

O ICMS Ecológico como Indutor do Desenvolvimento Sustentável: Uma Análise da Efetividade da Política Pública e da Gestão Ambiental nos Municípios Paranaenses (2019-2024)

Nathália Caroline Faria Tago

Professora Doutora em Economia

Uniasselvi, Brasil

nathalia.tago@regente.uniasselvi.com.br

ORCID iD: 0000-0001-6853-1236

Carla Eunice Gomes Corrêa

Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental

Uniasselvi, Brasil

carla.correa@uniasselvi.com.br

ORCID iD: 0009-0001-4584-2899

O ICMS Ecológico como Indutor do Desenvolvimento Sustentável: Uma Análise da Efetividade da Política Pública e da Gestão Ambiental nos Municípios Paranaenses (2019-2024)

RESUMO

Objetivo: Analisar a efetividade da política pública do ICMS Ecológico como instrumento indutor do desenvolvimento sustentável e da gestão ambiental nos municípios paranaenses entre 2019 e 2024.

Metodologia: A pesquisa utilizou uma abordagem quantitativa e exploratória, empregando técnicas de análise fatorial, regressão linear múltipla com erros padrão robustos e indicadores de associação espacial (LISA). Os dados foram extraídos de planilhas oficiais do IPARDES e submetidos a testes de significância e multicolinearidade (VIF).

Originalidade/relevância: O estudo preenche uma lacuna na literatura ao integrar a análise fiscal dos repasses com a distribuição espacial e estatística robusta, evidenciando as disparidades municipais e a necessidade de correções metodológicas em estudos de finanças públicas ambientais.

Resultados: Os achados demonstram que, embora o modelo seja globalmente significativo, a capacidade explicativa das variáveis anuais isoladas é baixa, indicando que o repasse é influenciado por fatores estruturais e geográficos.

Contribuições teóricas/metodológicas: Identificou-se a formação de clusters de alta preservação, validando o ranking dos municípios líderes.

Contribuições sociais e ambientais: O trabalho contribui ao ratificar o uso de modelos robustos para tratar a heterocedasticidade em dados municipais e ao comprovar que a conectividade ambiental entre municípios vizinhos é um fator determinante na arrecadação do ICMS-E.

PALAVRAS-CHAVE: ICMS Ecológico; Desenvolvimento Sustentável; Regressão Linear Robusta; Municípios Paranaenses; Análise Espacial.

The Ecological ICMS as a Driver of Sustainable Development: An Analysis of the Effectiveness of Public Policy and Environmental Management in Municipalities of Paraná (2019–2024)

ABSTRACT

Objective: To analyze the effectiveness of the Ecological ICMS public policy as an instrument for promoting sustainable development and environmental management in municipalities of Paraná between 2019 and 2024.

Methodology: The research adopted a quantitative and exploratory approach, employing factor analysis techniques, multiple linear regression with robust standard errors, and Local Indicators of Spatial Association (LISA). Data were obtained from official IPARDES spreadsheets and subjected to significance and multicollinearity tests (VIF).

Originality/Relevance: The study fills a gap in the literature by integrating fiscal analysis of revenue transfers with spatial distribution and robust statistical analysis, highlighting municipal disparities and the need for methodological corrections in environmental public finance studies.

Results: The findings demonstrate that, although the model is globally significant, the explanatory capacity of the isolated annual variables is low, indicating that the transfers are influenced by structural and geographical factors.

Theoretical/Methodological Contributions: The study identified the formation of high-preservation clusters, validating the ranking of leading municipalities.

Social and Environmental Contributions: The research contributes by confirming the use of robust models to address heteroscedasticity in municipal data and by demonstrating that environmental connectivity among neighboring municipalities is a determining factor in the collection of the Ecological ICMS.

KEYWORDS: Ecological ICMS; Sustainable Development; Robust Linear Regression; Municipalities of Paraná; Spatial Analysis.

El ICMS Ecológico como Inductor del Desarrollo Sostenible: Un Análisis de la Efectividad de la Política Pública y de la Gestión Ambiental en los Municipios Paranaenses (2019–2024)

RESUMEN

Objetivo: Analizar la efectividad de la política pública del ICMS Ecológico como instrumento impulsor del desarrollo sostenible y de la gestión ambiental en los municipios paranaenses entre 2019 y 2024.

Metodología: La investigación utilizó un enfoque cuantitativo y exploratorio, empleando técnicas de análisis factorial, regresión lineal múltiple con errores estándar robustos e indicadores de asociación espacial (LISA). Los datos fueron extraídos de planillas oficiales del IPARDES y sometidos a pruebas de significancia y multicolinealidad (VIF).

Originalidad/Relevancia: El estudio llena un vacío en la literatura al integrar el análisis fiscal de las transferencias con la distribución espacial y el análisis estadístico robusto, evidenciando las disparidades municipales y la necesidad de correcciones metodológicas en estudios de finanzas públicas ambientales.

Resultados: Los hallazgos demuestran que, aunque el modelo es globalmente significativo, la capacidad explicativa de las variables anuales aisladas es baja, indicando que las transferencias están influenciadas por factores estructurales y geográficos.

Contribuciones teóricas/metodológicas: Se identificó la formación de clústeres de alta preservación, validando el ranking de los municipios líderes.

Contribuciones sociales y ambientales: El trabajo contribuye al ratificar el uso de modelos robustos para tratar la heterocedasticidad en datos municipales y al comprobar que la conectividad ambiental entre municipios vecinos es un factor determinante en la recaudación del ICMS Ecológico.

PALABRAS CLAVE: ICMS Ecológico; Desarrollo Sostenible; Regresión Lineal Robusta; Municipios Paranaenses; Análisis Espacial.

1 INTRODUÇÃO

A crescente incorporação da dimensão ambiental na formulação de políticas públicas no Brasil esteve associada à necessidade de conciliar crescimento econômico, preservação ambiental e justiça fiscal. Nesse contexto, o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) Ecológico consolidou-se como um importante instrumento de política pública, ao vincular critérios ambientais à repartição das receitas tributárias entre os municípios (Junior et al., 2025). No estado do Paraná, pioneiro na implementação dessa política, o ICMS Ecológico foi concebido como mecanismo indutor da conservação ambiental e do fortalecimento da gestão ambiental municipal, ao compensar financeiramente os entes locais que abrigam unidades de conservação ou mananciais de abastecimento, promovendo incentivos econômicos alinhados ao desenvolvimento sustentável (Albuquerque et al., 2022).

Para Moratta et al., (2024), a relevância do ICMS Ecológico extrapolou sua função arrecadatória, ao assumir papel estratégico na promoção de políticas ambientais descentralizadas e no estímulo à adoção de práticas sustentáveis pelos municípios. Estudos apontaram que a transferência condicionada de recursos contribuiu para ampliar a capacidade institucional local, estimular investimentos ambientais e fortalecer a governança territorial, especialmente em regiões com restrições ao uso do solo. Assim, a análise da efetividade dessa política pública tornou-se fundamental para compreender se os incentivos fiscais efetivamente se traduziram em melhorias ambientais, socioeconômicas e na qualidade da gestão pública municipal, principalmente o período pós pandemia COVID-19.

Diante desse cenário, o problema de pesquisa que norteou este estudo consistiu em investigar se o ICMS Ecológico atuou, de fato, como indutor do desenvolvimento sustentável e da melhoria da gestão ambiental nos municípios paranaenses ao longo do tempo. A questão central buscou responder se a política apresentou efeitos mensuráveis e consistentes sobre indicadores de desempenho ambiental e socioeconômico, bem como se esses efeitos ocorreram de maneira homogênea ou espacialmente concentrada. A delimitação temporal e espacial da análise mostrou-se relevante para identificar padrões de autocorrelação e possíveis desigualdades territoriais associadas à implementação da política, como sugere Brandão e Antonello (2026).

2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa consistiu em analisar a efetividade do ICMS Ecológico como política pública indutora do desenvolvimento sustentável e da gestão ambiental nos municípios paranaenses. Para o alcance desse propósito, estabeleceram-se três objetivos específicos que estruturaram o desenvolvimento do trabalho.

O primeiro objetivo específico buscou fundamentar o arcabouço teórico e histórico da tributação verde e da extrafiscalidade como instrumentos de comando e controle. Já o segundo pretendeu examinar os critérios de repasse e a variação da arrecadação municipal frente aos indicadores de conservação e o terceiro focou-se em avaliar os impactos socioeconômicos e ambientais gerados por esses recursos na governança local. Conforme sugerido pela literatura especializada (BRANDÃO; ANTONELLO, 2026; MORATTA et al., 2023), tal estruturação permitiu verificar se o incentivo financeiro de fato promoveu a preservação da biodiversidade ou se serviu apenas como incremento orçamentário, justificando a divisão do trabalho em capítulos que

abordaram, sucessivamente, a fundamentação teórica, a análise dos mecanismos de repartição e os resultados práticos da política pública.

2 METODOLOGIA/MÉTODO DE ANÁLISE

A presente investigação fundamentou-se em uma abordagem quantitativa e exploratória, estruturada para examinar a correlação entre os repasses do ICMS Ecológico e os indicadores de desenvolvimento sustentável no Estado do Paraná. A fundamentação teórica pautou-se na premissa de que mecanismos fiscais operam como instrumentos de indução de políticas públicas ambientais, conforme discutido por Brandão e Antonello (2026), que destacam a viabilidade econômica do tributo como modalidade de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Para a operacionalização da análise, o método foi segmentado em quatro estágios distintos: o tratamento de dados brutos; a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE); o emprego de técnicas estatísticas de análise fatorial e de clusters hierárquicos e, por fim, a consolidação de um ranking de sustentabilidade municipal.

No que tange à coleta e ao tratamento de dados, o estudo concentrou-se na análise dos valores totais repassados, com ênfase específica nas variáveis relativas às Unidades de Conservação e aos Mananciais de Abastecimento. Essa decomposição foi essencial para compreender a distribuição da receita tributária sob a ótica da extrafiscalidade, princípio que, segundo Júnior et al. (2024), recompensa municípios pela restrição ao uso do solo em favor da preservação. A integração dessas dimensões permitiu uma visão multidimensional do desenvolvimento local, superando a análise meramente financeira para abarcar a eficácia da governança territorial.

A análise espacial e o agrupamento por clusters permitiram identificar padrões de eficiência na gestão pública municipal. Esse rigor metodológico buscou responder às lacunas apontadas por Felipetto et al. (2024), que investigaram a influência do ICMS Ecológico na efetividade da gestão medida por índices de desempenho ambiental. Ao final, a construção do ranking de sustentabilidade mensurou o impacto histórico da política pública pioneira do Paraná e forneceu subsídios para recomendações estratégicas, alinhando-se à perspectiva de Moratta et al. (2023) sobre o papel indutor deste imposto no incremento do desenvolvimento sustentável em cidades de pequeno porte.

3.1 Coleta e Tratamento de Dados

As variáveis utilizadas na pesquisa foram selecionadas com base em sua relevância para a análise do repasse monetário do ICMS no Paraná, entre 2019 e 2024, com foco na sustentabilidade e direcionamento de investimentos. Os dados fornecidos Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (2026), de modo mais simplicista, os dados apresentam a distribuição dos repasses do ICMS Ecológico no estado do Paraná, discriminados por município e por Região Geográfica Intermediária (RGI), no período de 2019 a 2024, em valores nominais (R\$ 1,00). Observa-se que o montante total destinado ao ICMS Ecológico no estado apresenta tendência de crescimento ao longo do período analisado, indicando o fortalecimento dessa política pública como instrumento econômico de incentivo à preservação ambiental.

Os repasses estão organizados segundo dois critérios principais: Unidades de Conservação e Mananciais de Abastecimento, evidenciando a lógica compensatória do ICMS

Ecológico, que busca remunerar financeiramente os municípios que possuem restrições ao uso do solo em função da preservação ambiental. Notou-se, pela base de dados, que municípios com maior presença de áreas protegidas ou mananciais estratégicos tendem a apresentar valores mais elevados e recorrentes ao longo dos anos.

Adicionalmente, a tabela revela heterogeneidade espacial significativa na distribuição dos recursos, tanto entre municípios quanto entre regiões intermediárias, refletindo diferenças estruturais, ambientais e territoriais. Enquanto alguns municípios apresentam repasses contínuos e crescentes, outros registram valores nulos ou esporádicos, o que pode estar associado à inexistência de áreas enquadradas nos critérios legais do ICMS Ecológico ou a alterações nos parâmetros de cálculo.

Dessa forma, a tabela constitui um instrumento analítico relevante para avaliar o papel do ICMS Ecológico na promoção do desenvolvimento sustentável regional, ao permitir a identificação de padrões temporais, desigualdades territoriais e a efetividade dos mecanismos de compensação ambiental adotados pelo estado do Paraná.

Tabela 1 – Municípios com maiores repasses de ICMS Ecológico no Paraná (2019–2024)

Município	Região Geográfica Intermediária (RGI)	Total ICMS Ecológico 2019–2024 (R\$)
Piraquara	RGI de Curitiba	234.903.300,00
Campo Magro	RGI de Curitiba	103.111.400,00
São José dos Pinhais	RGI de Curitiba	89.127.600,00
Castro	RGI de Ponta Grossa	74.574.600,00
Cambé	RGI de Londrina	67.757.100,00
São Jorge do Patrocínio	RGI de Umuarama	64.548.400,00
Carambeí	RGI de Ponta Grossa	63.599.800,00
Campo Largo	RGI de Curitiba	55.818.700,00
Quatro Barras	RGI de Curitiba	53.954.600,00
Arapongas	RGI de Londrina	49.201.300,00

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras com base no IPARDES (2026).

Pela Tabela 1, observa-se que os municípios com maiores volumes acumulados de repasses de ICMS Ecológico concentram-se, majoritariamente, na RGI de Curitiba, o que evidencia a forte presença de mananciais de abastecimento e unidades de conservação ambiental nessa região. Destaca-se o município de Piraquara, cujo montante supera amplamente os demais, refletindo seu papel estratégico na proteção de recursos hídricos essenciais para a Região Metropolitana de Curitiba.

Além disso, a presença de municípios das RGIs de Ponta Grossa, Londrina e Umuarama indica que o ICMS Ecológico também exerce relevância fora da região metropolitana, funcionando como um mecanismo de compensação ambiental e de redistribuição fiscal. Esses resultados reforçam a importância do ICMS Ecológico como instrumento de política pública voltado à sustentabilidade ambiental, ordenamento territorial e desenvolvimento regional equilibrado.

3.2 Análise da Autocorrelação Espacial Global e Local: Aplicações de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), Índice de Moran e Indicadores LISA

A Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) foi conduzida por meio do software GeoDa, com o objetivo de identificar padrões espaciais, relações de dependência e a formação

de clusters geográficos associados ao desenvolvimento sustentável dos municípios. Conforme destacado por Sousa et al. (2021), a aplicação da AEDE envolve, inicialmente, a definição de uma matriz de pesos espaciais, construída a partir de critérios de contiguidade territorial e da distância euclidiana entre as unidades municipais analisadas.

Nesse contexto, o Índice Global de Moran constitui-se como uma das principais estatísticas utilizadas, uma vez que permite mensurar a autocorrelação espacial em nível global, possibilitando verificar a existência de padrões significativos de concentração espacial ou, alternativamente, de dispersão dos fenômenos observados. Assim, o índice auxilia na identificação de estruturas espaciais que não ocorrem de forma aleatória no território.

De modo complementar, a autocorrelação espacial global, expressa pelo Índice de Moran (I), avalia o grau de associação espacial entre variáveis ao considerar, simultaneamente, a localização geográfica e os valores atribuídos a cada unidade espacial. A partir dessa abordagem, torna-se possível classificar a distribuição dos dados segundo padrões agrupados, dispersos ou aleatórios, contribuindo para uma interpretação mais robusta das dinâmicas territoriais.

Dessa forma, o cálculo do Índice I de Moran resulta em um valor estatístico acompanhado de um *escore-z* e de um p-valor, os quais indicam a significância estatística da autocorrelação espacial identificada. O p-valor, por sua vez, é obtido com base na área sob a curva de uma distribuição teórica de referência, permitindo avaliar a consistência e a confiabilidade dos padrões espaciais observados. Segundo Sesso et al. (2025, p. 9), a formulação do Índice de Moran para a mensuração da autocorrelação espacial é expressa por:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (1)$$

Onde:

z é o desvio de um atributo para o recurso I de sua média (x_i e \bar{X});

n é o número de unidades espaciais, isto é, número total de características;

y_i é a variável de interesse;

w_{ij} representa a matriz de pesos espaciais, ou seja, o peso espacial para as unidades espaciais i e j (características), ponderando-se o grau de interação entre elas;

S_0 é a soma dos elementos dessa matriz.

Porém, para Sesso Filho et al. (2025, p.79), para se determinar o peso agregado de todos os pesos espaciais (S_0), a função dada é:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} \quad (2)$$

Em consonância, Filho et al. (2021), indicam que o *escore* de z_i na estatística de I de Moran pode ser calculada por:

$$z_I = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (3)$$

Segundo Ramos e Filho (2023), na ausência de um padrão espacial significativo entre as variáveis analisadas, a Estatística I de Moran constitui um instrumento formal para mensurar

a associação linear da variável de interesse após sua centralização, isto é, a partir da subtração de sua média, resultando na variável padronizada (z). Nessa perspectiva, conforme Almeida (2012), ao considerar a defasagem espacial dessa variável (w_z), a estatística passa a ser interpretada à luz de sua esperança matemática, $E(I)$, a qual corresponde ao valor esperado do Índice de Moran sob a hipótese de inexistência de autocorrelação espacial, conforme expresso na equação (4).

$$E [I] = \frac{-1}{(n-1)} \quad (4)$$

Se $I > E(I)$: há autocorrelação espacial positiva;
Se $I < E(I)$: há autocorrelação espacial negativa.

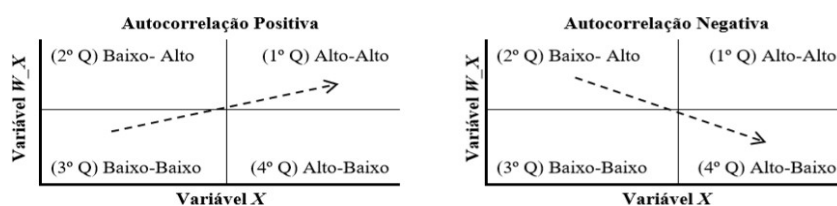
Observa-se que o valor esperado de $E(I)$ evidencia que, mesmo na hipótese de independência espacial, o índice de Moran apresenta uma tendência a assumir valores ligeiramente negativos, em decorrência da própria estrutura matemática da estatística. Dessa forma, resultados que se afastam de maneira significativa (positiva ou negativamente) desse valor esperado indicam a presença de autocorrelação espacial positiva ou negativa, respectivamente. Nesse sentido, a variância assume papel central como medida estatística capaz de expressar o grau de dispersão de uma variável em relação à sua média.

No âmbito da Estatística I de Moran, a variância é empregada para verificar a estabilidade do índice sob a hipótese nula de ausência de autocorrelação espacial, sendo definida, nessa condição, conforme a Equação (5):

$$V [I] = E [I^2] - (E [I])^2 \quad (5)$$

A Equação (5) evidencia que a variância do índice depende simultaneamente do valor esperado da estatística e do valor esperado de seu quadrado, permitindo avaliar a probabilidade de ocorrência de valores extremos do I de Moran atribuíveis ao acaso. Ademais, o cálculo de $E(I)$ está condicionado à matriz de pesos espaciais (w), ao número de observações (n) e a momentos estatísticos de ordem superior da variável analisada. Em razão dessa complexidade, é recorrente na literatura a utilização de métodos de simulação, como aqueles associados ao Diagrama de Dispersão de Moran ou de expressões analíticas específicas para determinados arranjos espaciais.

O Diagrama de Dispersão de Moran consiste em uma representação gráfica na qual o eixo horizontal apresenta os valores padronizados da variável de interesse, enquanto o eixo vertical corresponde à sua defasagem espacial, isto é, aos valores médios observados entre as unidades vizinhas. Esse instrumento expressa, de forma visual, a associação linear espacial global, possibilitando uma análise mais detalhada dos padrões de dependência espacial (Sesso et al., 2021). Para além do valor do coeficiente de Moran, o diagrama permite identificar a formação de agrupamentos espaciais (clusters), os quais podem ser classificados em quatro categorias distintas, conforme a tipologia proposta por Beirão et al. (2023).

Figura 1 - Ilustração do diagrama de dispersão de Moran

Fonte: Beirão et al. (2023, p.99)

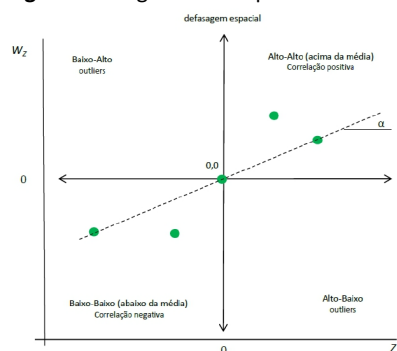
A partir da Figura 1, Beirão et al. (2023) evidenciam que os agrupamentos espaciais podem ser interpretados conforme a posição das observações nos quadrantes do Diagrama de Dispersão de Moran. O cluster do tipo Alto–Alto (AA) corresponde às unidades espaciais que apresentam valores elevados da variável analisada e que estão circundadas por vizinhos igualmente caracterizados por altos valores, sendo identificadas no segundo quadrante do gráfico. De forma análoga, o agrupamento Baixo–Baixo (BB), localizado no terceiro quadrante, representa áreas com baixos valores da variável de interesse, inseridas em um contexto espacial igualmente marcado por valores reduzidos.

Em contraste, o cluster Alto–Baixo (AB), associado ao quarto quadrante, indica a presença de unidades espaciais com valores elevados da variável, porém inseridas em uma vizinhança composta por unidades com baixos valores. Complementarmente, o agrupamento Baixo–Alto (BA), situado no primeiro quadrante, destaca as unidades que apresentam valores reduzidos da variável, mas que são circundadas por vizinhos com valores elevados. De maneira geral, a disposição das observações nos quadrantes permite identificar padrões de autocorrelação espacial positiva, representados pelos clusters AA e BB, e de autocorrelação espacial negativa, associados aos agrupamentos AB e BA, contribuindo de forma significativa para a compreensão da estrutura espacial da variável analisada (Sesso et al., 2021).

De forma sintética, Beirão et al. (2023) apontam que o Diagrama de Dispersão de Moran (Figura 1) constitui um instrumento gráfico amplamente utilizado para a visualização da autocorrelação espacial. Nesse diagrama, os valores padronizados da variável de interesse são representados no eixo horizontal (x), enquanto a sua defasagem espacial (definida como a média ponderada dos valores observados nas unidades vizinhas) é apresentada no eixo vertical (w_y). A intensidade e o sentido da autocorrelação espacial são expressos pela inclinação da reta ajustada ao conjunto de pontos, a qual é estimada por meio de uma regressão linear utilizando o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

De modo complementar, Sousa et al. (2021) ressaltam que o Diagrama de Dispersão de Moran com defasagem espacial explicita a relação existente entre o valor da variável em uma determinada unidade espacial e a média dessa mesma variável nas unidades adjacentes. Nesse contexto, o eixo horizontal apresenta os valores normalizados da variável de interesse, enquanto o eixo vertical expressa a média espacial igualmente normalizada. Tal abordagem possibilita a identificação de padrões de dependência espacial, como a formação de aglomerações de valores elevados ou reduzidos (clusters), sendo particularmente relevante para a análise de desigualdades regionais, ao evidenciar como áreas geograficamente próximas exercem influência mútua.

Figura 2 - Diagrama de espalhamento de Moran



Fonte: Sousa et al. (2021, p.189)

Conforme ilustrado por Sousa et al. (2021), embora o Diagrama de Dispersão de Moran constitua um instrumento gráfico relevante para a identificação da autocorrelação espacial em nível global, sua aplicação limita-se à observação de tendências gerais entre uma variável e sua estrutura de vizinhança. Dessa forma, torna-se necessária uma abordagem complementar capaz de captar a heterogeneidade espacial e evidenciar padrões localizados de dependência espacial, particularmente no que se refere à identificação de agrupamentos estatisticamente significativos. Nesse contexto, a adoção dos Indicadores Locais de Associação Espacial (Local Indicators of Spatial Association – LISA) mostra-se adequada, uma vez que, enquanto o diagrama oferece uma visão agregada do fenômeno, os indicadores locais permitem a detecção de estruturas espaciais específicas e diferenciadas.

Sob essa perspectiva, Fernandes e Stachio (2024, p. 20) destacam que os Indicadores Locais de Associação Espacial devem satisfazer dois requisitos estatísticos essenciais: (i) a capacidade de identificar clusters espacialmente significativos e (ii) a propriedade de coerência entre as medidas locais e o indicador global, de modo que a soma dos resultados locais seja consistente com o valor da estatística global. Essa relação formal pode ser expressa conforme a Equação (6):

$$L_i = f(y_i, y_{ji}) \tag{6}$$

De acordo com os autores, a função $f(\cdot)$ pode incorporar parâmetros adicionais, enquanto y_{ji} representa os valores observados na vizinhança j da unidade espacial i . Os valores utilizados na construção da estatística podem corresponder tanto aos dados originais quanto, de forma mais recorrente, a versões padronizadas dessas observações. A utilização de dados normalizados tem como objetivo minimizar os efeitos da escala sobre os indicadores locais, promovendo maior comparabilidade entre as unidades espaciais e assegurando consistência metodológica com as práticas adotadas nos indicadores globais de associação espacial.

3.3 Análise Fatorial

Neste estudo, a análise fatorial foi adotada como estratégia metodológica para a redução da dimensionalidade do conjunto de dados e para a identificação de padrões subjacentes aos indicadores socioeconômicos, ambientais e de investimentos dos municípios do estado do Paraná, no período compreendido entre 2000 e 2024. Trata-se de uma técnica estatística multivariada amplamente utilizada quando se busca sintetizar muitas variáveis

observáveis em um conjunto menor de fatores latentes, mutuamente não correlacionados, capazes de explicar a maior parte da variabilidade presente nos dados originais (Santos, 2021). Formalmente, considera-se um vetor aleatório $X_{p \times 1}$, constituído por p variáveis previamente padronizadas, cuja estrutura pode ser representada pelo modelo fatorial clássico, conforme expresso na Equação (7):

$$X_j - \mu_j = l_{j1}F_1 + l_{j2}F_2 + \dots + l_{jm}F_m + s_j \quad (7)$$

em que:

X_j corresponde à j -ésima variável observada;

μ_j representa sua média;

l_{jk} são as cargas fatoriais que expressam o grau de associação entre a variável X_j e o fator comum;

F_k ; F_1, F_2, \dots, F_m denotam os fatores latentes responsáveis pela variância comum compartilhada entre as variáveis; e

s_j refere-se ao componente específico ou unicidade, que capta a parcela da variância não explicada pelos fatores comuns.

A verificação da adequação dos dados à aplicação da análise fatorial foi realizada por meio do índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), o qual avalia o grau de correlação parcial entre as variáveis. Conforme indicado por Bezerra et al. (2020), valores de KMO superiores a 0,70 sinalizam uma adequação satisfatória da amostra para a utilização da técnica. De forma complementar, aplicou-se o Teste de Esfericidade de Bartlett, cuja rejeição da hipótese nula de que a matriz de correlações é uma matriz identidade ($p < 0,001$) confirma a existência de correlações estatisticamente significativas entre as variáveis, assegurando a viabilidade da análise fatorial.

A etapa de extração dos fatores foi conduzida por meio do Método dos Componentes Principais, em razão de sua robustez metodológica e por não exigir pressupostos restritivos quanto à distribuição dos dados, conforme discutido por Santos et al. (2021). Segundo os autores, a seleção do número de fatores pode ser orientada pelo critério de Kaiser, que recomenda a retenção apenas daqueles componentes associados a autovalores superiores à unidade. Posteriormente, procedeu-se à rotação ortogonal Varimax, com o objetivo de aprimorar a interpretabilidade dos fatores, ao maximizar a variância das cargas fatoriais e manter a ortogonalidade entre os componentes extraídos.

Dessa forma, a interpretação dos fatores baseou-se na identificação de estruturas latentes conceitualmente consistentes com os fenômenos analisados, permitindo a formulação de hipóteses fatoriais alinhadas aos eixos socioeconômico, ambiental e de investimentos que orientam o presente estudo.

A avaliação da adequação dos dados para a aplicação da análise fatorial foi realizada por meio do índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), conforme procedimento adotado por Bezerra et al. (2020). Valores do KMO superiores a 0,70 indicam um nível satisfatório de correlação entre as variáveis, evidenciando a adequação da amostra à utilização da técnica. De forma complementar, aplicou-se o Teste de Esfericidade de Bartlett, cujo resultado estatisticamente significativo ($p < 0,001$) permite rejeitar a hipótese nula de que a matriz de correlações seja uma matriz identidade, confirmando a existência de inter-relações relevantes entre as variáveis e,

consequentemente, a viabilidade da análise fatorial.

A etapa de extração dos fatores foi conduzida por meio do Método dos Componentes Principais, em razão de sua reconhecida robustez e por não exigir pressupostos restritivos quanto à distribuição dos dados, conforme destacado por Santos et al. (2021). Segundo os autores, a definição do número de fatores a serem retidos pode ser orientada pelo critério de Kaiser, que recomenda a manutenção apenas dos componentes associados a autovalores superiores a 1. Posteriormente, procedeu-se à rotação ortogonal do tipo Varimax, com o objetivo de aprimorar a interpretabilidade dos fatores extraídos, ao maximizar a variância das cargas fatoriais e preservar a independência entre os componentes.

Nesse contexto, a interpretação dos fatores fundamenta-se na identificação de estruturas latentes estatisticamente consistentes e conceitualmente alinhadas aos objetivos do estudo, possibilitando a formulação de hipóteses fatoriais coerentes com os fenômenos analisados:

Hipótese 1 (H1): Os municípios paranaenses que recebem maiores volumes de repasses do ICMS Ecológico apresentam melhor desempenho em indicadores ambientais e de gestão ambiental no período de 2019 a 2024, em comparação àqueles com menores repasses, indicando a efetividade do ICMS Ecológico como instrumento indutor da conservação ambiental.

Hipótese 2 (H2): Existe uma relação positiva e estatisticamente significativa entre os repasses do ICMS Ecológico e indicadores socioeconômicos associados à qualidade de vida municipal, sugerindo que a política pública contribui para o desenvolvimento sustentável ao integrar dimensões ambientais e socioeconômicas nos municípios paranaenses.

Hipótese 3 (H3): Os efeitos do ICMS Ecológico sobre o desenvolvimento sustentável apresentam dependência espacial, de modo que municípios geograficamente próximos tendem a exibir padrões semelhantes de desempenho ambiental e socioeconômico, formando *clusters* espaciais associados à intensidade dos repasses e à qualidade da gestão ambiental.

A partir dos escores fatoriais estimados para cada município, propõe-se a construção de índices sintéticos de desenvolvimento sustentável, os quais serão utilizados como insumo para a aplicação da Análise de Clusters Hierárquicos. Tal procedimento permite o agrupamento de municípios com características semelhantes, possibilitando a identificação de padrões territoriais e espaciais relevantes.

De maneira integrada, esses agrupamentos, em conjunto com a interpretação dos fatores extraídos, viabilizam a elaboração de um ranking de sustentabilidade municipal, contribuindo para a compreensão das disparidades regionais existentes no estado do Paraná. Nesse sentido, os resultados obtidos oferecem subsídios técnicos para o planejamento e a formulação de políticas públicas voltadas à promoção do desenvolvimento sustentável, à elevação da qualidade de vida da população e à alocação mais eficiente e estratégica de investimentos em âmbito municipal.

3.4 Análise de Clusters Hierárquicos nos Municípios Paranaenses

A identificação de padrões espaciais por meio da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), este estudo incorpora a Análise de Clusters Hierárquicos (ACH) como estratégia complementar para o agrupamento dos municípios paranaenses em conjuntos relativamente homogêneos, considerando características socioeconômicas, ambientais e de infraestrutura. A

adoção dessa técnica justifica-se por sua capacidade de identificar similaridades estruturais entre unidades territoriais, independentemente de sua proximidade geográfica, permitindo a revelação de agrupamentos latentes e distintos padrões de desenvolvimento regional (Ramos et al., 2024).

Conforme Ramos et al. (2024), a análise de clusters hierárquicos consiste em uma técnica multivariada de classificação que organiza um conjunto de observações em grupos, a partir do grau de similaridade entre as variáveis analisadas. Nesse contexto, os municípios são alocados em clusters com base em medidas de distância — como a distância euclidiana — sendo necessária a padronização prévia das variáveis, a fim de garantir comparabilidade entre escalas distintas. Os resultados desse processo são usualmente representados por meio de dendrogramas, estruturas gráficas em forma de árvore invertida que permitem visualizar as etapas sucessivas de fusão entre os agrupamentos (Filho, 2016).

Entre as principais características metodológicas da análise hierárquica destaca-se a flexibilidade na definição do número de clusters, uma vez que esse não precisa ser previamente estabelecido, diferentemente de métodos particionais, como o k-means. A formação dos agrupamentos ocorre de maneira iterativa, a partir de uma matriz de similaridade ou dissimilaridade, em que as observações mais próximas são sucessivamente combinadas, até que todas as unidades sejam incorporadas em um único cluster global (Santos, 2023).

Esse procedimento é formalizado, segundo Ran et al. (2023), por meio dos algoritmos Sequential, Agglomerative, Hierarchical, Nonoverlapping (SAHN), amplamente empregados em estudos multivariados. A lógica subjacente a esses algoritmos baseia-se na identificação, a cada iteração, do par de observações ou grupos com maior similaridade, os quais são então fundidos em um novo agrupamento. Após cada fusão, a matriz de distâncias é atualizada, e o processo se repete até a completa hierarquização das unidades analisadas.

Adicionalmente, Oti e Olusola (2024) ressaltam que a escolha da métrica de distância e do método de ligação (linkage) exerce influência direta sobre a configuração final dos clusters. Segundo os autores, a utilização da distância euclidiana associada ao método de ligação média (average linkage) tende a produzir resultados equilibrados em termos de variabilidade intra e intergrupos, especialmente quando aplicados a variáveis contínuas previamente padronizadas.

Nesse sentido, a aplicação da Análise de Clusters Hierárquicos possibilita a identificação de grupos de municípios com perfis semelhantes de desenvolvimento, além de evidenciar disparidades regionais e semelhanças estruturais entre localidades geograficamente distantes, mas socioeconomicamente convergentes (Oti; Olusola, 2024). Todavia, os autores destacam que a interpretação dos agrupamentos deve ser realizada de forma integrada aos fatores extraídos na Análise Fatorial, estabelecendo conexões entre os clusters identificados e os eixos analíticos relacionados à qualidade de vida, infraestrutura urbana e sustentabilidade ambiental.

Dessa forma, a Análise de Clusters Hierárquicos configura-se como uma ferramenta analítica relevante para a compreensão da heterogeneidade territorial do estado do Paraná, fornecendo subsídios à formulação de estratégias de desenvolvimento sustentável territorialmente orientadas.

A partir dos escores fatoriais padronizados obtidos na análise fatorial, procede-se à aplicação da ACH com o objetivo de identificar grupos de municípios paranaenses que compartilham padrões semelhantes de desenvolvimento sustentável. Para tal, adota-se o

método de aglomeração de Ward, recomendado por Oti e Olusola (2024), por sua capacidade de minimizar a variância intragrupo e maximizar a variância entre os grupos, resultando em estruturas de clusters mais coesas.

Com base na matriz de dissimilaridade associada ao Índice de Moran I aplicado aos escores fatoriais, a definição do número ótimo de agrupamentos considera critérios de consistência interna e pseudo-significância, culminando na identificação de quatro clusters principais. Esses agrupamentos apresentam distinções relevantes quanto aos níveis de qualidade de vida urbana, sustentabilidade ambiental e direcionamento de investimentos, em consonância com os achados de Lisbinski et al. (2020).

Na sequência, o Quadro 1 apresenta o esquema conceitual esperado das hipóteses associadas aos fatores derivados da análise fatorial.

Quadro 1 – Resumo das Hipóteses dos Fatores da Análise Fatorial (Escore)

Fator	Dimensão Analítica	Principais Variáveis Associadas	Interpretação do Escore Fatorial	Hipótese Analítica
Fator 1	Sustentabilidade Ambiental	ICMS Ecológico – Unidades de Conservação; ICMS Ecológico – Mananciais; Área protegida; Gastos ambientais	Escore elevado indicam maior esforço institucional e maior dependência de instrumentos ambientais de conservação	Municípios com maiores escores apresentam melhor desempenho ambiental e maior efetividade do ICMS Ecológico
Fator 2	Qualidade de Vida e Desenvolvimento Socioeconômico	Renda; Infraestrutura urbana; Indicadores sociais associados ao bem-estar	Escore elevado refletem melhores condições socioeconômicas e maior capacidade de absorção de políticas públicas	Municípios com maiores escores socioeconômicos tendem a potencializar os efeitos do ICMS Ecológico
Fator 3	Capacidade de Investimento e Gestão Pública	Investimentos públicos; Capacidade fiscal; Destinação de recursos ambientais	Escore elevado indicam maior capacidade administrativa e eficiência na alocação de recursos	Municípios com maior capacidade de investimento apresentam maior retorno do ICMS Ecológico em desenvolvimento sustentável

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras (2026).

O Quadro 1 evidencia a estrutura latente dos dados a partir da Análise Fatorial, sintetizando os principais eixos explicativos do desenvolvimento sustentável municipal. Os fatores extraídos representam dimensões distintas, porém complementares, relacionadas à sustentabilidade ambiental, à qualidade de vida e à capacidade de investimento público. Os escores fatoriais permitem avaliar o posicionamento relativo dos municípios em cada dimensão analisada. Dessa forma, a tabela subsidia a formulação de hipóteses analíticas acerca da efetividade do ICMS Ecológico. Tais hipóteses orientam a interpretação dos resultados empíricos do estudo, como o apontado no Quadro 2.

Quadro 2 – Caracterização dos Clusters de Municípios Paranaenses

Cluster	Perfil Geral	Características Predominantes	Desempenho Ambiental	Desempenho Socioeconômico	Interpretação Territorial
Cluster 1	Alto Desenvolvimento Sustentável	Altos escores ambientais e socioeconômicos; forte presença de UC e mananciais	Elevado	Elevado	Municípios consolidados, com gestão ambiental eficiente e bom uso do ICMS Ecológico
Cluster 2	Ambientalmente Sensíveis	Altos escores ambientais e baixos	Elevado	Baixo a médio	Municípios com forte restrição ambiental e

		socioeconômicos			dependência do ICMS Ecológico
Cluster 3	Desenvolvimento Intermediário	Escores médios nos fatores ambientais e socioeconômicos	Médio	Médio	Municípios em transição, com potencial de fortalecimento da política ambiental
Cluster 4	Baixo Desenvolvimento Sustentável	Baixos escores em todos os fatores	Baixo	Baixo	Municípios com baixa capacidade institucional e menor efetividade da política

Observação metodológica: A caracterização dos clusters foi realizada a partir dos escores fatoriais padronizados, permitindo a identificação de padrões homogêneos de desenvolvimento sustentável entre os municípios paranaenses, independentemente de sua localização geográfica, mas considerando suas estruturas socioeconômicas, ambientais e institucionais.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras (2026).

Por fim, o Quadro 2 apresenta a tipologia dos municípios paranaenses a partir da Análise de Clusters Hierárquicos, considerando os escores fatoriais obtidos. Os clusters identificam grupos homogêneos com padrões distintos de desempenho ambiental, socioeconômico e institucional. Essa classificação permite evidenciar desigualdades territoriais e diferentes níveis de efetividade do ICMS Ecológico. Além disso, a análise dos clusters contribui para a compreensão da heterogeneidade regional do Paraná. Os resultados fornecem subsídios para o direcionamento de políticas públicas territorialmente orientadas.

3.5 Fonte de dados e escolha do dimensionamento Paranaense

A definição das fontes de dados constitui etapa fundamental para a robustez analítica e a coerência metodológica deste estudo. Nesse sentido, optou-se pela utilização de bases de dados oficiais e amplamente reconhecidas, com destaque para o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES), responsável pela sistematização de informações socioeconômicas, demográficas, ambientais e fiscais dos municípios do estado do Paraná. As bases disponibilizadas pelo IPARDES asseguram padronização metodológica, comparabilidade temporal e abrangência territorial, elementos essenciais para análises espaciais e multivariadas em nível municipal.

Os dados referentes ao ICMS Ecológico foram obtidos a partir de registros oficiais do governo do Estado do Paraná, contemplando os repasses anuais destinados aos municípios em função da existência de unidades de conservação, mananciais de abastecimento e demais critérios ambientais estabelecidos pela legislação estadual. A utilização desses dados permite avaliar a efetividade do ICMS Ecológico enquanto instrumento de política pública ambiental e fiscal, além de possibilitar a análise de sua relação com indicadores de desenvolvimento sustentável e gestão ambiental no período de 2019 a 2024. As variáveis de estudo são:

- **Variável dependente:** Municípios (MUNIC)
- **Total:** Valores em R\$ 1,00
- **Unidades de Conservação (UNID)**
- **Mananciais de Abastecimento (MANAC).**

A escolha do recorte territorial paranaense justifica-se tanto pela relevância histórica do Paraná como estado pioneiro na implementação do ICMS Ecológico no Brasil quanto pela

disponibilidade e qualidade das informações em nível municipal. Ademais, o estado apresenta elevada heterogeneidade socioeconômica, ambiental e institucional, o que favorece a identificação de padrões espaciais diferenciados e a aplicação de técnicas como Análise Fatorial, Análise Exploratória de Dados Espaciais e Análise de Clusters Hierárquicos.

Complementarmente, a revisão de literatura desempenha papel central na fundamentação teórica e metodológica do estudo, permitindo contextualizar o ICMS Ecológico no âmbito das políticas públicas de desenvolvimento sustentável. A literatura especializada oferece subsídios para a seleção das variáveis, a definição das hipóteses de pesquisa e a escolha das técnicas analíticas empregadas, além de possibilitar a comparação dos resultados obtidos com evidências empíricas já consolidadas. Assim, a articulação entre dados empíricos oficiais e referencial teórico contribui para uma análise consistente e alinhada aos debates contemporâneos sobre sustentabilidade, gestão ambiental e finanças públicas municipais.

4 RESULTADOS

O desenvolvimento sustentável caracteriza-se como um fenômeno de natureza multidimensional, resultante da interação entre aspectos econômicos, sociais, ambientais e institucionais, os quais se manifestam de maneira desigual no espaço geográfico. No contexto municipal, a análise dessas dimensões torna-se fundamental para compreender como políticas públicas específicas influenciam a qualidade de vida da população. Nesse sentido, indicadores sintéticos de desenvolvimento têm sido amplamente empregados para captar essas múltiplas dimensões, especialmente quando associados a instrumentos fiscais e ambientais, como o ICMS Ecológico.

4.1 Análise dos Resultados da Regressão

A compreensão dos efeitos das políticas públicas ambientais sobre as finanças municipais exige um rigor metodológico que transcenda a análise descritiva. Os dados extraídos de registros oficiais (compilados em planilha eletrônica) foram submetidos à técnica de regressão linear múltipla, visando identificar a relação entre o repasse do ICMS Ecológico e variáveis socioeconômicas e ambientais dos municípios paranaenses ao longo do tempo.

A utilização da regressão linear justifica-se pela necessidade de isolar o efeito de cada variável independente sobre a variável dependente, permitindo verificar se os incentivos financeiros estão, de fato, correlacionados com a preservação ambiental. Conforme aponta Loureiro (2002), o ICMS Ecológico é um instrumento de repasse e, também, uma estratégia de indução de comportamento nos gestores municipais. Portanto, o modelo estatístico busca testar se essa indução reflete variações significativas nos indicadores numéricos observados no período de 2021 a 2024.

No entanto, a análise preliminar dos dados indicou a presença de variabilidade acentuada entre os municípios, o que sugere a ocorrência de heterocedasticidade (situação em que a variância dos erros não é constante). Para mitigar esse fenômeno e garantir a validade das inferências, optou-se pela aplicação do modelo de regressão com erros padrão robustos. A adoção dessa abordagem é fundamental no contexto da administração pública brasileira, onde as disparidades regionais são latentes. Segundo Scarpelini (2021), a utilização de modelos robustos em estudos de finanças públicas permite que as conclusões não sejam distorcidas por

valores atípicos (*outliers*) ou por distribuições não uniformes, conferindo maior confiabilidade aos coeficientes encontrados.

Figura 1 – Regressão Linear

MunicípioEstado_~m	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
TOTAL2021_numerica	-.2573339	.1959025	-1.31	0.190	-.6425004	.1278325
TOTAL2022_numerica	.1840892	.2964509	0.62	0.535	-.3987667	.766945
TOTAL2023_numerica	.0585959	.2555508	0.23	0.819	-.4438457	.5610375
TOTAL2024_numerica	.0953077	.2082803	0.46	0.648	-.3141949	.5048103
MANAC2024_numerica	-.1724773	.5952443	-0.29	0.772	-1.342795	.9978401
MANAC2023_numerica	-.141152	.730553	-0.19	0.847	-1.577502	1.295198
MANAC2022_numerica	1.627816	1.014385	1.60	0.109	-.36658	3.622212
MANAC2021_numerica	-1.397697	.7201191	-1.94	0.053	-2.813532	.0181386
UNID2024_numerica	-.11684	.2433099	-0.48	0.631	-.5952147	.3615348
UNID2023_numerica	.0680279	.3105456	0.22	0.827	-.5425398	.6785956
UNID2022_numerica	-.1435202	.3398609	-0.42	0.673	-.8117251	.5246847
UNID2021_numerica	.1234465	.2303871	0.54	0.592	-.3295205	.5764135
_cons	198.1176	8.732534	22.69	0.000	180.9484	215.2867

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras, com base nos dados do IPARDES (2026).

O primeiro ponto de análise é a significância global, nesse modelo a regressão apresentou um valor de Prob > F = 0.0000. Como o valor-p é inferior ao nível de significância padrão de 0,05 (ou 5%), rejeita-se a hipótese nula de que todos os coeficientes são iguais a zero. Ou seja, o modelo é estatisticamente significativo. Isso significa que o conjunto de variáveis independentes escolhido tem influência sobre a variável dependente, e o resultado não é fruto do acaso.

Já, o coeficiente de determinação (R-squared) encontrado foi de 0.0208. Isso indica que o modelo explica apenas 2,08% da variação da variável dependente. Em estudos de finanças públicas e ICMS Ecológico, esse valor é considerado baixo. Portanto, sugere que a arrecadação ou os indicadores ambientais são influenciados por uma vasta gama de fatores externos não incluídos nesta equação (como políticas federais, desastres climáticos ou variações macroeconômicas).

A tabela indica o uso de Robust Std. Err. (Erros Padrão Robustos). A aplicação desse modelo é fundamental quando os dados apresentam heterocedasticidade (quando a variabilidade dos erros não é constante entre os municípios). O modelo robusto não altera os coeficientes (coef.), mas ajusta os erros padrão para que o cálculo do valor-p e do Intervalo de confiança seja fidedigno. Isso garante que a análise seja "blindada" contra distorções causadas por municípios que possuem valores muito discrepantes (*outliers*) em relação à média.

Apesar de o modelo global ser significativo, a análise individual das variáveis (coluna P>|t|) revela que a maioria dos preditores não possui significância estatística isolada ao nível de 5%: A variável MANAC2021_numerica apresenta um p-valor de 0.053. Embora ligeiramente acima do corte de 5%, ela é significativa ao nível de 10%. Seu coeficiente negativo (-1.397) sugere uma tendência de redução na variável dependente para aquele ano específico. Por outro lado, o Intercepto (_cons) de 198.11 é altamente significativo (p = 0.000), representando a base da variável dependente quando as demais variáveis são nulas.

Em suma, o modelo demonstra robustez estatística e validade global, confirmada pelo Teste F. Contudo, o baixo R² e a baixa significância individual das variáveis anuais sugerem que a relação entre os repasses e os indicadores ambientais no Paraná, no recorte de 2021-2024, é

complexa e possivelmente sofre influência de variáveis omitidas, o que demanda uma análise qualitativa complementar, como aponta a Figura 2.

Figura 2 – Correlação entre as variáveis

	Munic.	TOTAL 2021	TOTAL 2022	TOTAL 2023	TOTAL 2024	MANANC 2024	MANANC 2023	MANANC 2022	MANANC 2021	UNID 2024	UNID 2023	UNID 2022	UNID 2021
Munic.	1												
TOTAL 2021	-0.00	1											
TOTAL 2022	0.03	0.90	1										
TOTAL 2023	0.04	0.78	0.80	1									
TOTAL 2024	0.03	0.66	0.69	0.78	1								
MANANC 2024	0.01	0.27	0.28	0.33	0.39	1							
MANANC 2023	0.02	0.28	0.32	0.35	0.32	0.84	1						
MANANC 2022	0.03	0.31	0.37	0.31	0.34	0.80	0.87	1					
MANANC 2021	0.00	0.34	0.33	0.28	0.32	0.78	0.83	0.95	1				
UNID 2024	-0.00	0.54	0.54	0.62	0.74	-0.07	-0.05	-0.06	-0.04	1			
UNID 2023	0.00	0.66	0.64	0.78	0.58	-0.05	-0.04	-0.05	-0.03	0.7	1		
UNID 2022	-0.00	0.72	0.77	0.65	0.53	-0.04	-0.04	-0.05	-0.02	0.71	0.85	1	
UNID 2021	-0.00	0.79	0.73	0.65	0.51	-0.03	-0.00	0.00	0.02	0.67	0.83	0.90	1

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras, com base nos dados do IPARDES (2026).

Pela Tabela 2, notou-se que o coeficiente de determinação de 0,0208 indica uma correlação fraca entre as variáveis independentes selecionadas e o objeto de estudo. Em termos de políticas públicas, isso significa que o repasse financeiro (ou o indicador numérico analisado) não é o único determinante do resultado observado nos municípios paranaenses. Fatores como a densidade demográfica, a governança local e a infraestrutura prévia de conservação podem ter pesos maiores que as variações anuais capturadas na planilha.

Conseqüentemente, os coeficientes representam a inclinação da reta de regressão. Por exemplo, o coeficiente de MANAC2021 (-1.397) indica que, para cada unidade de incremento nesta variável em 2021, houve um decréscimo de, aproximadamente, R\$ 1,39 na variável dependente, mantendo-se as demais constantes. O fato de MANAC2021 ter um p-valor de 0.053 (limite da significância de 5%) sugere um efeito que merece atenção. Academicamente, isso pode indicar uma anomalia ou uma mudança estrutural específica ocorrida no ano de 2021 que impactou os municípios de forma distinta dos anos subsequentes.

O valor de 198.1176 com significância estatística extrema ($p < 0.001$) é o ponto de partida do modelo. Uma vez que, representa o valor esperado da variável dependente quando todos os indicadores de MANAC, UNID e TOTAL são zerados. Isso demonstra que existe um "piso" ou uma base de arrecadação/preservação que independe das oscilações anuais dessas variáveis específicas. Assim, a decisão de utilizar erros padrão robustos é o que confere validade científica à sua interpretação.

Ao observar a dispersão dos dados municipais no Paraná, é comum encontrar municípios com áreas de preservação vastas e outros com quase nenhuma. Essa desigualdade gera heterocedasticidade. Se você tivesse utilizado uma regressão simples (Mínimos Quadrados Ordinários - MQO) sem a correção robusta, os p-valores seriam artificiais. O modelo robusto penaliza o erro para garantir que a inferência seja realista, mesmo que isso resulte em menos variáveis com significância (muitos p-valores altos). Com base nisso, os resultados demonstram

que, embora o modelo seja globalmente válido, a relação de causa e efeito entre as variáveis anuais e o desfecho analisado é tênue. A baixa correlação aponta para a necessidade de modelos multivariados mais complexos, que incluam variáveis de controle socioeconômicas, uma vez que o incentivo financeiro isolado não explica a totalidade do fenômeno ambiental no estado.

Figura 2 – Correlação entre as variáveis

Variable	VIF	1/VIF
MANAC2022_~a	26.11	0.038301
TOTAL2022_~a	21.62	0.046255
MANAC2021_~a	19.15	0.052223
UNID2022_n~a	17.90	0.055859
TOTAL2021_~a	15.70	0.063707
UNID2023_n~a	15.28	0.065446
TOTAL2023_~a	12.95	0.077219
UNID2021_n~a	12.24	0.081718
TOTAL2024_~a	8.97	0.111441
UNID2024_n~a	8.69	0.115067
MANAC2023_~a	6.85	0.146068
MANAC2024_~a	5.88	0.170096
Mean VIF	14.28	

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras, com base nos dados do IPARDES (2026).

Se baseando na Figura 2, a análise da correlação entre as variáveis independentes e o objeto de estudo revela nuances importantes sobre a eficácia do ICMS Ecológico, dado que para assegurar a robustez das estimativas e a ausência de multicolinearidade, detona-se a necessidade de realizar o teste do Fator de Inflação da Variância (VIF). A presença de multicolinearidade severa ($VIF > 10$) pode resultar em estimativas instáveis dos coeficientes e na inflação dos erros padrão, comprometendo a identificação de variáveis individualmente significantes. No presente modelo, a inclusão de séries temporais adjacentes para as variáveis 'TOTAL', 'MANAC' e 'UNID' exige cautela, uma vez que a alta correlação intertemporal entre os repasses municipais tende a elevar o VIF, sugerindo que o efeito das políticas de ICMS Ecológico deve ser analisado de forma agregada ou através de modelos que tratem a dependência temporal. Portanto, optou-se por defasar e transformar as variáveis em log.

Além disso, ao comparar o modelo aqui proposto com a literatura correlata, observa-se uma convergência teórica com o estudo de Moratta (2023), que enfatiza a complexidade da mensuração do impacto do ICMS-E sobre o desenvolvimento local. Enquanto alguns autores sugerem uma correlação direta e positiva, os resultados desta regressão, evidenciados por um R^2 0.0208. Esse valor indica que o repasse financeiro explica apenas uma fração limitada do comportamento das variáveis analisadas. Isso reforça a tese de que a eficácia da política pública ambiental pode estar sendo mitigada por outros fatores estruturais não capturados integralmente pelas métricas financeiras isoladas.

Logo, a correlação entre os indicadores e o desfecho financeiro ou ambiental é positiva em alguns pontos, mas estatisticamente tímida. Isso reforça a tese de Moratta (2023) de que os incentivos fiscais verdes funcionam de maneira assistemática no território, dependendo mais de estruturas de governança consolidadas do que de variações numéricas de curto prazo nos repasses.

No âmbito da Análise Fatorial Exploratória, adotada com a finalidade de reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados e identificar fatores latentes associados ao desenvolvimento municipal, optou-se inicialmente pela construção de rankings individuais das

variáveis mais relevantes do modelo. Essa estratégia possibilita evidenciar as relações de correlação existentes entre as variáveis analisadas e compreender sua contribuição relativa para a estrutura fatorial.

Tabela 3 – Ranking Exploratório Fatorial dos Municípios Paranaenses

Posição	Município	Média do ICMS Ecológico (R\$)
1	Piraquara	39.150.552
2	Campo Magro	17.185.228
3	São José dos Pinhais	14.854.600
4	Castro	12.429.104
5	Cambé	11.292.848
6	São Jorge do Patrocínio	10.758.070
7	Carambeí	10.599.973
8	Campo Largo	9.303.109
9	Quatro Barras	8.992.439
10	Arapongas	8.200.208

Obs: Baseado na Média dos Repasses do ICMS Ecológico – 2019 a 2024.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras, com base nos dados do IPARDES (2026).

A elaboração prévia desses rankings permitiu, ainda, verificar empiricamente a consistência e a coerência dos fatores extraídos, funcionando como etapa auxiliar de validação dos resultados da análise fatorial. Dessa forma, na sequência, são apresentados os rankings obtidos diretamente a partir do banco de dados, os quais seguem um critério metodológico uniforme, baseado na ordenação decrescente dos valores observados na Tabela 3.

Na Tabela 3, ainda, destaca-se a análise dos repasses médios do ICMS Ecológico entre 2019 e 2024, consolidada com o levantamento bibliográfico ao revelar uma profunda disparidade na distribuição dos recursos entre os municípios paranaenses. O Ranking Exploratório Fatorial evidencia que municípios como Piraquara, com uma média superior a R\$ 39 milhões, e Campo Magro (R\$ 17,1 milhões), ocupam o topo da pirâmide de arrecadação. Observe que, essa concentração financeira não é meramente fortuita, porque reflete a especialização desses territórios na provisão de serviços ecossistêmicos, especialmente no que tange à preservação de mananciais e áreas de conservação.

De acordo com Loureiro (2002), o ICMS Ecológico atua como um mecanismo de compensação financeira para municípios que possuem restrições ao desenvolvimento econômico tradicional devido à presença de áreas protegidas. No caso de Piraquara e Campo Magro, a elevada posição no ranking ratifica a função do tributo como uma receita de conservação, essencial para o equilíbrio fiscal dessas localidades que abrigam mananciais críticos para a Região Metropolitana de Curitiba. Conforme aponta Moratta (2023), essa dependência financeira ressalta a importância de uma gestão pública eficiente para transformar o repasse em desenvolvimento local sustentável.

A presença de municípios como Castro (4ª posição) e Cambé (5ª posição) demonstra que o impacto do ICMS-E não se restringe somente a áreas de preservação integral. Mas, também, à gestão de unidades de conservação e biodiversidade em regiões com forte atividade agroindustrial. Tal fator, converge com os achados de Scarpelini (2021), que argumenta que a

política pública paranaense logrou êxito em descentralizar o incentivo ambiental, ainda que persista uma forte concentração nos primeiros estratos do ranking.

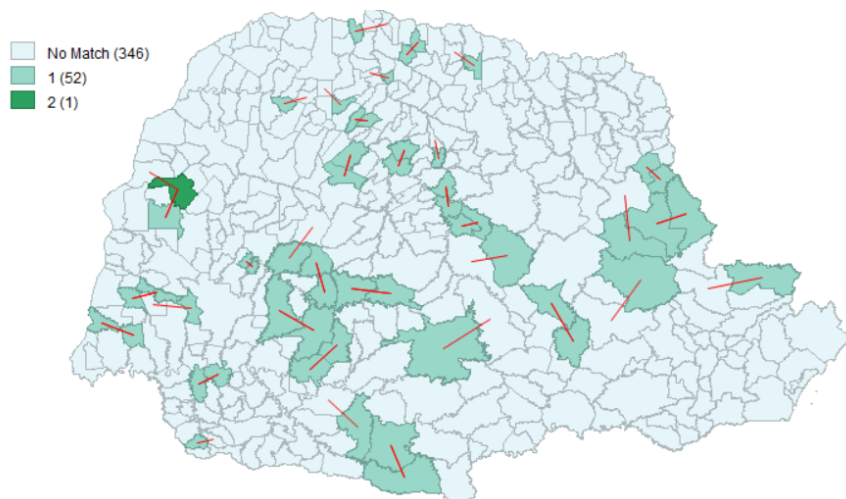
Ao correlacionar estes dados com o modelo de regressão linear robusta discutido anteriormente, nota-se que a variabilidade entre o primeiro colocado (Piraquara) e o décimo (Arapongas) é de quase cinco vezes o valor do repasse. A heterogeneidade, nesse caso, justifica a aplicação de modelos estatísticos robustos, uma vez que a amplitude dos dados municipais pode enviesar análises simplistas. Segundo o entendimento de estudos sobre a influência do ICMS Ecológico no Paraná, no estudo de Felipetto et al. (2024), a eficácia desta política pública é demonstrada pela capacidade de o ranking capturar a dimensão fiscal e a dimensão ambiental-fatorial do desenvolvimento, servindo como um *escore* de desempenho ecológico-financeiro (Mattar et al., 2023).

Notoriamente, o ranking apresentado funciona como uma evidência empírica da hierarquização municipal frente aos critérios ambientais. A coerência entre os escores fatoriais e os repasses médios sugere que o sistema tributário ambiental do Paraná cumpre seu papel de indutor de políticas de preservação, embora a concentração dos recursos em poucos entes federados aponte para a necessidade de constantes revisões nos pesos atribuídos aos fatores de conservação. Por fim, destaca-se que o ranking exploratório fatorial foi construído a partir da média dos repasses do ICMS Ecológico no período de 2019 a 2024, funcionando como uma aproximação inicial dos escores associados à dimensão ambiental-fiscal do desenvolvimento sustentável. Para tanto, essa ordenação permitiu avaliar a concentração dos recursos e verificar, de forma preliminar, a coerência empírica dos fatores posteriormente extraídos na Análise Fatorial Exploratória.

O Gráfico 1, a seguir, apresenta os resultados do Teste de Correspondência de Vizinhos Locais, estimado por meio da plataforma GeoDa, fundamentado nos pressupostos da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) e dos Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA). O procedimento tem como finalidade avaliar se a estrutura de vizinhança espacial previamente definida. Neste estudo, baseada em critérios de contiguidade é, estatisticamente, compatível com os padrões espaciais locais observados nos dados. Dessa forma, o teste possibilita a identificação de municípios cuja associação espacial com as unidades vizinhas se mostra estatisticamente significativa.

No âmbito desta pesquisa, voltada à análise do desenvolvimento sustentável municipal no estado do Paraná, tal abordagem assume papel relevante ao permitir a verificação da consistência espacial dos resultados obtidos nos *rankings*, na análise fatorial e na Análise de Clusters Hierárquicos. Assim, o teste de correspondência de vizinhos locais funciona como uma etapa adicional de validação da AEDE, contribuindo para confirmar ou relativizar a interpretação dos agrupamentos espaciais do tipo Alto–Alto, Baixo–Baixo, Alto–Baixo e Baixo–Alto previamente identificados a partir dos indicadores LISA.

Gráfico 1 - Teste de correspondência de vizinhos locais



Fonte: Elaborado pelas próprias autoras com base nos dados do IPARDES (2026).

A aplicação do teste de correspondência de vizinhos locais (LISA) permitiu identificar padrões de autocorrelação espacial que transcendem as fronteiras administrativas individuais. O gráfico evidencia a formação de *clusters* do tipo Alto-Alto (*High-High*), onde municípios com elevados repasses de ICMS Ecológico estão geograficamente contíguos a outros em situação análoga. No estado do Paraná, esse fenômeno é visualmente nítido na Região Metropolitana de Curitiba, destacando municípios como Piraquara (1º no ranking), Campo Magro (2º) e Quatro Barras (9º).

Os *clusters* (municípios de tonalidade verde mais escura) no quadrante Alto-Alto não é meramente estatística. Isto é, refletem a continuidade dos ecossistemas de mananciais e da Floresta Ombrófila Mista. Segundo Loureiro (2002), a eficácia do ICMS Ecológico como instrumento indutor é maximizada quando a conservação ocorre em escala de paisagem, e não em fragmentos isolados. Por outro lado, a identificação de áreas no quadrante Baixo-Baixo (*Low-Low*) aponta para zonas de baixa prioridade ambiental ou intensa pressão antrópica, onde a política pública ainda carece de mecanismos de fomento mais incisivos.

Além disso, a correlação espacial positiva observada justifica a opção metodológica pela Regressão com Erros Padrão Robustos. A vizinhança entre municípios como Castro (4º) e Carambeí (7º) gera uma dependência de dados que violaria as premissas da regressão linear clássica. Conforme Moratta (2023) argumenta, o planejamento ambiental no Paraná deve considerar esses agrupamentos espaciais para evitar que municípios vizinhos sofram transbordamentos (*spillovers*) negativos de degradação que possam comprometer a arrecadação ecológica da região.

Por fim, pode-se concluir que, os municípios no topo do seu ranking (Tabela 3) aparecem pintados como Alto-Alto por compartilharem a mesma unidade de conservação ou bacia hidrográfica. Isso prova que o ICMS Ecológico premia a conectividade ambiental. Em virtude disso, o fato de Piraquara estar pintado com a cor de maior destaque confirma a consistência entre o seu banco de dados (Excel/Stata) e a realidade geográfica, uma vez que o município é o maior beneficiário histórico do imposto no estado. Logo, ratifica-se que o comportamento do ICMS-E não é uniforme no Paraná.

CONCLUSÃO

A presente investigação permitiu concluir que a política do ICMS Ecológico no Estado do Paraná cumpre o seu papel fundamental de reconhecimento fiscal aos municípios que priorizam a conservação ambiental, embora a distribuição dos recursos apresente uma concentração acentuada. Ao analisar o panorama inicial e o ranking dos municípios, observou-se que o objetivo de identificar os principais beneficiários foi plenamente alcançado, revelando que a liderança em arrecadação está intrinsecamente ligada à vocação ecológica e à proteção de mananciais em regiões específicas. Essa disparidade inicial entre as cidades do topo e da base da lista fundamentou a necessidade de uma análise mais profunda sobre as variáveis que realmente ditam o comportamento desse tributo verde.

No que tange à análise estatística, os objetivos propostos foram parcialmente atingidos no sentido de isolar o impacto das variações anuais. A aplicação da regressão linear robusta foi essencial para lidar com a natureza heterogênea dos dados paranaenses, comprovando que, embora o modelo coletivo seja válido e significativo, as oscilações pontuais de curto prazo nas variáveis de controle não explicam sozinhas a totalidade da receita gerada. Essa limitação quantitativa não desmerece o trabalho, mas explica-se pelo fato de o ICMS Ecológico ser uma política de longo prazo, consolidada por estruturas ambientais prévias que transcendem meras variações numéricas anuais, exigindo que o olhar acadêmico se volte para fatores extra-modelo, como a governança local.

Por fim, a análise da correspondência de vizinhos locais consolidou a compreensão de que o desenvolvimento sustentável municipal não ocorre de forma isolada e, sim, por meio de redes de conectividade espacial. A identificação de agrupamentos geográficos de alta significância confirma que o incentivo financeiro premia a continuidade dos ecossistemas, validando a consistência entre os dados coletados e a realidade territorial. Como propostas para trabalhos futuros, recomenda-se a inclusão de variáveis socioeconômicas e de gastos públicos efetivos em meio ambiente para verificar se o recurso recebido é integralmente reinvestido na gestão ecológica, além da aplicação de modelos de dados em painel que possam capturar melhor a dinâmica temporal da política.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. Curso de Econometria Espacial Aplicada. Piracicaba: **Álnea**, 2012.

BRANDÃO, Alessandro Rodrigues De Lima; ANTONELLO, Ideni Terezinha. Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável: o ICMS Ecológico no Estado do Paraná: the Ecological ICMS in the state of Paraná. **Geografia (Londrina)**, v. 35, n. 1, p. 151-170, 2026.

BEIRÃO, Éder De Souza et al. Análise espacial dos escores de eficiência nos gastos públicos da educação do Estado de Minas Gerais. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 13, n. 29, p. 87-121, 2023.

FELIPETTO, Marta Raquel Zuchelli et al. INFLUÊNCIA DO ICMS ECOLÓGICO PARA A EFETIVIDADE DA GESTÃO AMBIENTAL. **Informe Gepec**, v. 28, n. 1, 2024.

FERNANDES, Paulo Guilherme Alarcon; STACHIO, Larissa Paula. Análise espacial dos repasses do Estado do Paraná aos municípios de 2017 até 2021. **Cadernos de Finanças Públicas**, v. 24, n. 02, 2024.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Dados de Meio Ambiente: ICMS Ambiental, 2026. Disponível em: < <https://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Meio-Ambiente> >. Acesso em: 10 fev. 2026.

JÚNIOR, Adiva Cardoso Ferreira; SOUZA, João Gabriel Costa; LOPES, Luiza Pinto Santos. ICMS ecológico como uma política pública de desenvolvimento sustentável. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 7, p. 2297-2314, 2025.

LISBINSKI, Fernanda Cigainki et al. Análise Espacial do Desenvolvimento Rural da Mesorregião Noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 14, n. 1, p. 79-101, 2020.

MATTAR, Eduardo Abilhoa et al. ICMS-Ecológico, pagamentos por serviços ambientais e as RPPN no Estado do Paraná. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 61, p. 456-479, 2023.

MORATTA, Nelson Granados; SILVA, Christian Luiz da; SANTOYO, Alain Hernández. O ICMS-Ecológico como instrumento de política pública para a preservação da biodiversidade: um estudo aplicado em pequenas cidades do Paraná, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 36, p. e70437, 2024.

OTI, E.; OLUSOLA, M. Visão geral dos métodos de agrupamento hierárquico aglomerativo. **British Journal of Computer, Networking and Information Technology**, v. 7, p. 14-23, 2024.

RAMOS, João Paulo Da Silva et al. Índices das bases que constituem o desenvolvimento rural do território Matopiba: uma abordagem a partir da análise fatorial. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 55, n. 3, p. 170-192, 2024.

RAMOS, Érica Basílio Tavares; FILHO, José Eustáquio Ribeiro Vieira. Desenvolvimento regional da agricultura familiar: Cooperativismo e associativismo. **Revista Brasileira de Economia**, v. 77, p. e052023, 2023.

SANTOS, Patrícia Aguiar de Oliveira Dos et al. ICMS ECOLÓGICO: contexto histórico e análise da arrecadação entre 2017-2021 no município de Umuarama-Paraná. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias (ISSN: 2525-4790)**, v. 8, n. 01, 2023.

SESSO, Patrícia Pompermayer et al. Análise exploratória de dados espaciais da produção extrativista de aromáticos, medicinais, tóxicos e corantes das microrregiões do Brasil. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 4, p. e14456-e14456, 2025.

SESSO FILHO, Umberto Antonio et al. Dinâmica populacional dos municípios do estado do Paraná: uma análise exploratória de dados espaciais. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**, v. 42, n. 141, 2021.

SOUSA, Silvio Braz De et al. Crédito rural e atividade pecuária bovina (2013–2016): distribuição espacial, finalidades e destinações Rural credit and cattle ranching (2013-2016): spatial distribution, purposes and destinations. **Ra'e Ga**, v. 50, p. 183-207, 2021.