queimados de forma inadequada, além de poluição visual quando descartados de maneira imprópria.

Ainda sobre as consequências negativas da poluição, pode-se discutir sobre o lixo marinho, e em especial os microplásticos. Neves (2013) se refere a lixo marinho como a qualquer material sólido processado ou fabricado que é descartado, abandonado e eventualmente transportado para o meio costeiro ou marinho. Isso inclui itens produzidos ou utilizados por pessoas que são intencionalmente ou acidentalmente descartados no mar, rios ou praias, bem como aqueles que chegam ao mar indiretamente através de rios, esgotos, águas pluviais ou vento. Além disso, desastres naturais como furacões e tsunamis também podem ser fontes de lixo marinho.

A poluição marinha, especialmente o problema dos microplásticos, é um tema crítico. A maior parte desse lixo, cerca de 80%, origina-se de atividades terrestres como aterros, rios e emissões industriais, enquanto os restantes 20% vêm de atividades no mar, incluindo transporte marítimo e pesca.

O lixo marinho, devido à sua capacidade de flutuação e persistência, pode ser encontrado em locais remotos, sendo transportado por ventos, ondas e correntes oceânicas. Isso resulta em altas concentrações de resíduos em áreas específicas dos oceanos. Esse deslocamento leva a impactos devastadores na vida marinha, como

aprisionamento e ingestão de resíduos, que causam ferimentos, infecções e morte de diversas espécies marinhas seja por emaranhamento ou por asfixia e estrangulamento, por causa de acidentes, curiosidade do animal sobre o lixo e utilização destes como abrigo. A presença de lixo afeta também as habilidades vitais dos animais, como natação e alimentação, comprometendo sua sobrevivência e reprodução (NEVES, 2013).

Além disso, a fragmentação de resíduos plásticos em microplásticos agrava o problema, tornando a remoção dessas partículas do ambiente ainda mais difícil. Este processo de fragmentação ocorre através de abrasão, oxidação térmica e fotoxidação no mar, e ação dos ventos e ondas na praia. Os microplásticos representam uma ameaça significativa devido à sua persistência e onipresença no ambiente marinho, aumentando os riscos para a fauna marinha e potencialmente entrando na cadeia alimentar humana (PETERSEN, 2020; NEVES, 2013).

O lançamento dos esgotos tratados nos oceanos também é uma fonte significativa de microplásticos no ambiente marinho, uma vez que as Estações de Tratamento de Esgotos não conseguem eliminar essas minúsculas partículas originárias de produtos de higiene pessoal, como pastas de dentes e esfoliantes corporais e faciais, além das partículas liberadas pelas roupas durante o processo de lavagem (BROWNE et al., 2011).

Pinheiro, Oliveira e Vieira (2017) afirmam que os plásticos têm uma capacidade significativa de absorver compostos tóxicos presentes nas moléculas da água. Quando essas partículas são ingeridas por peixes, estes ficam automaticamente contaminados pelos mesmos poluentes. Alguns tipos de contaminantes não podem ser facilmente degradados e eliminados pelo organismo, acumulando-se e transferindo-se ao longo da cadeia alimentar.

Agora, olhando para os países que mais produzem lixo, um estudo realizado pelo Banco Mundial relatou que em 2016, a estimativa de lixo³ produzido no mundo foi de 2,01 bilhões de toneladas e acrescenta que os países da Ásia Oriental e Pacífico, Europa e Ásia Central são responsáveis por 43% dos resíduos mundiais. Por outro lado, as regiões do Oriente Médio, Norte da África e África Subsaariana produzem a menor quantidade de resíduos, representando 15% do lixo global (BANCO MUNDIAL, 2018).

³ Resíduos sólidos residenciais e comerciais, excluídos os industriais.

Em termos absolutos, a Ásia Oriental e Pacífico lideram, gerando uma estimativa de 468 milhões de toneladas em 2016, enquanto o Oriente Médio e o Norte da África são os que menos geram, com 129 milhões de toneladas. Já a América Latina e o Caribe correspondem a 11% do total, em valores absolutos foi responsável por 231 milhões de toneladas.

Apesar de representarem apenas 16% da população mundial, os países de alta renda são responsáveis por 34% dos resíduos globais, totalizando 683 milhões de toneladas. Por outro lado, os países de baixa renda, que representam 9% da população mundial, produzem apenas cerca de 5% dos resíduos globais, equivalente a 93 milhões de toneladas.

Na região da América do Norte, há três países de alta renda, Bermudas, Canadá e Estados Unidos, que lideram em termos de quantidade média de resíduos per capita, produzindo 2,21 kg por dia. Em contraste, três regiões com uma proporção significativa de nações de baixa e média renda geram a menor quantidade de resíduos per capita: a média da África Subsaariana é de 0,46 Kg/dia, o Sul da Ásia produz 0,52 Kg/dia e o Leste Asiático e Pacífico geram 0,56 Kg/dia.

Vale ressaltar que a relação entre geração de resíduos e desenvolvimento econômico é geralmente positiva. Para mudanças incrementais de renda, observa-se que a geração de resíduos aumenta mais rapidamente em níveis de renda mais baixos do que em níveis mais altos.

Contudo, em países com renda mais baixa, a geração de resíduos per capita inicialmente diminui à medida que a renda cresce. Esse crescimento mais lento da geração de resíduos em níveis de renda mais altos pode ser atribuído à redução da demanda marginal por consumo, resultando em menor produção de resíduos. Para um maior entendimento, o relatório demonstra, por exemplo, que países de regiões de baixa renda que apresenta um PIB per capita de menos de U\$5.000,00, geram por habitante 0,43 Kg de lixo por dia, e países de alta renda, que possuem entre U\$40.000,00 e U\$45.000,00 de renda per capita, produzem 1,57 Kg/ano por pessoa.

Por outro lado, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em parceria com a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA), apresentou em relatório, que em 2020 a produção de lixo mundial equivalia a 2,126

bilhões de toneladas, e que do total desse lixo produzido, 38% não era coletado⁴, 19% do restante coletado foi reciclado, 13% dos resíduos foram utilizados para produção de energia e 30% foi destinado para aterros.

A gestão de resíduos sólidos varia significativamente entre as regiões. Na África Subsaariana e na Ásia Central e Meridional, os níveis de controle de resíduos são mais baixos, enquanto na América do Norte e na Europa Ocidental, quase todos os resíduos são direcionados para áreas controladas⁵. Além disso, a América do Norte depende principalmente do descarte em aterros sanitários, enquanto na Europa Ocidental as taxas de reciclagem são mais altas e a conversão de resíduos em energia é o método predominante para a eliminação de resíduos sólidos urbanos. Enquanto isso, em torno de 35% dos resíduos da América do Sul não são coletados, 65% são destinados à aterros, 5% à reciclagem e nada é usado como fonte de geração de energia (PNUMA, 2024).

2.2 ECONOMIA E PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO PARANÁ

Dados mais recentes do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES) apontam que o estado do Paraná representou a quinta maior economia do Brasil em 2021, abrigando cerca de 5% da população nacional. Sua economia é predominantemente agroindustrial, destacando-se na produção de grãos como soja, milho e trigo, além de atividades subsequentes que agregam valor, como a produção de óleos vegetais, laticínios e proteínas animais, com ênfase na produção avícola. O estado também possui uma significativa atividade industrial, abrangendo desde a produção de bens de consumo não duráveis e insumos (como madeira, papel, celulose e petroquímicos), até bens duráveis, como automóveis, e bens de capital, como tratores, caminhões e maquinários (IPARDES, 19 abr. 2024).

Parte significativa da produção paranaense é destinada ao mercado internacional, com destaque para produtos do complexo soja, carnes e automóveis. Este perfil econômico diversificado tem assegurado ao Paraná uma posição constante entre os dez principais estados exportadores do Brasil (IPARDES, 19 abr. 2024).

⁴ Não coletado e, portanto, despejado ou queimado ou coletado e posteriormente despejado ou queimado.

⁵ Coletado e depois reciclado ou descartado em uma instalação controlada.

O Produto Interno Bruto (PIB) do Estado do Paraná teve participação de 6,31% no produto da economia brasileira em 2019, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Nesse mesmo ano, a participação estadual da agropecuária ficou em torno de 8,47% do valor bruto de produção do Paraná. Enquanto a indústria correspondeu a 26,08%, o setor de comércio e serviços correspondeu com um pouco mais que 51% e a administração pública participou de 13,57% do PIB total (IPARDES, 19 abr. 2024).

Ainda no ano de 2019, o Paraná era o segundo maior produtor de grãos do país, ficando atrás do Mato Grosso. Estes grãos correspondiam aos de amendoim, arroz, aveia, centeio, cevada, ervilha, fava, feijão, girassol, milho, soja, trigo e triticale. No quesito da pecuária, em 2021, o Paraná foi o estado que mais abateu frangos, com mais de 2 milhões de aves (IPARDES, 19 abr. 2024).

Em relação à composição do valor da transformação industrial em 2019, os alimentos compunham 28,97% da indústria; os veículos automotores, 12,84%; derivados de petróleo e biocombustíveis, 10,96%; papel e celulose, 6,98%; produtos químicos, 5,41%; máquinas e equipamentos, 4,54% e outros, 30,30%. Em valores monetários, a junção de todos esses setores equivaleu a R\$80.325.000,00 (IPARDES, 19 abr. 2024).

Em 2021, o estado paranaense ficou com saldo positivo na balança comercial, exportando mais de 19 milhões de dólares em produtos como complexo de soja (33,4%), complexo de carnes (17,4%), madeiras e manufaturas de madeira (9,7%), material de transporte e componentes (8,4%), papel e celulose (6,3%), açúcar (4,7%), produtos químicos (3,7%) e máquinas, aparelhos e instrumentos mecânicos (3%) para países como China, Estados Unidos, Argentina, México, Países Baixos, Paraguai, Chile e Coreia do Sul (IPARDES, 19 abr. 2024).

No que tange aos resíduos sólidos, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná divide os resíduos de acordo com sua origem, podendo ser agrossilvopastoris, de construção civil, indústrias, serviços de transporte, mineração, saneamento básico, serviços de saúde e urbanos (PERS, 2018).

Em 2017, 3,47 milhões de toneladas foram geradas de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Paraná. Em cidades com faixa populacional acima de 200.001 habitantes, 37% do lixo era de materiais recicláveis, 40% de matéria orgânica e o restante de rejeitos. No que se refere a coleta, 100% dos municípios realizavam coleta em áreas urbanas e 72% realizavam algum tipo de coleta na área rural, além do mais,

74% dos municípios realizavam algum tipo de iniciativa de coleta seletiva para recicláveis. Contudo, apenas 12% dos municípios implementavam a compostagem e 40% dispunham de forma inadequada os RSU (PERS, 2018).

Os resíduos sólidos industriais gerados por 7.700 empreendimentos foi de 24.574.858 de toneladas em 2016. A indústria que mais produziu lixo foi a têxtil, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos, correspondendo a 18,2%, seguido de indústria diversas (13,2%), metalúrgica (11,5%), alimentos (10,1%), beneficiamento de minerais não metálicos (9,8%), fabricação de máquinas e equipamentos (6,8%), produtos de matéria plástica (5,4%), indústria de madeira (4,9%) e demais atividades (20,2%) (PERS, 2018).

Os resíduos sólidos agrossilvopastoris são classificados em resíduos da agricultura, silvicultura e pecuária. Anualmente, a agricultura gera 47 milhões de toneladas de resíduos orgânicos, com a cana-de-açúcar contribuindo com 46% e a soja com 25%. A silvicultura produz 6,5 milhões de m³ de resíduos, e a pecuária gera 100 milhões de toneladas, principalmente de bovinos de corte (67%). Os resíduos pecuários são incorporados ao solo ou usados em biodigestores (PERS, 2018).

Já os resíduos inorgânicos incluem embalagens de defensivos agrícolas, sementes, fertilizantes e insumos pecuários, como embalagens de medicamentos e perfurocortantes. Mais de 90% das embalagens de agrotóxicos são eficientemente geridas pelo Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (inpEV), mas os demais resíduos inorgânicos carecem de sistemas adequados de logística reversa ou descarte (PERS, 2018).

Os resíduos sólidos provenientes dos serviços de saneamento básico incluem aqueles gerados pelas atividades de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem pluvial urbana. Anualmente, são produzidas 20 mil toneladas de matéria seca de lodo nas estações de tratamento de água, enquanto as estações de tratamento de esgoto (ETE) geram 23 mil toneladas por ano. Outros resíduos, como espuma e sólidos grosseiros, somam aproximadamente 25 mil m³ anuais. Os resíduos das ETEs são destinados a aterros sanitários (36%), uso agrícola (33%) e biodigestão (31%) (PERS, 2018).

A respeito dos resíduos sólidos dos serviços de saúde, 26 mil toneladas de lixo são geradas anualmente, dos quais 50% vem de 499 hospitais, 19% de 4 mil estabelecimentos municipais (UBS, UPA, ambulatórios e clínicas especializadas, consultórios médicos, farmácias municipais, entre outros), 30% de 60 mil

estabelecimentos de prestação de serviços à saúde humana (clínicas médicas, consultórios médicos, farmácias e drogarias, funerárias, laboratórios, consultórios odontológicos, policlínicas, IML e hemocentros). Já os 1,5 mil estabelecimentos veterinários correspondem a 1% da geração de resíduos sólidos (PERS, 2018).

3 REVISÃO DE LITERATURA EMPÍRICA

Várias pesquisas têm como propósito determinar a quantidade de lixo sólido gerado em diferentes regiões, assim como os fatores que influenciam sua produção. Isso visa facilitar o desenvolvimento de sistemas de gestão eficazes e sustentáveis, promovendo a diminuição dos resíduos. Nesse contexto, é relevante destacar algumas análises feitas no Brasil e no mundo.

Em uma pesquisa de Bayer, Uranga e Fochezatto (2018) feita no Rio Grande do Sul para o ano de 2014, foi realizada uma Análise Exploratória de Dados Espaciais para entender a disposição espacial da geração de resíduos sólidos per capita de 398 municípios gaúchos. Procuraram descobrir a relação entre os resíduos sólidos (domiciliares e públicos) com as seguintes variáveis: percentual da população feminina, percentual da população com idade de até dois anos, percentual da população com idade superior a 60 anos, índice de educação, PIB per capita, taxa de urbanização e percentual de empregos em hotéis e similares.

Para todas as variáveis, os resultados foram significativos, menos o índice de educação. Constataram que quanto maior o PIB per capita, maior era a produção de resíduos sólidos urbanos, esta mesma relação se repetiu para a variável taxa de urbanização, percentual de população feminina, percentual de população com idade de até dois anos e taxa de empregos em hotéis. Apenas o percentual de população com idade superior a 60 anos que possuiu uma relação negativa. E ao usarem o LISA Bivariado na pesquisa, descobriram que na região do litoral norte existia clusters Alto-Alto, com um número alto de empregos em hotéis e similares nos municípios cercados por vizinhos com grande produção de lixo. Já no litoral norte, a pesquisa mostrou que havia clusters Baixo-Alto, ou seja, é uma região que possui cidades com baixo PIB per capita vizinhas de outras cidades com alta produção de resíduos.

Rossato, Lima e Lírio (2010) também desempenharam um estudo sobre o Rio Grande do Sul, e buscaram compreender como a atividade econômica e o índice de desenvolvimento econômico se relacionam com índices de qualidade ambiental em 452 municípios do estado no período do ano 2000. Em resumo, o apuramento dos dados relatou que os níveis de atividade econômica mais intensa ocasionaram uma menor qualidade ambiental, usando as seguintes variáveis em um modelo de regressão linear multivariada: índice de saneamento, índice de potencial poluidor da indústria e percentual de cobertura florestal (variáveis dependentes); taxa de

urbanização, renda per capita, produto interno bruto industrial e produto interno bruto da agropecuária (variáveis independentes). À exemplo, evidencia-se que quanto maior o PIB industrial, maiores são as chances da água, solo e ar estarem poluídos.

O estudo também construiu o Índice de Qualidade Ambiental (IQA) que usou as variáveis dependentes acima apresentadas, além do percentual de residências particulares permanentes que jogam resíduos em terrenos baldios ou em locais públicos e o percentual de residências particulares permanentes que queimam o lixo em seus domicílios. Os resultados demonstram que o estado gaúcho possui um IQA médio de 0,55, ou seja, a qualidade ambiental está 45 pontos percentuais abaixo de 100%.

Um Índice de Desenvolvimento Humano-Ambiental (IDH-A) foi criado para integrar dimensões ambientais ao IDH tradicional, mostrando uma média de 0,25, consideravelmente menor quando comparado ao IDH sem considerar a qualidade ambiental.

A Análise Exploratória de Dados Espaciais indicou que a maioria dos municípios apresentava baixa qualidade ambiental. Os municípios de maior renda per capita e seus vizinhos geralmente apresentavam uma qualidade ambiental mais baixa, enquanto aqueles com menor renda tendiam a ter uma qualidade ambiental melhor.

Para Minas Gerais, Pereira et al (2020) buscaram entender a dinâmica entre região central e periferia da região metropolitana de Belo Horizonte de acordo com suas características estruturais, econômicas, sociais e ambientais através do Índice de Moran para 34 municípios para o ano de 2010. Os indicadores aplicados foram separados em 2 esferas: social e ambiental.

No quesito ambiental, as variáveis eram: a razão entre os domicílios particulares permanentes por tipo de saneamento (instalação sanitária e abastecimento de água) pelo total de domicílios permanentes; porcentagem de domicílios particulares permanentes com lixo coletado sobre o total de domicílios; porcentagem de domicílios particulares permanentes com lixo queimado (na propriedade) sobre o total de domicílios e porcentagem de domicílios particulares permanentes com lixo enterrado (na propriedade) sobre o total de domicílios.

Ao se analisar os clusters por quantis dos índices ambientais no quesito coleta do lixo percebe-se que a capital e seus vizinhos se encontram no melhor quantil, enquanto os municípios mais afastados estão no pior quantil.

A presença de correlação espacial entre os indicadores de lixo queimado e lixo enterrado com a formação de clusters de lixo queimado e enterrado nas extremidades norte e sul da região metropolitana foi exposta pelos autores do estudo, provando a necessidade de se encaminhar recursos para coleta e destinação final correta dos resíduos, com o intuito de diminuir a ameaça de poluição dos rios, solo e ar.

Nunes (2013) utiliza os mesmos indicadores ambientais usados na pesquisa de Minas Gerais, porém com dados das regiões do norte e nordeste goiano para o ano de 2010 com o intuito de realizar uma Análise Exploratória de Dados Espaciais de indicadores de desenvolvimento socioambiental. Portanto, indicadores de âmbito social e econômico também foram aderidas ao estudo, são elas: taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais de idade sobre a população total por município, total de população urbana sobre a população total por município, índice de desenvolvimento humano municipal de longevidade e de renda (renda per capita média do município).

Foi averiguado, através de mapas de agrupamento de quantis, que o pior quantil de saneamento básico coincide em grande parte com municípios com baixa população urbana, apontando uma relação entre água e esgoto não tratados e domicílios rurais. A mesma situação é verificada nos mapas de quantis de destinos do lixo coletado, queimado e enterrado, ou seja, uma baixa taxa de coleta de lixo e uma alta taxa de resíduos queimados e enterrados foram associados com municípios de baixa taxa populacional em áreas urbanas.

Através do Box Map⁶ de destinos do lixo observa-se que o agrupamento de domicílios com baixa cobertura de coleta de lixo está localizado em municípios da Região Nordeste associados com clusters de alta incidência de lixo queimado. Já na região Norte, clusters com baixa cobertura de coleta de lixo se encontram nos mesmos municípios que clusters com a alta concentração de lixo enterrado.

Venson, Rodrigues e Câmara (2016) investigaram por meio da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) o acesso aos serviços de abastecimento de água, rede de esgoto e coleta de lixo para os anos de 2006 e 2013 para o Paraná. O índice de acesso a rede de água (razão entre famílias com acesso a rede de água e

⁶ Mapas que indicam observações atípicas, por exemplo, um município que possui uma cobertura de coleta de lixo muito inferior quando comparada com outros municípios da análise.

total de famílias na microrregião), índice de acesso a rede de esgoto (famílias com acesso a rede de esgoto e total de famílias na microrregião) e índice de acesso a coleta de lixo (famílias com acesso a coleta de lixo e total de famílias na microrregião) foram computados na pesquisa.

Contudo, antes de descreverem a distribuição espacial aos serviços de saneamento básico, os autores avaliaram o progresso dos indicadores supracitados por meio da média e do desvio padrão. O serviço de coleta de lixo foi o que conquistou o crescimento mais significativo no acesso médio dos municípios do estado. A redução do seu desvio padrão ao longo do período proposto pode inferir uma convergência entre os municípios ao acesso à coleta de lixo.

Os resultados da análise da distribuição espacial mostraram que a porcentagem de municípios com acesso ao serviço de coleta de lixo acima de 75% da população saltou de 52,63% em 2006 para 63,16% em 2013. No que tange ao acesso do esgotamento sanitário, houve uma alta concentração espacial, percebido pelos clusters do tipo Alto-Alto nas regiões ao redor dos municípios da capital curitibana e de Londrina, em função das economias de escala e densidade. Já nas localidades mais ao sul do estado percebe-se clusters do tipo Baixo-Baixo.

Em artigo de Agovino et al (2018), foi estudado o desempenho da gestão de resíduos em 103 províncias italianas para o período de 2004 e 2011 por meio da Análise Envoltória de Dados, que buscava entender e correlacionar a eficiência das ações dos governos locais e dos cidadãos através do Índice de Moran. Como variável de saída foram usados dados de resíduos urbanos coletados separadamente (plástico, papel, metal, vidro, orgânicos etc.) e resíduos urbanos recolhidos sem separação em porcentagem do total de resíduos urbanos.

O estudo relata os seguintes indicadores como variáveis proxy da ação institucional que influenciam a geração de resíduos: Índice de Qualidade Institucional (IQI); instituições locais e o valor adicionado per capita (VA). Foi apontado que nas regiões do sul da Itália, a coleta seletiva não funciona muito bem devido ao baixo VA e IQI. As variáveis como proxy da ação dos cidadãos, foram: densidade populacional, porcentagem de mulheres, taxa de desemprego e por último consumo per capita.

O método de Análise Envoltória de Dados concluiu que o norte da Itália possui uma elevada taxa de resíduos separados corretamente, e uma redução de resíduos não separados. Já a região central possui em ambos os casos uma elevação. Por fim, o sul italiano possui uma taxa baixa de resíduos separados corretamente e uma

concentração considerável de resíduos não separados corretamente. Um alto IQI⁷ aparentemente impacta positivamente a gestão dos resíduos nas províncias do norte, mas não é suficiente para o caso da área central.

O índice de Moran observou dois clusters com bom desempenho na gestão de resíduos por parte das instituições locais. As províncias do nordeste do país se fortaleceram ao longo do tempo, enquanto um cluster no Sul se enfraqueceu entre 2004 e 2011. Do ponto de vista da eficiência da gestão dos resíduos por parte dos cidadãos, os clusters apresentaram uma maior estabilidade no período analisado. Um processo de correlação espacial positiva para pontuações de eficiência foi confirmado. Ao longo prazo foi visto que quando as instituições locais e os cidadãos trabalham junto a gestão de resíduos é otimizada.

Considerando os estudos apresentados, é evidente que cada modelo procurou identificar diversas variáveis independentes para explicar a produção de resíduos sólidos, ou buscou entender os impactos do lixo na qualidade ambiental, ou procurou apresentar se havia uma dependência ou heterogeneidade espacial entre clusters, ou quis comprovar se quando o lixo não é coletado, ele é queimado ou enterrado, entre outros pontos que poderão auxiliar na discussão dos resultados que são encontrados neste estudo.

⁷ IQI se resume em cinco dimensões diferentes de qualidade nas províncias italianas: voz e responsabilização, eficácia governamental, qualidade regulamentar, Estado de direito e corrupção.

4 METODOLOGIA

Esta seção apresenta a metodologia adotada neste estudo, a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), cujo intuito é auxiliar na especificação de modelos econométrico-espaciais. Definida como um conjunto de técnicas, a AEDE visa retratar e visualizar distribuições espaciais, identificar *outliers* espaciais e padrões de associação espacial (clusters) (ANSELIN, 1999, citado por ALMEIDA, 2012).

A AEDE é empregada para determinar se os dados analisados seguem uma distribuição aleatória ou um padrão espacial específico. Inicialmente, testa-se a hipótese de aleatoriedade espacial, assumindo que os dados não dependem dos valores do atributo selecionado entre uma região e suas vizinhas. Este teste é conduzido por meio da construção de uma estatística de autocorrelação espacial utilizando variáveis espacialmente intensivas, evitando variáveis extensivas que poderiam gerar resultados enganosos. Utilizam-se medidas de autocovariância, variância e uma matriz de ponderação espacial (W) (ALMEIDA, 2012).

4.1 MATRIZ DE PONDERAÇÃO ESPACIAL (W)

Os cálculos da AEDE se iniciam primeiramente com uma matriz de ponderação espacial (W), que serve para estimar parâmetros que revelem o grau de interação espacial entre as variáveis selecionadas para a análise. Cada vínculo entre duas regiões é representado em uma célula desta matriz, denominada peso espacial (ALMEIDA, 2012).

Almeida (2012) acrescenta que uma matriz de ponderação espacial é uma matriz quadrada de dimensão n por n . Os pesos w_{ij} indicam a conexão entre regiões conforme um critério de proximidade, prevendo a interferência da região j sobre a região i . Assim, a matriz W pondera a influência que as regiões têm entre si.

Além do mais, as matrizes podem ser classificadas em matrizes geográficas de contiguidade ou distância geográfica ou em matrizes de distância socioeconômica.

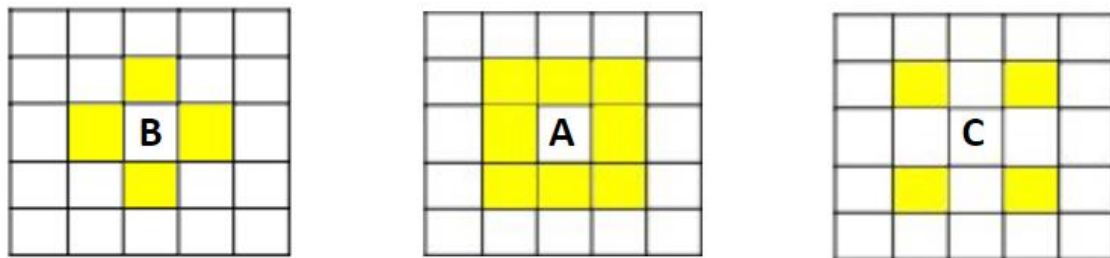
4.1.1 Contiguidade

Uma matriz de pesos espaciais binários pode ser criada com base na ideia de contiguidade, ou seja, vizinhança. Se duas regiões têm uma fronteira comum

(portanto, possuem uma maior interação espacial entre si), $w_{ij}=1$, se i e j são contíguas, caso contrário, $w_{ij}=0$ se i e j não são contíguas. Considera-se $w_{ii}=0$, pois uma região não pode ser vizinha de si mesma, resultando numa matriz de contiguidade com diagonal principal composta por zeros (ALMEIDA, 2012).

Conforme Almeida (2012), a definição de contiguidade se distingue em rainha, torre ou bispo. Na convenção "torre", apenas as fronteiras físicas são consideradas contíguas. Já na convenção "rainha", além dessas fronteiras, os vértices também são considerados contíguos. E na convenção "bispo" apenas os vértices são considerados.

FIGURA 1 – MATRIZES DE CONTIGUIDADE



FONTE: adaptada de Almeida (2012).

As matrizes de contiguidade binária são simétricas, implicando que a influência de uma região i sobre uma região j é idêntica à influência de j sobre i . Uma desvantagem dessa matriz é a conectividade desbalanceada, pois algumas regiões podem ter muitos vizinhos enquanto outras têm poucos. Entretanto, as matrizes de pesos espaciais de contiguidade oferecem a vantagem significativa de definir contiguidades de ordens superiores. Por exemplo, uma matriz de contiguidade de segunda ordem inclui os vizinhos dos vizinhos da região em análise (ALMEIDA, 2012).

Para o presente estudo, serão usadas apenas a matriz de contiguidade do tipo rainha, pois ela considera como vizinhos todas os municípios que possuem divisas territoriais e consegue capturar a autocorrelação espacial existente deste estudo.

4.2 / DE MORAN GLOBAL UNIVARIADO

A estatística I de Moran refere-se a um coeficiente de autocorrelação espacial que utiliza a medida de autocovariância na forma de produto cruzado (y_i, y_j) . Essa estatística algebricamente é expressa por:

$$I = \frac{n}{s_0} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (1)$$

Ou matricialmente:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{z'Wz}{z'z} \quad (2)$$

No qual n representa o número de regiões, z denota os valores da variável padronizada de interesse, Wz indica os valores médios da variável padronizada de interesse nos vizinhos, determinados por meio de uma matriz de ponderação espacial W , na qual o elemento relacionado à região i e à região j é designado como w_{ij} . S_0 corresponde à operação $\sum \sum w_{ij}$, implicando que todos os elementos da matriz de pesos espaciais W devem ser somados. Adicionalmente, o termo do numerador da equação (1) representa a autocovariância espacial, composta pelos produtos cruzados $z'Wz$. Como a estatística I de Moran é um coeficiente de autocorrelação, isso implica que é a relação entre a autocovariância do tipo produto cruzado e a variância dos dados ($z'z$) (ALMEIDA, 2012).

Observa-se que se a matriz de pesos espaciais for normalizada na linha, o termo S_0 , ou seja, o duplo somatório no denominador da expressão (S_0), resulta em n . Assim, a equação (1) pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$I = \frac{z'Wz}{z'z} \quad (3)$$

Segundo Almeida (2012), na verificação da hipótese de aleatoriedade espacial, o índice de Moran apresenta um valor esperado de $-[1/(n-1)]$, correspondendo ao resultado que seria alcançado na ausência de um padrão espacial nos dados. Assim, o índice de Moran calculado deve coincidir com o valor esperado,

dentro dos limites de significância estatística, caso y_i seja independente dos valores em regiões adjacentes.

Quando o índice de Moran calculado supera o valor esperado, indica-se a presença de autocorrelação espacial positiva, demonstrando que há uma similaridade entre os valores do atributo em análise e sua localização espacial. Isso significa que valores elevados da variável de interesse (y) tendem a ser encontrados próximos a outros valores altos da mesma variável em áreas vizinhas (Wy), e o inverso também é verdadeiro para valores baixos. Em contraste, índices de Moran inferiores ao esperado apontam para uma autocorrelação espacial negativa, sugerindo uma dissimilaridade entre os valores do atributo e sua localização espacial, ou seja, valores altos da variável de interesse em uma área tendem a estar cercados por valores baixos da mesma variável em áreas adjacentes, e o contrário também ocorre.

Dessa forma, o índice de Moran oferece três informações cruciais: o nível de significância indica se os dados estão distribuídos de maneira aleatória ou não; um resultado positivo e significativo do índice sugere uma concentração dos dados pelas regiões, enquanto um resultado negativo indica dispersão; e a magnitude do índice revela a intensidade da autocorrelação espacial, sendo que valores próximos a 1 indicam forte concentração e valores próximos a - 1 indicam maior dispersão dos dados.

Almeida (2012) afirma que o diagrama de dispersão de Moran é uma ferramenta estatística valiosa na análise de dados espaciais, permitindo aos pesquisadores visualizar e interpretar a autocorrelação espacial de uma variável. Através da representação gráfica de nuvem de pontos, é possível identificar padrões de agrupamento ou dispersão geográfica, como áreas com altos valores da variável de interesse próximas a outras de valores semelhantes, ou regiões de baixos valores cercados por outras igualmente baixos.

Essa análise visual é complementada pela inclinação da linha de uma regressão linear simples, que é calculada por meio de mínimos quadrados ordinários, fornecendo uma medida quantitativa da autocorrelação espacial, que pode ser escrita da seguinte maneira:

$$Wz = \alpha + \beta z + \varepsilon \quad (4)$$

Em que:

α = constante da regressão

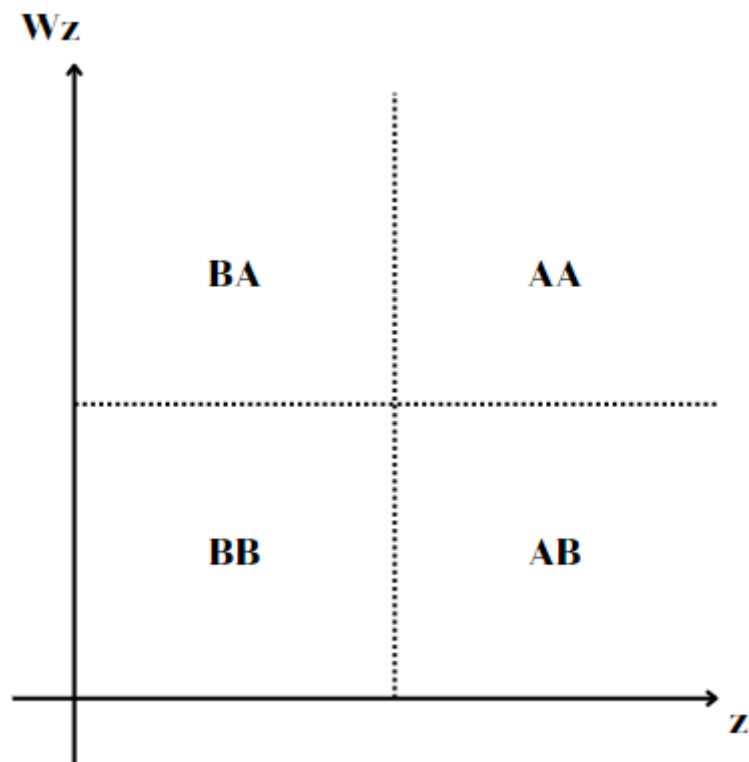
ε = termo de erro aleatório

β = coeficiente angular, ou seja, é o coeficiente I de Moran que apresenta a seguinte fórmula:

$$\hat{\beta} = I = \frac{z'Wz}{z'z} \quad (5)$$

Este diagrama ilustra quatro tipos de associação linear espacial: Alto-Alto (AA), Baixo-Baixo (BB), Alto-Baixo (AB) e Baixo-Alto (BA). O quadrante AA indica regiões com valores altos da variável de interesse circundadas por regiões também com valores altos. O quadrante BA mostra uma região com valor baixo circundada por regiões com valores altos. O quadrante BB refere-se a regiões com valores baixos cercadas por outras regiões com valores baixos. O quadrante AB representa regiões com valores altos circundadas por regiões com valores baixos. A Figura 2 apresenta essa representação dos quadrantes.

FIGURA 2 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DE MORAN



FONTE: Adaptada de Almeida (2012).

4.3 I DE MORAN GLOBAL BIVARIADO

A correlação espacial global, conforme apresentado por Almeida (2012), também pode ser examinada sob uma perspectiva bivariada. O conceito central é investigar a possível relação entre os valores de uma variável em uma região específica e os valores de outra variável nas regiões adjacentes. O foco é identificar um padrão espacial global que ligue duas variáveis distintas. Para tal, aplica-se a estatística I de Moran a duas variáveis padronizadas, denominadas z_1 e z_2 .

$$I^{z_1 z_2} = \frac{n}{s_0} \frac{z_1 W_{z_2}}{z_1 z_1} \quad (6)$$

Caso a matriz W seja normalizada por linhas, a equação (5) sofre alterações:

$$I^{z_1 z_2} = \frac{z_1 W_{z_2}}{z_1 z_1} \quad (7)$$

O coeficiente em questão possui dois elementos diferenciados. Na sua forma bivariada, o I de Moran tem no numerador uma forma de covariância conhecida como produto cruzado, e no denominador, um ajuste baseado na variância dos dados. O gráfico de dispersão de Moran bivariado exibe no eixo horizontal os valores padronizados de uma variável para uma região específica, e no eixo vertical, os valores padronizados de outra variável para as regiões vizinhas. Portanto, a dispersão gráfica ilustra os valores das duas variáveis nas regiões, indicando a inclinação da linha de regressão, que é calculada por meio de uma regressão linear simples pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO), similarmente ao procedimento no contexto univariado (ALMEIDA, 2012).

$$W_{z_2} = \alpha + \beta z_1 + \varepsilon \quad (8)$$

O índice bivariado de Moran, representado por β , é compreendido como o coeficiente linear da linha de regressão do atraso espacial (W_{z_2}) em relação à variável focal (z_1), calculado através do Método dos Mínimos Quadrados Ordinários.

$$\hat{\beta} = I = \frac{z'_1 W z_2}{z'_1 z_1} \quad (9)$$

A análise do gráfico de Moran bivariado é realizada da seguinte forma: o setor AA é associado às áreas que apresentam altas medidas da variável de interesse no eixo horizontal, que estão próximas a áreas com altas medidas de outra variável de interesse no eixo vertical. O setor BA diz respeito às áreas com medidas baixas de uma variável de interesse, que se encontram próximas a áreas com medidas altas da outra variável de interesse. O setor BB indica que as medidas baixas de uma variável de interesse estão adjacentes a medidas igualmente baixas da outra variável de interesse. Finalmente, o setor AB indica que as medidas altas de uma variável de interesse estão cercadas por medidas baixas da outra variável de interesse (ALMEIDA, 2012).

4.4 I DE MORAN LOCAL UNIVARIADO

Almeida (2012) destaca que medidas globais de autocorrelação espacial não são eficazes para detectar a autocorrelação espacial local significativa. Isso ocorre porque padrões globais podem não refletir as variações locais, ou seja, a ausência de autocorrelação global pode esconder a presença de autocorrelação local, indicando a existência de clusters locais.

Da mesma forma, uma forte autocorrelação global pode ocultar associações locais específicas, como clusters ou *outliers* espaciais. Para identificar padrões locais de autocorrelação espacial significativos, Anselin (1995, citado por Almeida, 2012), sugeriu o uso do LISA (Local Indicator of Spatial Association), que deve atender a dois requisitos: primeiro, deve ser capaz de identificar clusters espaciais significativos para cada observação; segundo a soma dos LISA de todas as regiões deve ser proporcional ao indicador global de autocorrelação espacial.

O coeficiente local I_i de Moran desagrega o indicador global em contribuições locais de cada observação, divididas em quatro categorias (AA, BB, AB, BA), cada uma correspondendo a um quadrante no diagrama de dispersão de Moran. Para cumprir o segundo critério, a soma dos LISA locais deve ser igual a:

$$\sum_i I_i = S_0 m_2 I = k \cdot I \quad (10)$$

Na equação (9), o coeficiente k é o elemento de proporcionalidade que relaciona a soma dos indicadores locais ao indicador global, sendo expresso por $k = S_0 m_2$. Aqui, $m_2 = \sum_i \frac{z_i^2}{n}$. Considerando a normalização da matriz W por linhas, S_0 assume o valor de n , resultando em $k = \sum_i z_i^2$. Com isso, a expectativa para a estatística I_i é representada pela fórmula subsequente.

$$E[I_i] = -w_i / (n - 1) \quad (11)$$

A variável w_i corresponde à soma dos pesos de conexão entre unidades espaciais, conforme disposto na matriz W . Para a visualização das estatísticas compiladas, emprega-se o mapa de significância LISA. Este mapa é uma ferramenta analítica que integra os resultados do diagrama de dispersão de Moran com as medidas de significância local I_i , categorizando a associação espacial em quatro grupos distintos (ALMEIDA, 2012).

4.5 ÍNDICE DE MORAN LOCAL BIVARIADO

O Índice de Moran local bivariado (Almeida, 2012), é uma ferramenta para avaliar a autocorrelação espacial em um cenário em que duas variáveis são consideradas e medidas. Essas variáveis, denominadas y_i e x_i , são padronizadas resultando em z_{1i} e z_{2i} . A adaptação da fórmula do Índice de Moran local é realizada para acomodar essas variáveis:

$$I_i^{z_1 z_2} = z_{1i} w_{z_{2i}} \quad (12)$$

Aqui, $w_{z_{2i}}$ representa o atraso espacial da variável normalizada z_{2i} .

A interpretação desse índice, segundo Anselin et al (2003, citados por Almeida, 2012), é que ele fornece uma medida do nível de associação linear, seja ela positiva ou negativa, entre o valor de uma variável em um ponto específico i e a média

dessa variável nas localidades adjacentes. Importante também é a capacidade de mapear os valores de probabilidade significativos dessa medida, o que permite a criação de um mapa de significância bivariada para o Índice de Moran local.

4.6 BASE DE DADOS

Com o intuito de analisar a interação entre resíduos sólidos e variáveis socioeconômicas para os 399 municípios do Paraná, foram utilizados dados de resíduos sólidos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)⁸, dados do PIB municipal e número de habitantes do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) para o ano de 2021 e dados do IDH municipal de 2010 do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES).

Para os dados de resíduos sólidos foi utilizado a variável de produção de lixo per capita em Kg/ano. A produção de lixo foi calculada através da multiplicação entre a quantidade total de resíduos coletados em toneladas por 1000 divididos pela população total em habitantes. Para calcular o PIB municipal per capita foram utilizados os dados do PIB municipal divididos pelo número de habitantes.

A seguir são apresentados os resultados das análises das variáveis supracitadas, que foram calculados no *software* Geoda.

4.6.1 Descrição de dados

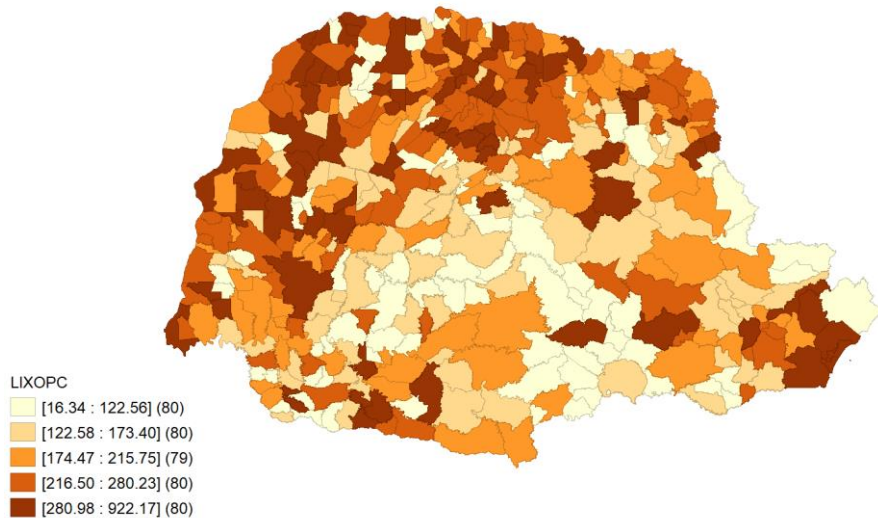
Para melhor visualizar e interpretar a distribuição dos dados usados neste estudo, inicialmente é apresentado mapas divididos em cinco quantis para as variáveis. A Figura 3 apresenta a distribuição dos dados da produção de lixo per capita em Kg/ano no estado, que mostra que existem algumas regiões intermediárias⁹ que possuem mais municípios com maior produção de lixo, tais como as regiões de

⁸ Nos dados do SNIS faltam informações para a produção de resíduos em 24 municípios (cerca de 6% dos dados). Para preencher estes dados, foi estimado um modelo de regressão linear usando os dados socioeconômicos como variáveis independentes e a produção de lixo como variável dependente. Assim, a métrica MSE (erro médio quadrático) foi usada para prever os valores de produção de lixo para os municípios com dados faltantes.

⁹ Segundo a divisão do IBGE vigente desde 2017, o Paraná é dividido em 6 regiões geográficas intermediárias, são elas: Cascavel, Guarapuava, Maringá, Londrina, Curitiba e Ponta Grossa. Estas regiões serão usadas ao longo da descrição de dados e análise de resultados.

Cascavel, Maringá e Londrina. Municípios localizados nas regiões de Curitiba, Ponta Grossa e Guarapuava produzem menos lixo per capita.

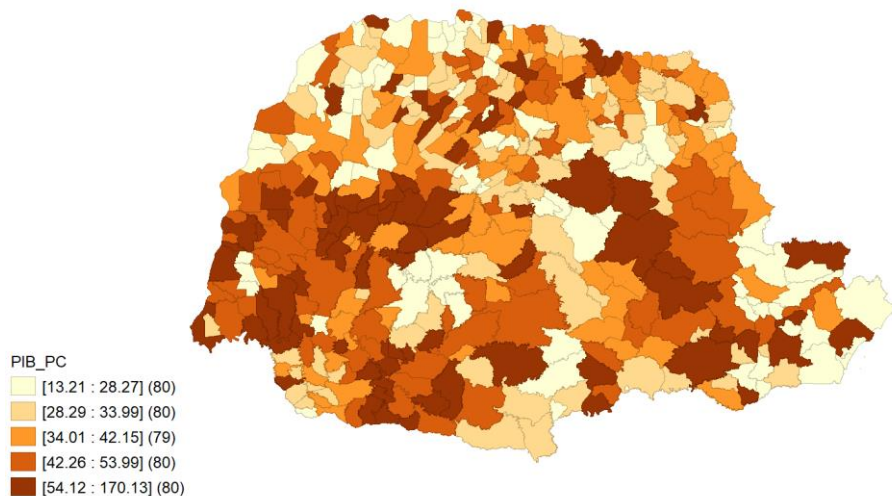
FIGURA 3 – MAPA DE QUANTIL DA PRODUÇÃO DE LIXO PER CAPITA EM KG/ANO



FONTE: O autor (2024).

Já a Figura 4 apresenta a distribuição dos dados de PIB per capita, onde é possível visualizar que as regiões de Cascavel, Maringá e Ponta Grossa são as que mais possuem municípios com alto PIB per capita.

FIGURA 4 – MAPA DE QUANTIL DO PIB MUNICIPAL PER CAPITA

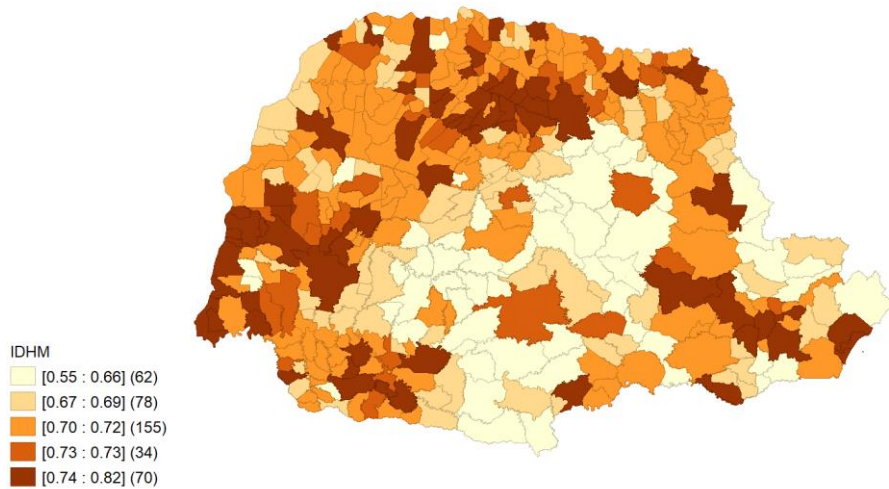


FONTE: O autor (2024).

Os dados da variável do IDH municipal também foram computados pelo mapa quantílico (Figura 5), que demonstra que a região de Cascavel é a que mais apresenta

municípios com alto IDH, assim como é possível ver na fronteira entre as regiões de Maringá com Londrina e Ponta Grossa com Curitiba. Por outro lado, a divisa entre Cascavel, Guarapuava e Maringá apresenta muitos municípios com baixo IDH, o mesmo ocorre na parte mais noroeste da região de Ponta Grossa.

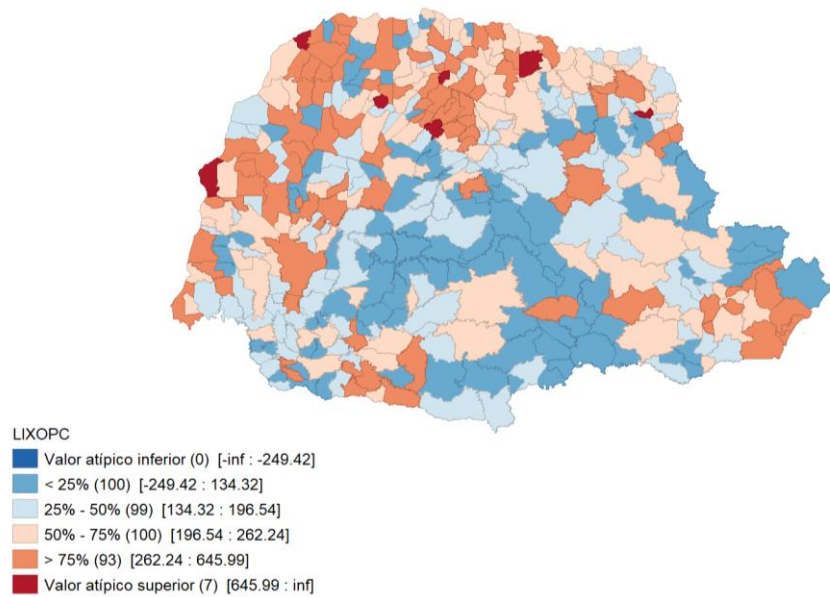
FIGURA 5 – MAPA DE QUANTIL DO IDH MUNICIPAL



FONTE: O autor (2024).

Além do mapa de quantil, foram também calculados os mapas de caixa (ou *box map*) de desvio padrão 3 para a identificação de *outliers*. A Figura 6 mostra que existem sete *outliers* superiores, isto é, observações atípicas com valores muito elevados para a produção de lixo per capita em 2021, que se localizam nas regiões de Londrina, Maringá e Cascavel. São as cidades, em ordem decrescente, de Sertanópolis, Japurá, Ângulo, Guaíra, Porto Rico, Quatiguá e Itambé, apontadas em vermelho no mapa. *Outliers* inferiores não foram encontrados.

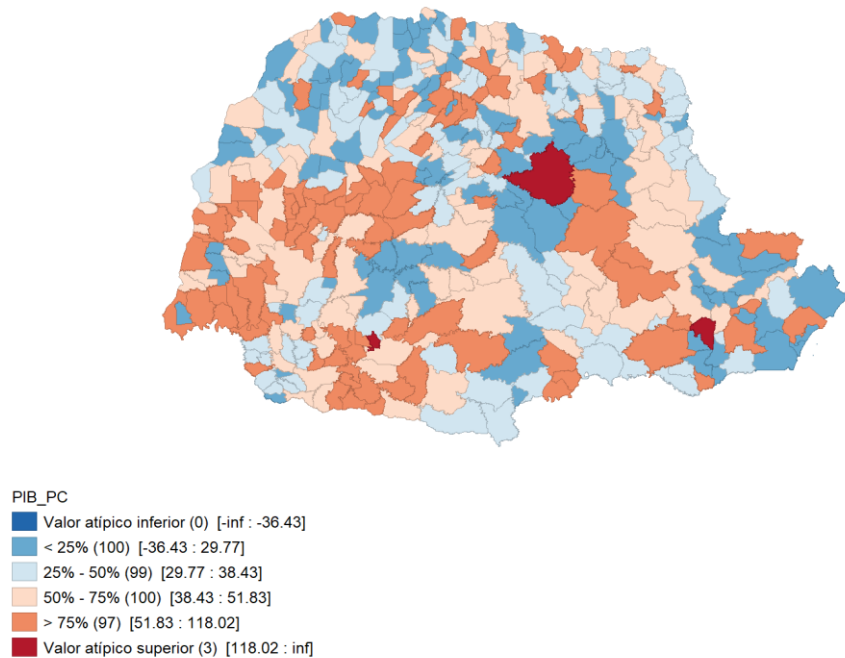
FIGURA 6 – BOX MAP DA PRODUÇÃO DE LIXO PER CAPITA EM KG/ANO



FONTE: O autor (2024).

Analisando o PIB municipal per capita, notam-se que três cidades são *outliers* superiores, são eles: Saudade do Iguaçu, Ortigueira e Araucária (Figura 7). Não foram encontrados dados de *outliers* inferiores para o PIB em 2021.

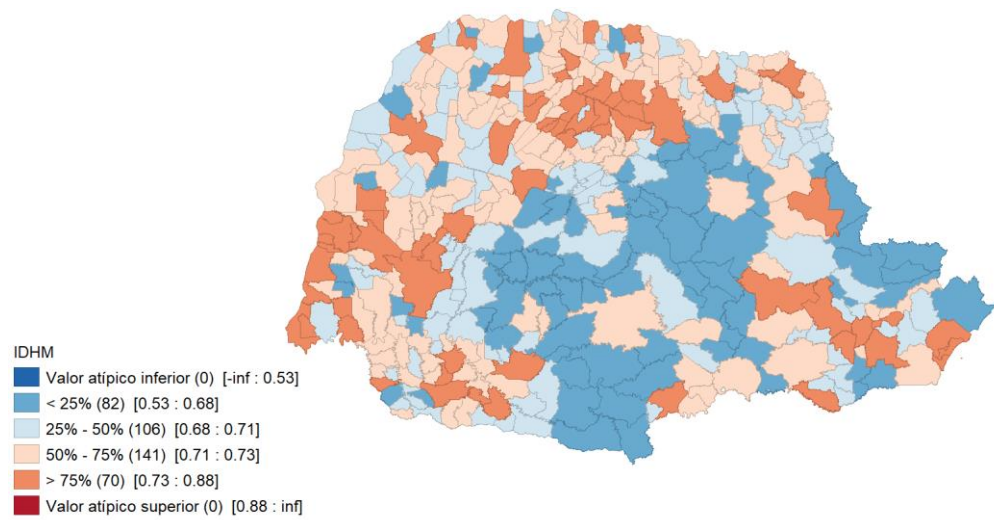
FIGURA 7 – BOX MAP DO PIB MUNICIPAL PER CAPITA



FONTE: O autor (2024).

Por último foi feito o mapa de caixa do IDH municipal, mas não foram encontrados *outliers* superiores ou inferiores.

FIGURA 8 – BOX MAP DO IDH MUNICIPAL

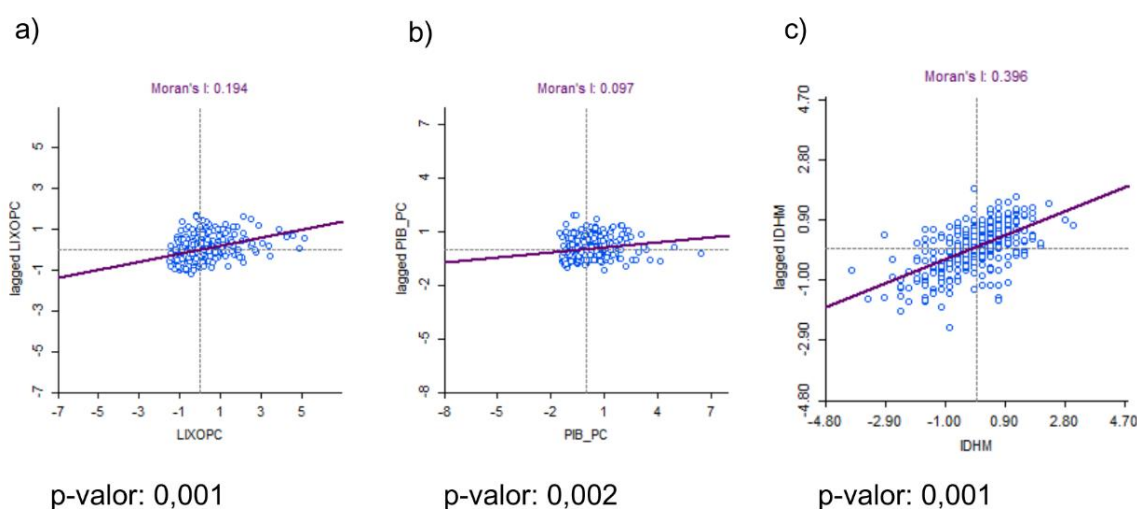


FONTE: O autor (2024).

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para analisar o padrão espacial existente na produção de lixo no Paraná e demais indicadores socioeconômicos, foi utilizada a estatística de autocorrelação espacial / de Moran e constatou-se que, para as 3 variáveis selecionadas, existe uma autocorrelação positiva significativa, demonstrando que os dados exibem uma concentração espacial. A Figura 9 apresenta os diagramas de dispersão de Moran de cada variável, onde seus valores estão alocados no eixo horizontal e suas defasagens espaciais se encontram no eixo vertical. O diagrama “a)” se refere a produção de lixo per capita em Kg/ano, “b)” indica o PIB municipal per capita e “c)” é o IDH municipal.

FIGURA 9 – DIAGRAMAS DE DISPERSÃO UNIVARIADOS



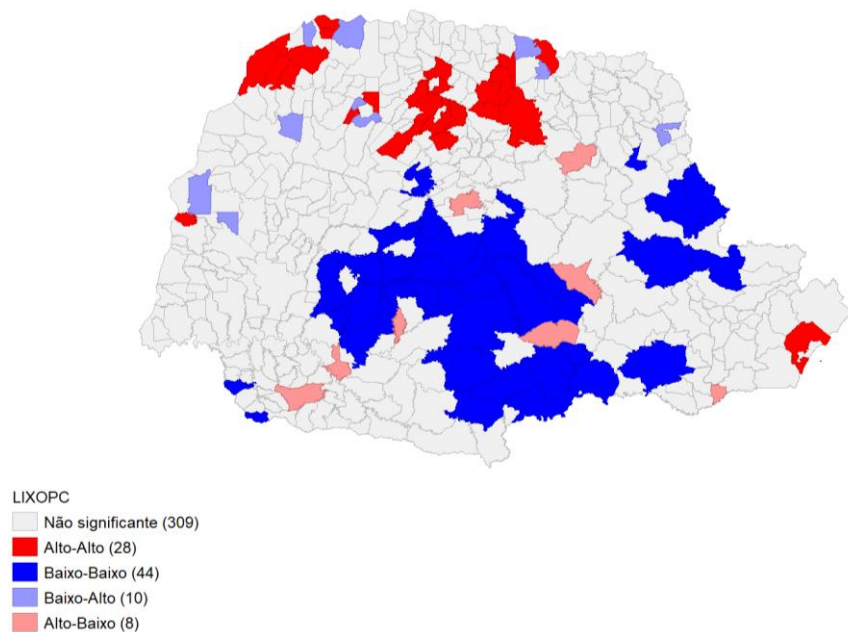
FONTE: O autor (2024).

Desse modo, nota-se, em termos globais, que municípios que possuem baixos (altos) valores de uma determinada variável se localizam próximos de outros municípios que também possuem baixos (altos) valores da variável. Contudo, a estatística global não consegue identificar padrões de concentração locais e para um maior entendimento da concentração espacial da produção de lixo per capita em Kg /ano foi utilizada a estatística / de Moran Local (LISA), que consegue capturar a presença de clusters espaciais estatisticamente significativos. A Figura 10 indica a existência de um cluster espacial significativo do tipo BB (Baixo-Baixo) na região de Ponta Grossa (por exemplo, o município de Castro), Guarapuava (com município de

mesmo nome), e Curitiba (município da Lapa), indicando que se trata de regiões cujos municípios possuem baixos valores de produção de lixo per capita e que estão rodeadas de municípios que também possuem baixos valores da mesma variável.

Em contrapartida, alguns pequenos clusters espaciais do tipo AA (Alto-Alto) estão presentes nas regiões de Londrina (município de mesmo nome), Maringá (Porto Rico) e Curitiba (município de Paranaguá), indicando que estes municípios possuem altos valores de produção de lixo per capita e estão próximos de municípios que também possuem altos valores desta mesma variável. Dos *outliers* superiores identificados na Figura 6, apenas Porto Rico se encontra em um agrupamento AA significativo.

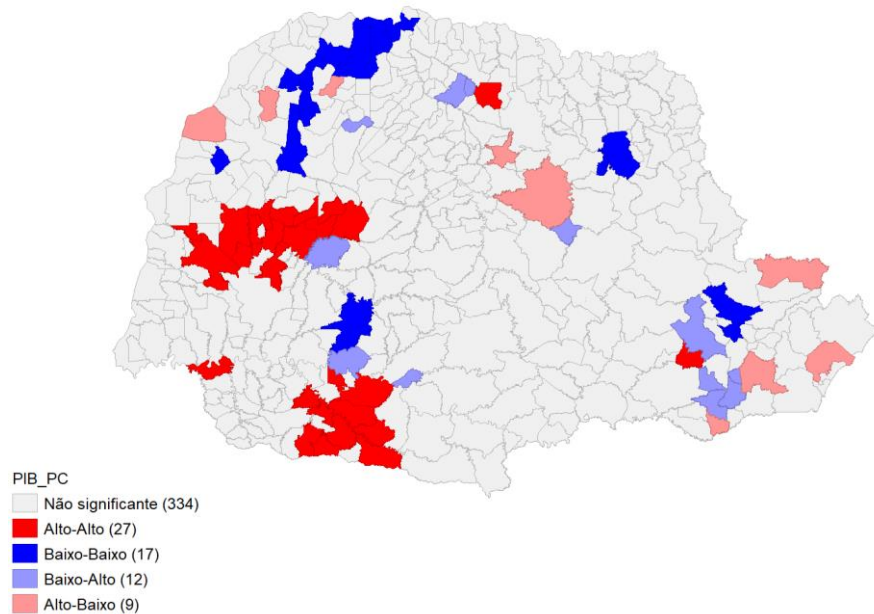
FIGURA 10 – LISA UNIVARIADO DE PRODUÇÃO DE LIXO PER CAPITA EM KG/ANO



FONTE: O autor (2024).

Já o PIB municipal per capita apresentou clusters AA (Alto-Alto) nas regiões de Cascavel (Assis Chateaubriand) e Maringá (Mamborê). Para os clusters BB (Baixo-Baixo), as regiões que mais se destacaram foram a de Maringá (Paranavaí), Londrina (Ibaiti), Cascavel (Nova Laranjeiras) e Curitiba (apenas as cidades de Almirante Tamandaré e Rio Branco do Sul), como mostrado na Figura 11 abaixo.

FIGURA 11 – LISA UNIVARIADO DE PIB MUNICIPAL PER CAPITA

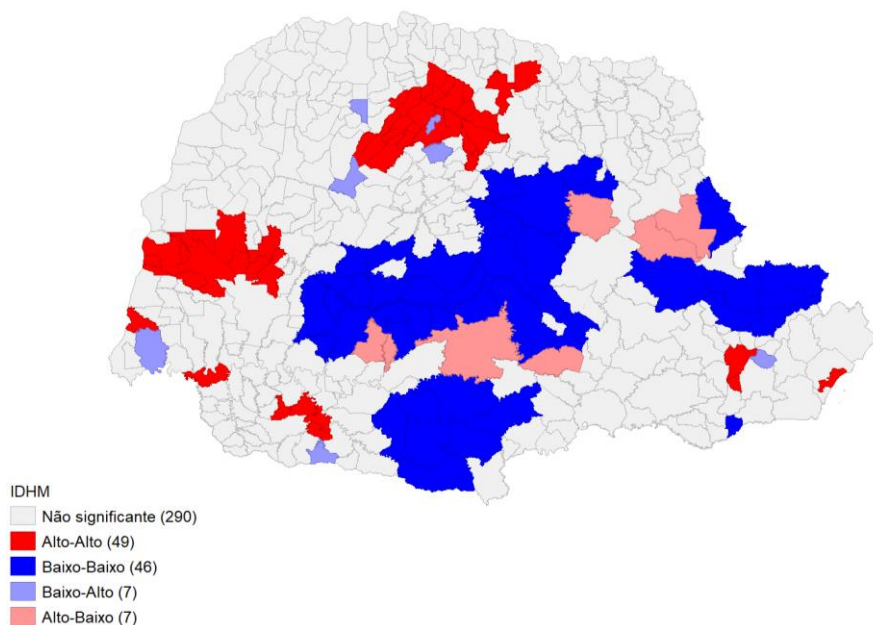


FONTE: O autor (2024).

A Figura 7, anteriormente apresentada nesta seção de descrição de dados, indicou que 3 municípios se caracterizam como *outliers* por possuírem os PIBs municipais per capita muito altos, contudo, apenas Ortigueira se encontra em uma região de autocorrelação espacial significativa, que no caso é AB (Alto-Baixo), indicando que se trata de uma região cujos municípios possuem altos valores de PIB municipal per capita e que está rodeada de municípios que possuem baixos valores da mesma variável.

Para finalizar a análise de dados univariados, a Figura 12 apresenta o mapa de clusters do IDH municipal e percebe-se que há uma grande concentração de agrupamentos BB (Baixo-Baixo) nas regiões de Cascavel, Guarapuava, Ponta Grossa, Londrina e Curitiba e uma parcela significativa de AA (Alto-Alto) nas regiões de Cascavel, Maringá, na cidade de Ângulo, por exemplo e Londrina, na cidade de Sertanópolis, que de acordo com a Figura 5 são cidades com índices altos de desenvolvimento humano municipal e *outliers* de produção de lixo, segundo a Figura 6.

FIGURA 12 – LISA UNIVARIADO DE IDH MUNICIPAL



FONTE: O autor (2024).

Visto que existe na literatura a discussão de produção de lixo com indicadores socioeconômicos, é interessante verificar se esses indicadores concentrados no espaço podem afetar a produção de lixo em regiões vizinhas. Por isso, as relações entre duas variáveis (bivariadas) também foram testadas pelo *I* de Moran Global quanto local. No Global foi calculado a relação entre o PIB municipal per capita (plotado no eixo horizontal) e a produção de lixo per capita em Kg/ano (plotado no eixo vertical) e o resultado obtido para a estatística *I* de Moran foi de 0,011, porém não significativo, ou seja, os dados são aleatoriamente distribuídos pelo espaço.

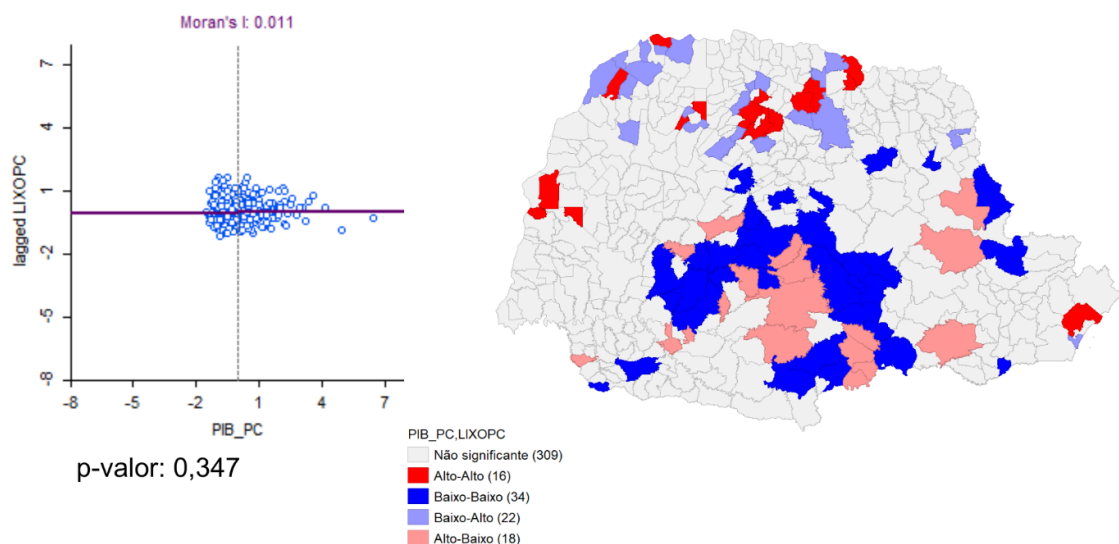
Uma metodologia parecida foi usada por Rossato, Lima e Lírío (2010), anteriormente apresentada na seção de revisão de literatura empírica, no estado gaúcho, e foi constatado que municípios de maior renda per capita e seus vizinhos geralmente apresentavam uma qualidade ambiental¹⁰ mais baixa, enquanto aqueles com menor renda tendiam a ter uma qualidade ambiental melhor.

¹⁰ Os autores desta pesquisa criaram um Índice de Qualidade Ambiental (IQA), com as seguintes variáveis: índice de saneamento, índice de potencial poluidor da indústria, percentual de cobertura florestal, percentual de residências particulares permanentes que jogam resíduos em terrenos baldios ou em locais públicos e percentual de residências particulares permanentes que queimam o lixo em seus domicílios.

Apesar de não apresentar uma autocorrelação global significativa, o mapa de clusters, construído por meio do I de Moran local bivariado indica associações significativas, como exemplo clusters do tipo BB (Baixo-Baixo) em cidades como Guaraniaçu e Nova Laranjeiras na região de Cascavel, Pitanga e Prudentópolis na região de Guarapuava, Barbosa Ferraz na região de Maringá, Cruz Machado, São Mateus do Sul, Bituruna, Cerro Azul e Agudos do Sul na região de Curitiba, Sengés e Ivaí na região de Ponta Grossa e Sapopema e Ivaiporã na região de Londrina. O que significa que os municípios destas regiões que possuem um baixo valor de PIB municipal per capita estão rodeados de municípios que possuem um baixo valor de produção de lixo per capita em Kg/ano.

Porto Rico, uma das cidades que mais produz lixo per capita, apresentou valor significativo, ao contrário das outras cidades *outliers* verificadas na Figura 6. Seu cluster é o BA (Baixo-Alto), o que demonstra que é um município que possui um PIB per capita baixo e está rodeado de municípios que possuem um alto valor de produção de lixo. Por outro lado, o município de Saudade do Iguaçu um *outlier* superior para o PIB per capita, se classifica em um cluster AB (Alto-Baixo), ou seja, ele possui um alto PIB per capita, mas seus vizinhos possuem uma baixa produção de lixo. De modo geral, a predominância de clusters AB e BA revela que municípios com alto (baixo) PIB estão rodeados de municípios que possuem baixa (alta) produção de lixo. A mesma relação Baixo-Alto pode ser visto na pesquisa de Bayer, Uranga e Fochezatto (2018) feita no Rio Grande do Sul, no litoral norte do estado gaúcho.

FIGURA 13 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO E LISA PARA PIB MUNICIPAL PER CAPITA E PRODUÇÃO DE LIXO PER CAPITA EM KG/ANO



FONTE: O autor (2024).

Fazendo a mesma análise para verificar a relação entre a produção de lixo per capita em Kg/ano (plotado no eixo vertical) e o IDH municipal (plotado no eixo horizontal), foi encontrado o valor de 0,169 para a estatística I de Moran, estatisticamente significativo.

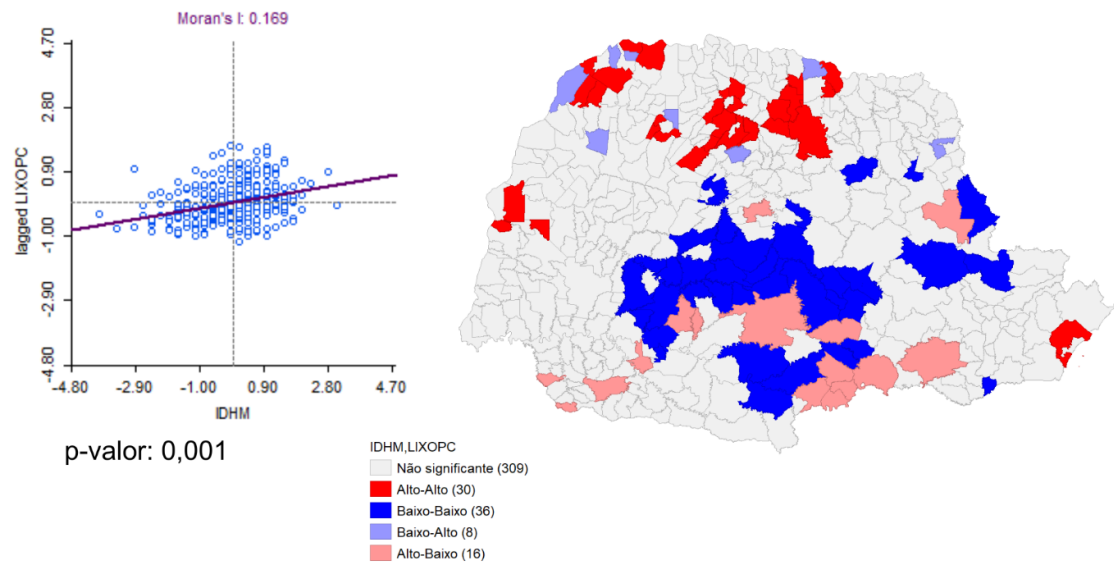
No mapa da Figura 14, todas as regiões intermediárias do Paraná apresentam alguns municípios que formam clusters BB (Baixo-Baixo), já as regiões de Cascavel, Londrina, Maringá e Curitiba possuem cidades AA (Alto-Alto), como Porto Rico, município com alto IDH contígua de cidades com alta produção de lixo per capita.

Em relação ao cluster AB (Alto-Baixo), foram encontradas 16 cidades, em sua grande maioria da região de Cascavel (Barracão, Pranchita, Francisco Beltrão, São João, Laranjeiras do Sul e Virmond) e Curitiba (Paulo Frontin, Paula Freitas, São Mateus do Sul, Lapa e União da Vitória), além das regiões de Ponta Grossa (Irati, Jaguariaíva e Mallet), Guarapuava (município de mesmo nome) e Londrina (Ivaiporã), o que indica que estes municípios possuem alto IDH e influenciam na baixa produção de lixo de seus vizinhos.

O cluster BA (Baixo-Alto), apenas as regiões de Maringá (Querência do Norte, Maria Helena, Marilena, Itaúna do Sul e São Carlos do Ivaí) e Londrina (Bom Sucesso, Primeiro de Maio e Siqueira Campos) apresentam cidades com baixo IDH contíguas

de cidades com alta produção de lixo, indicando uma influência positiva entre as variáveis.

FIGURA 14 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO E LISA PARA IDH MUNICIPAL E PRODUÇÃO DE LIXO PER CAPITA EM KG/ANO



FONTE: O autor (2024).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Historicamente, a economia evoluiu de uma fase de baixa demografia e produção per capita, com resíduos biodegradáveis, para uma fase na qual a industrialização e urbanização intensificaram a produção e o crescimento populacional, gerando resíduos que a natureza não consegue reciclar. A gestão deficiente desses resíduos resulta em degradação ambiental, prejudicando os recursos naturais e provocando problemas de saúde, mudanças climáticas e redução da biodiversidade.

Devido a toda a problemática ocasionada por causa da má gestão, este trabalho buscou analisar a disposição de resíduos sólidos per capita nos municípios do Paraná em 2021, examinando o padrão espacial de produção de resíduos e sua relação com indicadores de desenvolvimento humano e econômico.

A análise foi conduzida utilizando a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) para examinar a distribuição espacial dos dados. Por meio da construção da estatística de autocorrelação espacial / de Moran, buscou-se identificar padrões espaciais de concentração ou dispersão. Além disso, buscou verificar se havia autocorrelação espacial entre a variável de produção de resíduos sólidos, indicada pela produção de lixo per capita em Kg/ano com o PIB municipal per capita e o IDH municipal.

Os resultados univariados indicam que há uma concentração no espaço tanto da variável de produção de resíduos quanto dos indicadores socioeconômicos. Isso indica que há agrupamento de valores semelhantes no Paraná para todos os dados analisados. Já o mapa de clusters demonstrou que há uma predominância de relações de agrupamento AA (Alto-Alto) e BB (Baixo-Baixo), o que significa que um município com alta (baixa) concentração de produção de lixo, por exemplo, é vizinho de municípios com alta (baixa) concentração de produção de lixo.

Em relação aos resultados que avaliaram a relação dos indicadores socioeconômicos com a produção de lixo, notou-se que globalmente há a tendência à concentração espacial apenas do IDH com a produção de resíduos sólidos. Contudo, avaliando a autocorrelação local, foram identificados alguns clusters AB e BA, indicando uma relação inversa local. Isso sugere que uma alta (baixa) concentração do IDH está associada a uma baixa (alta) concentração de produção de resíduos.

Além do mais, na literatura é possível encontrar muitos estudos que procuram também entender essas relações entre IDH e a qualidade da gestão de resíduos domésticos¹¹, por exemplo, como é possível verificar em uma pesquisa realizada para 128 países, que revelou uma relação direta significativa entre as duas variáveis. O estudo acrescenta que o sucesso das reformas no campo da gestão de resíduos domésticos depende significativamente do apoio da população. Os cidadãos precisam desenvolver uma mentalidade ambientalmente amigável e mudar seu comportamento em direção a uma cultura de gestão de resíduos. Portanto, a elevação do nível de educação e conscientização ambiental da população de um país se fazem necessários (HAYDA et al., 2023).

Mapas de caixa também foram calculados para identificar *outliers* (observações atípicas), mostrando que 3 cidades apresentaram PIBs municipais superiores e 7 cidades estão entre as que mais produzem lixo per capita.

O estudo, portanto, procurou identificar padrões de associação espacial na produção de lixo e sua relação com indicadores socioeconômicos, porém não se pode fazer inferências sobre o impacto do PIB e do IDH municipais na produção de lixo, todavia, pesquisas futuras podem ser feitas nesse sentido, com o uso de econometria espacial.

¹¹ Resíduos que foram tratados, reciclados, degradados anaerobicamente, incinerados ou dispostos em um aterro sanitário.

REFERÊNCIAS

AGOVINO, M.; D'UVA, M.; GAROFALO, A.; MARCHESANO, K. **Waste management performance in Italian provinces: Efficiency and spatial effects of local governments and citizen action.** Ecological Indicators, Volume 89, Pages 680-695. Junho, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X18301304#s0070>. Acesso em: 14 mar. 2024.

ALMEIDA, E. S. **Econometria Espacial Aplicada.** Campinas: Editora Alínea, p. 73-147. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama 2022.** Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 03 abr. 2024.

BANCO MUNDIAL. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.** Disponível em: <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/index.html>. Acesso em: 01. jun. 2024.

BANCO MUNDIAL. **Pollution,** 2023. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/pollution>. Acesso em: 14 mar. 2024.

BAYER, M. N.; URANGA, R. R. P.; FOCHEZATTO, A. **Análise espacial da produção de resíduos sólidos nos municípios do Rio Grande do Sul,** 2014. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10923/20853>. Acesso em: 28 mar. 2024.

BESSEN, G. R.; JACOBI, P. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade.** Estudos Avançados, 25(71), 135–158, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142011000100010>. Acesso em: 14 mar. 2024.

BIBLIOTECA Virtual em Saúde. **Cuidados com o lixo,** ago./2011. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/cuidados-com-o-lixo/>. Acesso em: 07 maio. 2024.

BOULDING, E. K. **The Economics of the Coming Spaceship Earth, 1966.** Disponível em: https://arachnid.biosci.utexas.edu/courses/thoc/readings/boulding_spaceshipearth.pdf. Acesso em 13 mar. 2024.

BROWNE, M.; CRUMP P.; NIVEN, S.; TEUTEN, E.; TONKIN, A.; GALLOWAY, T.; THOMPSON, R.C. **Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks.** Environmental Science & Technology, 45, 9175-9179, 2011. Disponível: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/145>. Acesso em: 01. mai. 2024.

DAROLT, M. R. **Lixo rural: do problema à solução,** fev. 2008. Disponível em: <https://comciencia.br/dossies-73-184/web/handlerda0d.html?section=8&edicao=32&id=373>. Acesso em: 05. mai. 2024.

FULLER, R.; LANDRIGAN, J. P.; BALAKRISHNAN, K.; BATHAN, G.; O'REILLY, B. S.; BRAUER, M.; CARAVANOS, J.; CHILES, T.; COHEN, A.; CORRA, L.; CROPPER, M.; FERRARO, G.; HANNA, J.; HANRAHAN, D.; HU, H.; HUNTER, D.; JANATA, G.; KUPKA, R.; LANPHEAR, B.; LICHTVELD, M.; MARTIN, K.; MUSTAPHA, A.; TRIANA, E.; SANDILYA, K.; SCHAEFLI, L.; SHAW, J.; SEDDON, J.; SUK, W.; ROJO, M.; YAN, C. **Pollution and health: a progress update**, 2022. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(22\)00090-0/fulltext#seccestitle30](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(22)00090-0/fulltext#seccestitle30). Acesso em 14 mar. 2024

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Impactos na saúde e no Sistema Único de Saúde Decorrentes de Agravos Relacionados a um Saneamento Ambiental Inadequado**. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/estudos-e-pesquisas1/-/asset_publisher/qGiy9skHw4ar/content/impactos-na-saude-e-no-sistema-unico-de-saude-decorrentes-de-agravos-relacionados-a-um-saneamento-ambiental-inadequado?inheritRedirect=false. Acesso em: 07. abr. 2024.

GOMES, A. O. da S.; BELÉM, M. de O. **O lixo como um fator de risco à saúde pública na cidade de Fortaleza, Ceará**. SANARE - Revista de Políticas Públicas, [S. l.], v. 21, n. 1, 2022. Disponível em: <https://sanare.emnuvens.com.br/sanare/article/view/1563>. Acesso em: 14 jun. 2024.

GOUVEIA, N. **Saúde e meio ambiente nas cidades: os desafios da saúde ambiental**. Saúde e Sociedade, v. 8, n. 1, p. 49–61, jan. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-12901999000100005>. Acesso em: 11. mar. 2024

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico - Tabelas - Domicílios Particulares Permanentes Ocupados, por destino do lixo - Paraná**, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=39224&t=resultados>. Acesso em: 14 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão Regional do Brasil**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso em: 03. jun. 2024

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 14 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema de Contas Regionais**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pesquisa/10060/60147>. Acesso em: 14 mar. 2024.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Paraná em Números**. Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Parana-em-Numeros#:~:text=Sua%20economia%20apresenta%20marcante%20perfil,produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20carne%20de%20aves>. Acesso em: 19. abr. 2024.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Indicadores Sociais - IDH - Municípios do Paraná**. Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Indicadores-Sociais>. Acesso em: 28 mar. 2024.

LANDAU, E. C.; MOURA, L. **Variação geográfica do saneamento básico no Brasil em 2010: domicílios urbanos e rurais**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. cap. 8, p.189-211. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1063689>. Acesso em: 15. mar. 2024.

MARGULIS, S., ed. **Energia e Meio Ambiente**. In LA ROVERE, L. E. Meio Ambiente: aspectos técnicos e econômicos. Rio de Janeiro, IPEA: Brasília, IPEA/PNUD, 1990. (cap. 1). Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/12023>. Acesso em: 29 nov. 2023.

MONTEIRO, C. J. M. **Economia do Setor Público**. In MANKIW, G. N. Introdução à Economia: Princípios de Micro e Macroeconomia. Rio de Janeiro, Elsevier, 2001. (cap. 10)

NEVES, D. F. P. **Lixo marinho nos fundos oceânicos e a sua ingestão por peixes da costa portuguesa**, 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente Perfil de Gestão e Sistemas Ambientais, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/11049>. Acesso em: 13. mai. 2024

NUNES, F. G. **Análise exploratória espacial de indicadores de desenvolvimento socioambiental das regiões de planejamento do norte e nordeste goiano**. Ateliê Geográfico, Goiânia, v. 7, n. 1, p. 237–259, 2013. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/ateli/article/view/19809>. Acesso em: 27 mar. 2024.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 29 nov. 2023.

PEREIRA, M. P. R. **Análise Exploratória Espacial de Indicadores de Desenvolvimento Socioambiental: um olhar sobre a região metropolitana de Belo Horizonte**. Cadernos do Leste, [S. l.], v. 20, n. 20, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/view/19323>. Acesso em: 15 mar. 2024.

PETERSEN, C. B. **Interferência dos micro resíduos de plástico (microplásticos) no ecossistema marinho do Rio Grande do Sul**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 13–21, 2010. Disponível em: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/145>. Acesso em: 13. mai. 2024.

PINHEIRO, C.; OLIVEIRA, U.; VIEIRA, M. **Occurrence and Impacts of Microplastics in Freshwater Fish**. J Aquac Mar Biol 5(6): 00138, 2017. Disponível em: <https://medcraveonline.com/JAMB/occurrence-and-impacts-of-microplastics-in-freshwater-fish.html>. Acesso em: 27. mai. 2024.

PINHEIRO, D. K.; DEBONI, L. **O que você faz com seu lixo? Estudo sobre a destinação do lixo na zona rural de Cruz Alta/RS- Passo dos Alemães**. Revista

Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 13–21, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/2281>. Acesso em: 27. mai. 2024.

PLANO ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2018. Disponível em: <https://www.sedest.pr.gov.br/Pagina/Sobre#:~:text=Por%20sua%20vez%2C%20a%20coleta,coleta%20de%2092%2C%25>. Acesso em: 19. abr. 2024.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 27. fev. 2024.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Panorama Global do Manejo de Resíduos em 2024**. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/resources/panorama-global-do-manejo-de-residuos-em-2024>. Acesso em: 01. jun. 2024.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNDU). **Relatório de desenvolvimento humano 2021-22**. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/desenvolvimento-humano/publications/relatorio-de-desenvolvimento-humano-2021-22>. Acesso em 14 mar. 2024.

ROSSATO, M. V.; LIMA, J. E. de.; LÍRIO, V. S. **Condições econômicas e nível de qualidade ambiental no estado do Rio Grande do Sul**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 48, n. 3, p. 587–604, jul. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/c4hVBnTPt6FbRr7kGSLHfpr/#>. Acesso em: 16 mar. 2024.

ROVERSI, C. A. **Destinação dos resíduos sólidos no meio rural I**. 2013. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/22738>. Acesso em 11. mar. 2024

SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA (SIDRA). **Estimativas de População**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579>. Acesso em: 09. abr. 2024.

SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA (SIDRA). **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>. Acesso em: 09. abr. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (SINIR). **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/>. Acesso em 29 nov. 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 08. abr. 2024.

VENSON, A. H.; RODRIGUES, K. C. T.T.; CÂMARA, M. R. G. da. **Acesso aos serviços de abastecimento de água, rede de esgoto e coleta de lixo nos municípios do Paraná: uma abordagem espacial para os anos de 2006 e 2013**.

Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 243–261, 2016. Disponível em: <https://revistaaber.org.br/rberu/article/view/143>. Acesso em: 13 mar. 2024.

Y HAYDA et al. **Solid waste market:** cross-country analysis. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1150, 9th International Scientific Conference on Sustainability in Energy and Environmental Science, 2023. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1150/1/012012/meta>. Acesso em: 03 jul. 2024.