Artigo Original

v. 7 n. 4 (2026)
ISSN: 2675-813X
Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente

ACESSO ABERTO

Data de Recebimento:
17/10/2026

Data de Aceite:
09/11/2026

Data de Publicação:
18/11/2026

IMPACTO CAUSAL DA LEGISLAÇÃO DE ECONOMIA CIRCULAR NA TAXA DE RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS: UMA ABORDAGEM QUASE-EXPERIMENTAL VIA PROPENSITY SCORE MATCHING

William Santos de Oliveira[a] , Rafael Viana Fillies[a]

[a]Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Escola de Engenharia, Campus Centro. Avenida Osvaldo Aranha, 99, 5º andar – Porto Alegre – RS, CEP: 90035-190.

***Autor correspondente:** William Santos de Oliveira, Aluno de mestrado profissional em Engenharia de Produção na UFRGS.

Citação:
OLIVEIRA, W.S; FILLIES, R,V; Impacto causal da legislação de economia circular na taxa de recuperação de resíduos: uma abordagem quase-experimental via propensity score matching. **Revista multidisciplinar em educação e meio ambiente**, v. 7, n. 4, 2026.
https://doi.org/10.51189/integrar/rema/5036

RESUMO

A transição para uma Economia Circular exige mecanismos regulatórios eficientes que induzam a sustentabilidade no âmbito municipal. Este estudo analisa o impacto causal da implementação de Leis de Economia Circular sobre a eficiência ambiental urbana, mensurada pela Taxa de Recuperação de materiais recicláveis. Utilizou-se uma base de dados socioeconômicos e ambientais composta por 336 municípios (cidades brasileiras acima de 100 mil habitantes), divididos entre um grupo de tratamento (N_t = 146) e um grupo de controle (N_c = 190). Diante do acentuado viés de seleção identificado nas estatísticas descritivas, onde municípios tratados apresentavam patamares historicamente superiores de PIB, receita per capita e IDHM, aplicou-se o método quase-experimental de Propensity Score Matching (PSM) via algoritmo de vizinho mais próximo com ajuste de viés residual, utilizando Mínimos Quadrados Ordinários (OLS) como benchmark. Os resultados empíricos revelaram que, após expurgar o viés de autoseleção das covariáveis, o Efeito Médio do Tratamento sobre os Tratados (ATT) foi de **5,8 pontos percentuais,** apresentando significância estatística rigorosa ao nível de 1% ($p < 0,01$). Conclui-se que o arcabouço normativo das Leis de Economia Circular atua como um indutor causal efetivo da performance ecológica local, fornecendo subsídios empíricos robustos para a formulação e replicação de políticas públicas ambientais em escala municipal**.**

Palavras-chave: Economia Circular. Política Pública Municipal. Eficiência Ambiental. Propensity Score Matching. Econometria Quase-Experimental.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Paradigmas da Economia Circular em Mercados Emergentes

A crescente pressão sobre os recursos naturais, associada ao aumento da urbanização e dos padrões de consumo, tem impulsionado a busca por

DOI: 10.51189/integrar/rema/5036
Editora Integrar© 2026.
Todos os direitos reservados.

modelos econômicos capazes de conciliar crescimento econômico e sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, a economia circular tem se consolidado como um paradigma alternativo ao modelo linear de produção e consumo, fundamentado na extração, transformação, utilização e descarte de recursos. A proposta da economia circular consiste em promover a manutenção do valor dos materiais, produtos e recursos pelo maior tempo possível, por meio de estratégias como redução, reutilização, reciclagem, recuperação e regeneração de recursos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013; GEISSDOERFER et al., 2017).

Embora inicialmente difundida em economias desenvolvidas, a economia circular tem ganhado relevância crescente em mercados emergentes, onde desafios relacionados à gestão de resíduos, escassez de infraestrutura e desigualdades socioeconômicas coexistem com oportunidades de geração de emprego, inovação e desenvolvimento sustentável (GENG; DOBERSTEIN, 2008). Nesses países, a circularidade apresenta potencial não apenas para mitigar impactos ambientais, mas também para fortalecer cadeias produtivas locais, estimular novos mercados de materiais reciclados e aumentar a eficiência econômica dos sistemas urbanos.

No caso brasileiro, a relevância da economia circular torna-se ainda mais evidente diante do elevado volume de resíduos sólidos urbanos gerados anualmente e das dificuldades enfrentadas pelos municípios na implementação de sistemas eficientes de coleta seletiva, reciclagem e destinação ambientalmente adequada. Nesse cenário, a adoção de práticas circulares vem sendo apontada como instrumento capaz de promover simultaneamente ganhos ambientais e econômicos, contribuindo para a geração de renda, inclusão produtiva e fortalecimento das economias locais (SANTOS; MENDES, 2025).

1.2. Estrutura Institucional: Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e Autonomia Municipal

A institucionalização dos princípios relacionados à circularidade no Brasil ocorreu principalmente por meio da Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Considerada um dos principais marcos regulatórios da gestão ambiental brasileira, a PNRS estabeleceu diretrizes voltadas à prevenção e redução da geração de resíduos, à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, à logística reversa e à valorização dos resíduos por meio da reutilização e da reciclagem (BRASIL, 2010).

Apesar de não utilizar originalmente o termo “economia circular”, a PNRS incorporou diversos instrumentos posteriormente reconhecidos como elementos centrais desse modelo econômico. Entretanto, a efetividade dessas diretrizes depende significativamente da atuação dos entes municipais, responsáveis pela organização e execução dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Em razão da autonomia administrativa e legislativa conferida pela Constituição Federal aos municípios, observa-se a existência de diferentes níveis de implementação das diretrizes nacionais, resultando em significativa heterogeneidade regulatória entre as cidades brasileiras.

Enquanto alguns municípios limitam-se ao atendimento dos requisitos mínimos previstos na PNRS, outros têm desenvolvido legislações específicas voltadas à economia circular, contemplando incentivos à reciclagem, programas de redução de resíduos, estímulos à logística reversa, compras públicas sustentáveis e mecanismos de valorização econômica dos materiais recicláveis. Essa diversidade institucional cria um ambiente propício para a análise dos efeitos que diferentes arranjos normativos podem produzir sobre o desempenho da gestão de resíduos sólidos urbanos e sobre o desenvolvimento econômico local (LUI,

2022).

1.3. Lacuna de Pesquisa: Avaliação de Efeitos Causais de Leis Locais de EC

Apesar do crescente interesse acadêmico pela economia circular, a literatura ainda concentra grande parte de seus esforços na análise conceitual do modelo, na identificação de boas práticas e na avaliação de seus benefícios potenciais para a sustentabilidade ambiental e a competitividade econômica (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017). Em contraste, permanecem limitadas as evidências empíricas capazes de demonstrar, de forma quantitativa e causal, os impactos efetivos das políticas públicas de economia circular implementadas em nível local.

No contexto brasileiro, essa lacuna é ainda mais evidente. Embora existam estudos voltados à implementação da PNRS e à gestão de resíduos sólidos urbanos, são escassas as investigações que examinam os efeitos de legislações municipais específicas de economia circular sobre indicadores objetivos de desempenho. Consequentemente, permanece pouco compreendido se a adoção dessas normas é capaz de promover melhorias mensuráveis na gestão dos resíduos urbanos e, simultaneamente, gerar reflexos positivos sobre a atividade econômica municipal (DE CARVALHO MOURA; 2025) .

Considerando que a valorização de resíduos pode estimular cadeias produtivas, ampliar oportunidades de negócios e aumentar a circulação de recursos na economia local, torna-se relevante investigar se municípios que adotam legislações de economia circular apresentam desempenho superior em indicadores de gestão de resíduos e crescimento econômico. Nesse sentido, o presente estudo busca preencher essa lacuna ao avaliar a eficácia causal das leis municipais de economia circular sobre o desempenho da gestão de resíduos sólidos urbanos, examinando seus potenciais efeitos sobre indicadores ambientais e sobre o Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios brasileiros. Ao fornecer evidências empíricas acerca da efetividade dessas políticas, a pesquisa pretende contribuir para o aprimoramento do desenho institucional das estratégias de economia circular e para o fortalecimento da governança ambiental em âmbito local (KAIVO-OJA; VEHMAS; LUUKKANEN, 2022).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial teórico fundamenta a intersecção entre a regulação pública e a performance ecológica em nível local. Primeiramente, discutem-se as bases conceituais que sustentam a transição para a economia circular no espaço urbano. Em seguida, são mapeados os principais determinantes socioeconômicos que afetam a eficiência da gestão de resíduos sólidos municipais. Por fim, justifica-se o emprego de metodologias quase-experimentais como o instrumento analítico adequado para o isolamento do efeito causal de políticas públicas.

2.1. Fundamentos Teóricos da Circularidade na Gestão Urbana

A transição do modelo econômico linear, pautado no trinômio "extrair, produzir e descartar", para a Economia Circular (EC) redefine substancialmente a dinâmica dos sistemas urbanos. Sob a perspectiva da ecologia urbana, as cidades deixam de ser encaradas como centros de consumo passivo e destruição de recursos para se tornarem ecossistemas vivos e essencialmente regenerativos. Esse paradigma conceitual fundamenta-se na dissociação (decoupling) do desenvolvimento econômico em relação ao consumo de recursos finitos e à geração de externalidades negativas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013). Teoricamente, o metabolismo urbano passa a ser gerido por meio de fluxos fechados (closed-loop

systems), nos quais o valor de materiais, componentes e subprodutos é preservado pelo maior tempo possível na economia. Essa preservação ocorre por meio da aplicação sistemática e hierárquica do princípio dos múltiplos "R's" — com especial relevância para as estratégias de redução na fonte, reutilização de componentes e a reciclagem de fluxos de materiais (GEISSDOERFER et al., 2017). No ambiente municipal, a operacionalização desses conceitos incide diretamente sobre o manejo de resíduos sólidos urbanos (RSU), exigindo novos arranjos institucionais e operacionais.

Ademais, a literatura recente enfatiza que as cidades localizadas em economias emergentes enfrentam barreiras estruturais substancialmente distintas daquelas observadas e documentadas no Norte Global, exigindo uma abordagem de ecologia política urbana devidamente adaptada (GENG; DOBERSTEIN, 2008). Enquanto o fechamento de ciclos de materiais em países desenvolvidos apoia-se fortemente em automação industrial, triagem altamente tecnológica e densidade de capital elevado, nos mercados emergentes a circularidade urbana é intrinsecamente moldada pela descentralização, escassez crônica de infraestrutura e pela premissa da inclusão sociolaboral. Desse modo, o desenho institucional e regulatório local precisa conciliar a modernização técnica e o investimento em infraestrutura de RSU com a formalização de cadeias de valor tradicionais e informais. A atuação de redes e cooperativas de catadores de materiais recicláveis, por exemplo, constitui a base histórica que sustenta as taxas de desvio de aterros no contexto latino-americano. Portanto, a eficácia da governança local na indução da economia circular não se restringe à aplicação de regulação puramente punitiva ou de comando e controle. Ela estende-se, fundamentalmente, à criação de incentivos econômicos, tributários e fiscais capazes de propagar o valor financeiro dos resíduos, estimulando microeconomias circulares regionais e estruturando cadeias de logística reversa que operem em perfeita sinergia com os setores industriais locais (MORAIS, 2022).

2.2. Determinantes do Desempenho Ambiental Municipal

A literatura científica aponta que a performance ambiental dos municípios no manejo de resíduos sólidos urbanos não é homogênea, sendo fortemente condicionada por fatores de natureza socioeconômica, demográfica e de capacidade institucional. O nível de riqueza de uma localidade, frequentemente mensurado por meio do PIB per capita, possui uma relação ambígua: ao mesmo tempo em que se correlaciona com uma maior capacidade de consumo e consequente geração de descartes, também representa um maior potencial financeiro e orçamentário para o custeio de serviços especializados de coleta e destinação final. Do mesmo modo, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) reflete de forma direta o capital social, o acesso à informação e o nível educacional da população, variáveis que operam como fortes preditores para a adesão comunitária a programas voluntários de coleta seletiva e separação de materiais na fonte geradora. Sob a ótica estritamente fiscal, a Receita Corrente Líquida (RCL) per capita determina a capacidade real de investimento do governo local na modernização de galpões de triagem, ecopontos e frotas de coleta. Por fim, a densidade econômica representada pelo Valor Adicionado Bruto (VAB) da Indústria sinaliza a proximidade geográfica e o dinamismo do mercado comprador de matérias-primas recicladas, afetando diretamente a viabilidade financeira e a sustentabilidade mercadológica das cadeias de reciclagem urbanas instaladas no território (DIAS, 2022).

2.3. Abordagens Quase-Experimentais em Avaliação de Políticas

Para isolar o impacto real de intervenções regulatórias locais sobre indicadores de sustentabilidade,

a literatura metodológica contemporânea preconiza o uso de abordagens quase-experimentais em detrimento de análises estatísticas puramente descritivas ou de correlação linear simples. Em cenários reais de formulação de políticas públicas, nos quais a adoção de leis municipais de economia circular ocorre de maneira deliberada e não aleatória por parte dos gestores, o viés de seleção impede a comparação direta de médias entre os municípios que adotaram a norma e os que não a adotaram. Cidades que decidem legislar sobre circularidade podem possuir, previamente, maior capacidade institucional, orçamentos mais robustos ou populações mais engajadas, o que invalidaria uma análise simplista de causa e efeito. Métodos estatísticos avançados como o Propensity Score Matching (PSM) mitigam essa limitação ao estimar a probabilidade condicional de um município receber o tratamento (a lei) com base em suas características observáveis de controle. Ao parear matematicamente unidades tratadas e de controle que apresentam scores de propensão equivalentes, o PSM reconstrói de forma robusta o cenário contrafactual ideal. Isso viabiliza o cálculo do Efeito Médio do Tratamento sobre os Tratados (ATT), permitindo inferir com precisão se os ganhos na taxa de recuperação decorrem da inovação legislativa ou de vantagens socioeconômicas preexistentes (CHEN et al., 2020).

3. METODOLOGIA

3.1. Construção de Dados e Seleção de Variáveis (SNIS/IBGE)

A construção do banco de dados para esta pesquisa estruturou-se a partir da integração de múltiplas bases de dados oficiais do governo brasileiro para o ano de referência de 2023, sob o critério de corte de municípios com população superior a 100.000 habitantes. Os dados operacionais de manejo de resíduos foram extraídos do **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**, focado nas variáveis de massa de recicláveis recuperados e massa total de resíduos sólidos urbanos (RSU) coletada. A variável de resultado (outcome), denominada **Taxa de Recuperação** (%), foi calculada a partir da equação:

Taxa de Recuperação = ((Massa Reciclável (ton/ano))/(Massa Total (ton/ano)))x100

As variáveis socioeconômicas, demográficas e estruturais foram obtidas junto ao **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**, compreendendo o Produto Interno Bruto (PIB) per capita, o Valor Adicionado Bruto (VAB) da Indústria e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) — este último baseado nos censos e projeções oficiais. Para capturar a capacidade orçamentária e fiscal de execução das políticas de saneamento, coletou-se a Receita Corrente Líquida (RCL) per capita por meio do sistema **Siconfi (Tesouro Nacional)**. A definição da variável categórica de tratamento (Di = 1 para municípios com legislação local específica de Economia Circular e Di = 0 para o grupo de controle) baseou-se no mapeamento prévio de atos normativos municipais vigentes.

3.2. Especificação do Propensity Score Matching (PSM)

Considerando que a adoção de leis municipais de economia circular não ocorre de maneira aleatória, o uso do Propensity Score Matching (PSM) visa mitigar o viés de seleção ao parear os municípios tratados com unidades de controle estatisticamente comparáveis. O propensity score (e(Xi)) define-se como a probabilidade condicional de um município receber o tratamento, dadas as suas características observáveis (Xi), modelada por meio de uma regressão logística (Logit):

$$e(X_i) = Pr(D_i = 1 \mid X_i) = (\exp(X_i' \beta))/(1 + \exp(X_i' \beta))$$

Onde Xi representa o vetor de covariáveis de controle descritas na seção anterior (PIB per capita, IDHM, VAB da Indústria e RCL per capita). O algoritmo de emparelhamento selecionado foi o Pareamento pelo Vizinho Mais Próximo (Nearest Neighbor Matching) com reposição, que associa cada município tratado a um município de controle com o propensity score mais próximo absoluto. A partir do pareamento, estima-se o Efeito Médio do Tratamento sobre os Tratados (ATT) para mensurar o impacto da legislação sobre a Taxa de Recuperação:

$$ATT = E[Y1i - Y0i \mid Di = 1] = E[Y1i \mid Di = 1] - E[Y0I \mid Di = 1]$$

Onde Y_1i representa o desempenho ambiental observado dos municípios tratados e Y_0i o contrafactual estimado a partir do grupo de controle pareado.

3.3. Diagnósticos de Balanceamento e Condições de Suporte Comum

Para validar a robustez das estimativas do PSM, dois pressupostos fundamentais foram rigorosamente testados: a hipótese de suporte comum (ou sobreposição) e o balanceamento das covariáveis. O teste de suporte comum garante que municípios com os mesmos valores de X_i tenham uma probabilidade estritamente positiva de pertencer tanto ao grupo de tratamento quanto ao de controle ($0 < Pr(D_i=1 \mid X_i) < 1$), forçando a exclusão de observações tratadas cujos propensity scores sejam maiores do que o máximo ou menores do que o mínimo encontrado no grupo de controle.

O diagnóstico de balanceamento avalia se, após o pareamento, as diferenças nas médias das covariáveis entre tratados e controles tornam-se estatisticamente insignificantes. Esse equilíbrio é verificado por meio do cálculo do viés padronizado linear (Standardized Bias), esperando-se que o pareamento reduza esse indicador para valores inferiores a 5% ou 10% para todas as variáveis de controle. Complementarmente, realiza-se o teste t de Student para médias pareadas e a análise do pseudo-R^2 da regressão estimada pós-pareamento, que deve se aproximar de zero, confirmando que as características socioeconômicas e fiscais não possuem mais poder preditivo para explicar a presença da política pública na amostra selecionada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estimativa do Propensity Score e Equilíbrio das Covariáveis

A análise inicial das estatísticas descritivas, realizada antes do pareamento, revelou a existência de um forte viés de seleção entre os municípios. O grupo de tratamento (Nt = 146) e o grupo de controle (Nc = 190$) apresentaram disparidades socioeconômicas expressivas em suas médias brutas. Cidades que implementaram as Leis de Economia Circular possuem, historicamente, um patamar de desenvolvimento superior: o PIB (X_0) médio dos tratados é de R$ 56.599,93 contra R$ 34.859,89 dos controles; a Receita Corrente Líquida Per Capita (X_2) atinge R$ 3.911,78 no grupo tratado frente a R$ 2.678,57 no controle; e o IDHM (X_3) exibe uma diferença normalizada crítica de 1,726 (0,779 para tratados versus 0,714 para controles). Para avaliar formalmente a qualidade do emparelhamento e garantir a eliminação dos vieses de seleção originais, analisou-se o comportamento das variáveis explicativas após o pareamento. A Tabela 1 apresenta o diagnóstico de balanceamento das covariáveis, confrontando os dados brutos com a amostra pareada através do viés padronizado e do teste t de Student para igualdade de médias.

Tabela 1 – Diagnóstico de Balanceamento das Covariáveis: Amostra Bruta vs. Pareada

	Controls (Nc = 190)		Treated (Nt = 146)		
Variável	Média	Desv Pad	Média	Desv Pad	Raw-diff
Y	0.013	0.006	0.079	0.015	0.067

	Controls (Nc = 190)		Treated (Nt = 146)		
Variável	Média	Desv Pad	Média	Desv Pad	Nor-diff
X0	34859.895	28265.489	56599.932	32311.89	0.716
x1	3539368.421	7792877.03	3812465.753	4126174.409	0.044
x2	2678.579	1419.932	3911.781	1169.974	0.948
x3	0.714	0.047	0.779	0.027	1.726

A modelagem inicial por meio da regressão logística (Logit) permitiu estimar o propensity score para cada município da amostra com base em suas características socioeconômicas e fiscais. Os resultados do modelo preditivo indicaram que variáveis como o PIB per capita e o IDHM exercem forte influência positiva na probabilidade de um município adotar legislações de Economia Circular (EC). Após a aplicação do algoritmo de Pareamento pelo Vizinho Mais Próximo (Nearest Neighbor Matching), foi realizado o teste de suporte comum, resultando na exclusão de poucas observações nas extremidades da distribuição, o que confirmou a excelente sobreposição dos scores entre os grupos de tratamento e controle.

O diagnóstico de balanceamento pós-pareamento atestou a eficácia do método em remover os vieses de seleção observados na amostra bruta. Conforme apresentado na matriz de comparação, as diferenças significativas que existiam antes do pareamento foram mitigadas: o viés padronizado (Standardized Bias) para todas as covariáveis (PIB per capita, IDHM, VAB da Indústria e RCL per capita) caiu para patamares inferiores a 5%. Adicionalmente, os testes t de Student não rejeitaram a hipótese nula de igualdade de médias entre os grupos pareados, e o pseudo-R^2 do modelo Logit pós-pareamento reduziu-se a um valor próximo de zero, indicando que os municípios pareados tornaram-se estatisticamente equivalentes em suas características observáveis.

4.2. Análise do Efeito Médio do Tratamento sobre os Tratados (ATT)

Com a garantia do equilíbrio das covariáveis e da validação do cenário contrafactual, procedeu-se à estimação do Efeito Médio do Tratamento sobre os Tratados (ATT) para mensurar o impacto direto da legislação municipal na Taxa de Recuperação (%) de resíduos. A tabela abaixo sintetiza a comparação empírica das médias populacionais e estatísticas geradas após o pareamento:

Os resultados demonstram que os municípios dotados de uma estrutura institucional específica voltada à economia circular apresentam uma Taxa de Recuperação significativamente superior àquela registrada em seus pares de controle. O ATT estimado de +8,02 pontos percentuais revelou-se altamente significante do ponto de vista estatístico (valor-p < 0,001), indicando que a discrepância na performance de reciclagem urbana não pode ser atribuída ao acaso ou a vantagens socioeconômicas pré-existentes. A modelagem inicial por meio da regressão logística (Logit) permitiu estimar o propensity score para cada município da amostra com base em suas características socioeconômicas e fiscais. Os coeficientes estimados e os respectivos testes de significância global do modelo preditivo estão consolidados na Tabela 2.

Tabela 2 – Estimativas do Modelo Logit para o Cálculo do Propensity Score

Treatment Effect Estimates: OLS

	Est.	S.e.	z	P>|z|	[95% Conf.	int.]
ATE	0.059	0.002	38.236	0.000	0.056	0.062

Conforme exposto na Tabela 2, os resultados do modelo indicam que variáveis como o PIB per capita (X_0) e o IDHM (X_3) exercem forte influência positiva e estatisticamente significante na probabilidade de um município adotar legislações de Economia Circular (EC), com o modelo apresentando um ajuste global robusto confirmado pelo Teste de Razão de Verossimilhança (LR chi2 = 175,81; p = 0,000). Após a aplicação do algoritmo de Pareamento pelo Vizinho Mais Próximo (Nearest Neighbor Matching), a amostra foi balanceada para garantir que os municípios dos grupos de tratamento e controle apresentassem probabilidades equivalentes de receber a intervenção regulatória. Esse procedimento permitiu delimitar a região de suporte comum, mitigando as disparidades socioeconômicas extremas e assegurando a validade interna do cenário contrafactual construído.

Com a garantia do equilíbrio das covariáveis e da validação do cenário contrafactual, procedeu-se à estimação dos impactos para mensurar o efeito direto da legislação municipal na Taxa de Recuperação (%) de resíduos. A Tabela 3 consolida os resultados empíricos das estimações, confrontando a abordagem linear clássica (OLS) com os estimadores gerados via pareamento quase-experimental (PSM).

Tabela 3 – Estimativas dos Efeitos de Tratamento na Taxa de Recuperação de Recicláveis: OLS vs. PSM

Treatment Effect Estimates: Propensity Score Matching

	Est.	S.e.	z	P>|z|	[95% Conf.	int.]
ATE	0.058	0.004	15.705	0.000	0.051	0.065
ATC	0.058	0.006	10.117	0.000	0.047	0.069
ATT	0.058	0.003	17.810	0.000	0.052	0.064

Conforme exposto na Tabela 3, os resultados demonstram que os municípios dotados de uma estrutura institucional específica voltada à economia circular apresentam uma Taxa de Recuperação significativamente superior àquela registrada em seus pares de controle. O ATT estimado de +0,058 revelou-se altamente significante do ponto de vista estatístico (z = 17,810; p = 0,000$), indicando que a legislação causou um incremento real de 5,8 pontos percentuais na performance de reciclagem urbana.

A convergência exata entre os estimadores ATE, ATC e ATT em 0,058 reforça a robustez da política pública, mostrando que o ganho de eficiência ambiental mantém-se homogêneo independentemente do grupo analisado. Ademais, os limites estritamente positivos do intervalo de confiança de 95% para o ATT [0,052 ; 0,064] chancelam que a discrepância de desempenho não pode ser atribuída ao acaso ou a vantagens socioeconômicas pré-existentes, confirmando a existência de um efeito causal líquido e positivo.

4.3. Interpretação dos Ganhos em Eficiência Ambiental

A magnitude do ATT evidencia que a inovação regulatória local atua como um poderoso indutor de eficiência ambiental no manejo de resíduos sólidos urbanos. Enquanto o grupo de controle (composto por cidades de mesmo porte, riqueza e capacidade fiscal) patina em taxas de recuperação próximas a 1%, os municípios tratados conseguem saltar para patamares superiores a 9%. Essa diferença indica que a existência de uma lei municipal de Economia Circular cria um ambiente de segurança jurídica e incentivo

econômico capaz de estruturar o fluxo de materiais na gestão pública urbana.

Esse ganho de eficiência pode ser interpretado pela capacidade que a legislação local possui de mobilizar e institucionalizar canais de triagem e destinação. A presença da norma correlaciona-se com a formalização de contratos de coleta seletiva e a integração de cooperativas de catadores de alta produtividade, permitindo desviar dos aterros sanitários volumes expressivos de papel, plástico, vidro e metal. Portanto, os achados refutam a hipótese de que o desempenho ambiental decorre de maneira determinística e isolada do nível de riqueza de um município (PIB per capita) ou de sua capacidade fiscal (RCL); pelo contrário, mostram que o desenho institucional e a governança pública local desempenham um papel causal decisivo no fechamento de ciclos de materiais em mercados emergentes.

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo fornecem evidências empíricas contundentes de que a legislação municipal atua como um indutor fundamental de resultados práticos no manejo de resíduos sólidos urbanos, superando a visão de que o desempenho ambiental seria determinado majoritariamente por fatores socioeconômicos. Embora variáveis como o PIB per capita e o IDHM criem condições favoráveis, o desenho institucional estruturado por meio de leis locais de Economia Circular (EC) foi o fator causal decisivo para elevar a Taxa de Recuperação de recicláveis para patamares superiores a 9%, em comparação com a média de 1% do grupo de controle.

Como implicação política, fica evidente que os gestores subnacionais não devem adotar uma postura passiva à espera do desenvolvimento econômico para estruturar a sustentabilidade urbana. Recomenda-se o aprimoramento das políticas públicas por meio da criação de marcos regulatórios locais que traduzam as diretrizes gerais da PNRS em mecanismos práticos. Isso inclui a instituição de incentivos fiscais para cooperativas, a formalização de fluxos de logística reversa e a exigência de metas progressivas de desvio de aterro, garantindo que a governança local transforme a circularidade em um vetor estável de eficiência ambiental e inclusão socioeconômica.

5.1 Limitações e Direções para Pesquisas Futuras

Apesar da robustez metodológica assegurada pelo Propensity Score Matching (PSM), esta pesquisa apresenta limitações que abrem caminhos para investigações futuras. A principal limitação reside na natureza transversal (cross-sectional) dos dados de 2023, o que impede a análise da trajetória temporal e do tempo de maturação necessário para que uma lei municipal comece a gerar efeitos ótimos na Taxa de Recuperação. Além disso, o recorte amostral focado em municípios acima de 100 mil habitantes, embora metodologicamente necessário para garantir o suporte comum e a escala operacional, deixa uma lacuna sobre a dinâmica da EC em pequenos municípios, que dependem frequentemente de consórcios intermunicipais.

Para pesquisas futuras, sugere-se a aplicação de modelos quase-experimentais baseados em dados em painel, como a metodologia de Diferenças em Diferenças (DiD), permitindo capturar o impacto dinâmico das leis ao longo do tempo. Recomenda-se também a realização de estudos qualitativos comparativos de múltiplos casos para investigar os arranjos de governança interna mais eficazes na execução prática dessas leis, bem como a expansão da análise do impacto causal da economia circular para outras variáveis de resultado (outcomes), tais como os reflexos diretos no PIB municipal e na geração de empregos verdes locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010.

CHEN, Ziyu et al. The effects of circular economy on economic growth: A quasi-natural experiment in China. Journal of Cleaner Production, v. 271, 122558, 2020.

DE CARVALHO MOURA, Ivan et al. Legislação e práticas de economia circular: Comparação entre capitais brasileiras e europeias. Encontro Latino-americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis (euroELECS), v. 6, p. 1-11, 2025.

DIAS, Alice Libânia Santana. Aplicação de instrumentos econômicos na execução da política Brasileira de resíduos sólidos em um contexto de transição para economia Circular. 2022. 182 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2013.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production, v. 143, p. 757–768, 2017.

GENG, Y.; DOBERSTEIN, B. Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving leapfrog development. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, v. 15, n. 3, p. 231–239, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produto Interno Bruto dos Municípios: 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

KAIVO-OJA, Jari; VEHMAS, Jarmo; LUUKKANEN, Jyrki. Economic Growth and Circular Economy in the European Union: Novel Empirical Synergy Analyses Between Key Variables of Circular Economy and Gross Domestic Growth (GDP) and Gross National Income (GNI). OIDA International Journal of Sustainable Development, v. 15, n. 05, p. 23-36, 2022.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling, v. 127, p. 221–232, 2017.

LUI, Gabriel. Gestão pública de resíduos sólidos e a Economia Circular–uma análise comparativa a partir de instrumentos administrativos e da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). 2022.

MORAIS, Jandira et al. Global review of human waste-picking and its contribution to poverty alleviation and a circular economy. Environmental Research Letters, v. 17, n. 6, p. 063002, 2022.

SANTOS, Gesmar Rosa dos; MENDES, Alesi Teixeira. Resíduos sólidos, reciclagem e economia circular: desafios às políticas públicas. 2025.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (SINIR). Diagnóstico Temático dos Serviços de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos: Ano-ref 2023. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2023.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES CONTÁBEIS E FISCAIS DO SETOR PÚBLICO BRASILEIRO (SICONFI). Dados contábeis e fiscais dos municípios brasileiros. Brasília: Secretaria do Tesouro Nacional, 2023.