

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS**

**ANA LUISA SCHNEIDER KESSLER**

**POTENCIAL DE MERCADO PARA RECICLAGEM DO LIXO NOS  
MUNICÍPIOS BRASILEIROS**

**Porto Alegre - RS**

**2022**

ANA LUISA SCHNEIDER KESSLER

**POTENCIAL DE MERCADO PARA RECICLAGEM DO LIXO NAS  
REGIÕES BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão do Curso de  
Graduação em Administração da Escola de  
Administração da Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Vinicius Andrade Brei

**Porto Alegre**

**2022**

ANA LUISA SCHNEIDER KESSLER

**POTENCIAL DE MERCADO PARA RECICLAGEM DO LIXO NAS  
REGIÕES BRASILEIRAS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado ao Departamento de Ciências  
Administrativas da Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul como requisito parcial para  
obtenção do grau de Bacharel em Administração.

Porto Alegre, 06 de outubro de 2022.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Leonardo Nicolao  
UFRGS

---

Prof. Dr. Vinicius Andrade Brei  
Orientador  
UFRGS

## **AGRADECIMENTOS**

Sou sempre muito grata à minha família pelo incentivo e acolhimento, a leveza nos momentos difíceis e perseverança necessária para ir além nos mais tranquilos; à minha prima, Márcia, que, além de mudar nossas vidas em 2019 e permitir esta realização, me ajudou no conteúdo difícil deste trabalho. Às minhas amigas, amigos e pessoas amadas que tenho no meu coração que, mesmo sendo monotemática por um bom tempo, continuaram querendo me ter por perto (inclusive ao lado no computador estudando). Ao orientador Vinicius, exemplo de sucesso e de grandes contribuições acadêmicas. Ao colega Bruno Pavan, que propiciou a conexão com o Kauê Pelegrini, da Sort-e, e que generosamente cederam suas tardes de um sábado para conversar e oferecer as primeiras ideias para este trabalho. E ao ano de 2022 no geral - mesmo cheio de desafios de toda sorte em todos contextos da minha vida, este trabalho é, além de tudo, materialização do meu crescimento e competência. Obrigada.

*“O lixo é paradoxal: dá uma ideia de pobreza, embora seja a expressão evidente da riqueza.”*

(Jorge de Cunha Lima)

## RESUMO

A geração de lixo é percebida como grande problema, uma vez que doenças, animais, gases químicos e poluição decorrem do não tratamento e falta de atenção aos resíduos sólidos. No Brasil este tema é dependente da iniciativa pública, de cooperativas e pessoas que sobrevivem a partir do lixo, como os catadores. Ainda assim, a quantidade gerada é maior que a tratada. No entanto, a mentalidade em relação aos resíduos já é vista como oportunidade de negócio. O objetivo central do trabalho foi reunir informações e identificar variáveis relacionadas aos resíduos sólidos a fim de aplicar a regressão linear múltipla para descobrir a relação destas com o número de empresas de disposição, coleta e tratamento de resíduos sólidos nos municípios brasileiros. Dentre os resultados obtidos, concluiu-se, por exemplo, que variáveis como estimativa da população e IDH do município influenciam positivamente enquanto variáveis como massa gerada *per capita* e despesa total do município com resíduos sólidos, negativamente. A partir dos resultados obtidos, verifica-se a necessidade de maiores análises contextuais que envolvam legislação e interação dos usuários, bem como relação do setor público com empreendedores.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos; regressão linear múltipla; equação da reta; potencial de mercado.

## ***ABSTRACT***

The generation of solid waste is perceived as a major problem, since diseases, animals, chemical gases, and pollution result from the non-treatment and lack of attention to solid waste. In Brazil this issue is dependent on the public initiative, cooperatives, and people who survive on solid waste, such as the collectors. Even so, the amount generated is greater than the amount treated. However, the mentality towards waste is already seen as a business opportunity. The central objective of the work was to gather information and identify variables related to solid waste in order to apply multiple linear regression to discover their relationship with the number of solid waste disposal, collection and treatment companies in Brazilian municipalities. Among the results obtained, it was concluded, for example, that variables such as estimated population and HDI of the municipality influence positively while variables such as mass generated per capita and total expenditure of the municipality with solid waste, negatively. Based on the results obtained, there is a need for further contextual analyses that involve legislation and user interaction, as well as the relationship between the public sector and entrepreneurs.

***Keywords:*** solid waste; multiple linear regression; equation of a straight line; market potential.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de calor da correlação entre as variáveis.....	35
Figura 2 – Histograma da variável ‘IDH do município’.....	36
Figura 3 – Histograma da variável ‘PIB per capita’.....	37
Figura 4 – Histograma da variável ‘massa per capita’.....	37
Figura 5 – Histograma da variável ‘custo unitário médio’.....	38
Figura 6 – Histograma da variável ‘massa per capita em relação à população atendida’.....	38
Figura 7 – Gráfico de regressão linear.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis utilizadas.....	30
Tabela 2 - Variáveis e respectivas médias.....	33
Tabela 3 - Descrição das variáveis.....	34
Tabela 4 – Mediana das variáveis.....	34
Tabela 5 – Variância das variáveis.....	35
Tabela 6 - Valores do intercepto do modelo e coeficientes das variáveis.....	40
Tabela 7 – Coeficiente de determinação, erro absoluto médio e erro quadrático médio do modelo.....	40

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>3 REVISÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
3.1 O MERCADO DO LIXO.....	18
3.1.1 A SITUAÇÃO DO LIXO NO BRASIL.....	18
3.1.2 BREVE CONTEXTO SOBRE LEGISLAÇÃO DO LIXO NO BRASIL.....	19
3.1.3 RECICLAGEM: UM DOS 5 Rs, TIPOS DE MATERIAIS E HIERARQUIA DO LIXO.....	21
3.1.4 RECICLAGEM NO BRASIL: NÚMEROS E CONTEXTO.....	22
3.1.4.1 INFRAESTRUTURA.....	24
3.1.4.2 NEGÓCIOS EXISTENTES NO MERCADO DE RECICLAGEM DE LIXO NO BRASIL.....	25
3.2 POTENCIAL DE MERCADO E PREVISÃO DA DEMANDA.....	26
3.2.1 POTENCIAL DE MERCADO.....	26
3.2.2 PREVISÃO DA DEMANDA.....	27
<b>4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>30</b>
<b>5 RESÍDUOS SÓLIDOS NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS: ANÁLISE DE CONTEXTO E OPORTUNIDADES.....</b>	<b>32</b>
5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS.....	32
5.2 RESULTADOS DAS REGRESSÕES.....	38
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente, meio ambiente é o “conjunto dos agentes físicos, químicos, biológicos e dos fatores sociais susceptíveis de exercerem um efeito direto ou mesmo indireto, imediato ou a longo prazo, sobre todos os seres vivos, inclusive o homem” (IBGE, 2004, p. 210). O ser humano é parte integrante do meio ambiente, assim como os demais seres vivos, porém, é a intensa ação humana na utilização e transformação de recursos naturais a causadora dos maiores impactos negativos na natureza. Em 2000, a partir do texto publicado na Global Change Newsletter, o químico holandês Paul Crutzen e o biólogo americano Eugene Stoermer apresentam o conceito de "antropoceno", expondo uma nova época geológica evidenciada pelo impacto do homem na Terra. Algumas das evidências dessa intervenção humana na natureza apresentadas pelos autores foram a liberação de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) na atmosfera devido à queima de carvão e petróleo duas vezes maior do que a soma de todas as emissões naturais e a utilização pelo ser humano de mais da metade da água potável acessível e aumento da taxa de extinção de espécies entre mil e dez mil vezes nas florestas tropicais, por causa da atividade humana, por exemplo (CRUTZEN; STOERMER, 2006).

Para atender suas necessidades, o ser humano sempre explorou a natureza. O desenvolvimento tecnológico e aumento da produtividade na Era da Revolução Industrial provocaram melhorias substanciais na qualidade de vida material, no entanto, já na primeira metade do século XX foi possível perceber os danos que as novas tecnologias causam ao meio ambiente. Durante este período, a humanidade presenciou uma degradação ambiental sem precedentes (HAWKEN; LOVINS; LOVINS, 1999). A Revolução Industrial definiu as bases do estilo de vida que conhecemos hoje, produzindo e consumindo em uma escala sem precedentes e, naturalmente, explorando mais da natureza em busca de matéria-prima. Os impactos do consumo desenfreado agravam as consequências ambientais e uma delas é a grande geração de lixo. Atualmente não se consegue pensar na cidade sem pensar nos problemas causados pela geração de lixo, evidenciados pela poluição visual, mau cheiro e contaminação de rios e do ar.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em seu Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente, define lixo como “restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis” (p. 201, IBGE, 2004) e resíduos sólidos como

“resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição de ruas. Inclui ainda determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos de água, ou que exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.” (p. 270, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2004).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, lei 12.305/2010, define lixo como

“resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, [s.d.]).

O tratamento do lixo geralmente está sob responsabilidade dos municípios e a maioria deles não consegue dar conta de todo o material gerado pelos seus habitantes, tampouco têm recursos suficientes para investir em soluções que gerem empregos e riqueza. É um setor interessante, pois, anualmente, o Brasil perde R\$14 bilhões de reais por causa da reciclagem inadequada, segundo o último Panorama de Resíduos Sólidos publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) e, mundialmente, um mercado com tamanho estimado em US\$1,6 bilhões de dólares em 2020, segundo estudo da *Allied Market Research* empresa de pesquisa de mercado e consultoria americana.

A existência de lixões demonstra que o Brasil descarta seus resíduos da maneira mais inadequada possível. Dos 1.114 lixões existentes no Brasil, 93% (1.047) são operados por prefeituras e apenas 47 unidades pela iniciativa privada. As unidades de triagem, etapa anterior à reciclagem, são operadas em sua maioria por associações de catadores (716 unidades do total de 1163) (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2020). Atualmente, o gerenciamento do tratamento de resíduos sólidos no Brasil está concentrado e dependente do poder público: as prefeituras municipais atuam na maior parte das unidades por disposição no solo (isto é, lixões, aterros sanitários e aterros

controlados, por exemplo) correspondendo a 59,3% do total (2.527 unidades) e a iniciativa privada cuida de apenas 19,8% (842 unidades), pouco mais que as associações de catadores, com 17,5% do total (746 unidades), segundo informações do Diagnóstico. No estudo de estimativa de investimentos em aterros sanitários do Banco Nacional Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) de 2014, com dados do estudo da Associação Brasileira de Empresas Tratamento de Resíduos e Efluentes (Abetre) e Fundação Getúlio Vargas (FGV) de 2009, foram calculados os custos para as etapas de pré-implantação e implementação de aterros sanitários para três tamanhos de aterro: grande (2000 toneladas/dia), médio I (1000 toneladas/dia) e médio II (500 toneladas/dia). Os valores para pré-implantação e implementação, atualizados à época do estudo, foram R\$34.760.000,00, R\$18.012.000,00 e R\$11.060.000,00 respectivos aos tamanhos grande, médio I e médio II.

Por esse motivo, as empresas privadas já estão substituindo os governos municipais para possuir e operar a maioria dos aterros sanitários nos EUA, como a *Republic Services* e *Waste Management Inc*, líderes em reciclagem, descarte e tratamento de resíduos. No Brasil já existem empresas como a *Corpus*, que realiza coleta, transporte e destinação final dos mais variados resíduos e a *Trashin*, que faz consultorias, planos e sistemas de gestão de resíduos, projetos de logística reversa, destinação e transformação dos diferentes tipos de materiais. É previsto aumento drástico na geração de resíduos urbanos em todo o mundo e isso, proporcionalmente, exigirá aumento das capacidades de coleta e tratamento junto à reutilização dos materiais recuperados. Para este cenário será necessário aumentar significativamente os investimentos em toda a cadeia do tratamento de resíduos sólidos, de acordo com relatório do *The International Solid Waste Association* (ISWA).

Em 2021 foi publicado no *Journal of Cleaner Production* o artigo que reúne vinte anos de publicações sobre a economia circular (área em que reciclagem de resíduos está inserida) e busca responder três questões principais: i) como o campo de pesquisa sobre tratamento de resíduos (TR) evoluiu dentro do domínio da economia circular (EC)?; ii) quais os principais temas de pesquisa e tendências de TR na EC?; e iii) quais são as possíveis direções para pesquisas futuras sobre TR em direção à transição para EC? A pesquisa bibliográfica feita pelos autores

utilizou-se de quase mil publicações e, surpreendentemente, o artigo não cita nem um trabalho sobre oportunidades de negócio nem potencial de mercado na área de tratamento de resíduos (RANJBARI et al., 2021).

Em seu artigo sobre potencial de mercado e potencial de vendas e a partir de lacunas nas definições de outros livros, George Kress identifica componentes do potencial de mercado e os combina para oferecer a seguinte definição “o potencial de mercado identifica o máximo de unidades de determinado produto ou serviço passível de ser comprado em uma área geográfica específica, durante um período de tempo específico, quando apoiado por um nível de atividades de *marketing* realista” (KRESS, 1992). Isto posto, pode-se dizer que, atualmente no Brasil, existem “unidades” de resíduos suficientes para várias iniciativas terem sucesso neste mercado.

Considerando a seguinte frase exposta pelos estudiosos que iniciam esta seção: “uma tarefa empolgante, mas também difícil e assustadora, se coloca para a comunidade mundial de pesquisa e engenharia, para que lidere a humanidade em direção a um gerenciamento ambiental que seja global e sustentável” (CRUTZEN, STOERMER; 2000, p.18), este projeto busca responder a seguinte questão de pesquisa: qual o potencial de mercado para reciclagem do lixo nos municípios do Brasil.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O lixo é um problema devido aos incontáveis impactos negativos que gera na saúde da natureza e dos seres humanos. Alguns exemplos são a má qualidade do ar, do solo e sistemas de fornecimento de água; os gases tóxicos liberados pela queima ou incineração de plástico, extremamente prejudiciais; a poluição de aquíferos e reservatórios, entre outros. Além dos seres humanos, a fauna terrestre também é diretamente afetada: mais de 270 espécies animais, incluindo mamíferos, répteis, pássaros e peixes foram vítimas de lesões ocasionadas por plástico (WORLD WILDLIFE FUND, 2019). Ainda citando o plástico, a poluição causada por ele gera mais de US\$8 bilhões de prejuízo à economia global. O mundo é um só, porém, na situação que estamos, seriam necessários 1,7 planetas Terras para sustentar nosso padrão de consumo, segundo cálculo de pegada ecológica do *Global Footprint Network* (GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2020).

O tratamento do lixo é importante, pois ainda não temos planeta B (apesar de grandes empresários já estarem colocando o pezinho lá fora). As questões ambientais são multidisciplinares e urgentes, essenciais para preservar as cidades e definir nosso futuro. Dessa forma, negócios voltados para soluções podem se inserir nesse contexto e ajudar a sociedade, a natureza e os seres vivos em geral, diminuindo os problemas e impactos mencionados anteriormente. Os conhecimentos obtidos com este trabalho servirão para indicar e direcionar esforços de pessoas que tenham interesse em oferecer soluções. Espera-se que este estudo possa agregar aos já existentes enquanto oferece uma abordagem gerencial em relação ao tratamento do lixo.

No Brasil, as principais publicações sobre negócios, como Istoé, Exame e Istoé Dinheiro, pouco abordam sobre oportunidades e possibilidades para solucionar a questão dos resíduos sólidos. Aliás, o próprio assunto “sustentabilidade” é relativamente novo: a revista Istoé Dinheiro começou a ter seção específica só em março de 2019. As edições que expõem o tema normalmente indicam números, alertam sobre a situação e até comentam sobre empresas que trabalham com resíduos; também publicam sobre a atuação de prefeituras e a necessidade da participação ativa dos cidadãos. Nas poucas vezes que analisam oportunidades, o fazem no sentido de oportunidades às empresas internacionais e apresentam casos

específicos, como investimentos da Nestlé para coleta seletiva ou as parcerias da Coca-Cola com cooperativas de catadores para promover a reciclagem (REVISTA EXAME, 2020). Nota-se que as publicações não coletam dados nem os utilizam para informar e incentivar negócios nacionais de forma a aproveitar a oferta de resíduos existente.

Dessa forma, os empreendedores brasileiros não têm fontes claras, direcionadas e nem numerosas sobre negócios na área de reciclagem de resíduos sólidos, exceto se realizem uma busca extensiva e compilem dados de diferentes plataformas, como publicações de associações como Abrelpe, *sites* de governos, pesquisas oficiais como o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINIS) ou o Sistema Nacional de Informações sobre a gestão dos Resíduos sólidos (SINIR), por exemplo.

Por fim, enquanto empresários podem ter *insights* ao ler sobre práticas de ESG (environmental, *social and governance* - Governança Ambiental, Social e Corporativa) ou emissões de *green bonds* (títulos verdes, ou seja, títulos de dívida que só podem ser usados para financiar investimentos sustentáveis) nestas revistas ou outras publicações mais acessíveis, uma vez que são considerados temas da “moda”, poucas notícias e recursos são oferecidos com informações mínimas para realmente embasar, dar suporte e estrutura suficientes para concretizar ideias de negócios.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo deste trabalho é mensurar o potencial de mercado no setor de reciclagem de resíduos nos municípios brasileiros.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Levantar dados relativos à reciclagem nos municípios brasileiros;
- b) Identificar os problemas recorrentes e significativos nas etapas de tratamento de lixo;
- c) Desenvolver e testar modelo de cálculo de potencial de mercado de reciclagem de lixo;
- d) Aplicar o modelo de regressão linear para estimar o potencial de mercado nos municípios brasileiros.

### 3 REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo fornecerá, baseando-se em estudos anteriores, conceitos importantes que permitem a contextualização e melhor entendimento sobre o tema a ser desenvolvido neste trabalho. Os estudos analisados servirão como sustentação teórica deste.

#### 3.1 O MERCADO DO LIXO

##### 3.1.1 A Situação Do Lixo No Brasil

A correta destinação do lixo ainda é um problema em muitos países e no Brasil não é diferente. Ao mesmo tempo, o lixo é uma fonte geradora de riqueza uma vez que serve de matéria-prima para empresas e entidades sociais. Existem muitas cidades no país que não possuem coleta seletiva organizada e ainda há 1.694 lixões em cerca de 2.500 municípios brasileiros, segundo dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). É a região Sul que têm maior número de municípios atendidos pela coleta seletiva (59,5%) e em nível nacional esse percentual corresponde a 73,1% do Brasil (ABRELPE, 2020)

Além dos problemas relacionados à destinação, a segunda etapa também não é devidamente praticada no Brasil: a reciclagem de alumínio é referência mundial, no entanto, outros materiais como vidro, papel, borracha e plástico ainda não apresentam situação satisfatória. Entre os materiais não reaproveitados com a reciclagem, está o plástico (6 milhões de toneladas), papel ou papelão (4,7 milhões) e vidro (1 milhão). O Diagnóstico de Resíduos Sólidos de 2019, da Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) indica que a coleta seletiva ainda não é uma realidade na maioria dos municípios brasileiros: dos 3.712 municípios que participaram da edição do estudo, apenas 1.438 (38,7%) dispõem de alguma forma de coleta seletiva. Os outros 2.274 municípios (61,3%) declaram não dispor do serviço. De maneira geral, a despesa geral *per capita* com manejo de resíduos

sólidos urbanos (RSU) aumentou em todas as macrorregiões em 2019, segundo o Diagnóstico, sendo R\$137,73 o valor médio correspondente. O estudo também faz exercício de projeção de despesa total das prefeituras com manejo em 2019, ou seja, despesas com pessoal, veículos, manutenção, insumos, terceirizações e demais remunerações, exceto investimentos, equivalente a R\$24,4 bilhões de reais. Em 2020, o Brasil gerou 79,6 toneladas de resíduos sólidos urbanos e perdeu R\$14 bilhões com a falta de reciclagem adequada (ABRELPE, 2020).

Conforme indicado anteriormente, o Brasil descarta seus resíduos da maneira mais inadequada possível, ou seja, levando-os para os lixões que são gerenciados majoritariamente pelas prefeituras (SNS, 2019). Os governos não estão dando conta do serviço nos municípios: segundo Panorama da Abrelpe de 2020, dos 79,6 milhões de toneladas de lixo gerados, 72 milhões foram coletados, porém, 40,5% são destinados incorretamente, ou seja, 29 milhões de toneladas ficam de fora da possibilidade de reaproveitamento ou tratamento adequado. As prefeituras municipais são as maiores operadoras das unidades de disposição no solo (por exemplo lixões, aterros sanitários e aterros controlados), alcançando 59,3% do total ou 2.527 unidades operadas. Em seguida, com 842 unidades, estão as empresas privadas, atuantes em 19,8%, e bem próximo desse valor estão os operadores associações de catadores, com 17,5% do total ou 746 unidades. Em relação aos totais de resíduos recebidos, o SNIS apurou que 75,8 milhões de toneladas foram para unidades de processamento, sendo as principais unidades os lixões, aterros controlados e aterros sanitários, tendo recebido o equivalente a 75,2% do total (ou seja, com 57,0 milhões de toneladas). *'Talking numbers'* (falando em valores financeiros), em 2019 as prefeituras gastaram R\$137,73 por habitante (despesa total rateada pela população urbana), ou seja, foi gasto no país aproximadamente R\$24 bilhões com resíduos sólidos urbanos. Destas prefeituras municipais, apenas 44,8% cobram pelo serviço de manejo de resíduos e o que se arrecada cobre somente 57,2% dos custos.

### 3.1.2 Breve contexto sobre legislação do lixo no Brasil

A legislação ambiental no Brasil é considerada uma das mais completas do mundo. As Leis Ambientais foram criadas com a intenção de proteger o meio ambiente e reduzir as consequências negativas de ações humanas. Os órgãos ambientais competentes fiscalizam, definem regulamentos e atos de infração quando organizações de qualquer modalidade e cidadãos comuns cometem quaisquer descumprimentos.

A Constituição Brasileira de 1988, através do Artigo 225, define a importância de manter a estabilidade do ecossistema com a preservação e recuperação ambiental, sendo o principal objetivo a qualidade de vida que todo indivíduo é digno de ter. Assim, o debate sobre o desenvolvimento sustentável nas empresas conciliando com as práticas apropriadas ao uso dos recursos naturais é essencial, considerando os avanços industriais e tecnológicos.

A partir do termo *compliance*, na definição de Neves (EDMO COLNAGHI NEVES, 2018) como sendo uma prática que busca a qualificação de ética empresarial e de Singh e Bussen (SINGH; BUSSEN, 2015) como meio de obter concordância e conformidade perante leis e regras impostas, surge o termo *Compliance Ambiental*, que nada mais é a adaptação de prática de *compliance* no contexto ambiental, ou seja, a adoção, por parte das empresas, de práticas e atitudes rotineiras que evitem danos ambientais e colaborem com a sustentabilidade do país, conforme a legislação.

A Política Nacional do Meio Ambiente, Lei 6.938/1981 (BRASIL, 1981), oferece diretrizes e instrumentos para preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental. Ela tem como objetivo regulamentar as várias atividades que envolvam o meio ambiente para garantir a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental.

Esta lei é importante para gestão de resíduos, pois seus instrumentos orientam as empresas nas melhores práticas para o gerenciamento de atividades que interferem no meio ambiente de alguma forma, incluindo a geração de resíduos e é a referência mais importante de proteção ambiental, principalmente ao considerar o aumento do avanço industrial que, conseqüentemente, aumentou a utilização de recursos naturais e geração de resíduos. Com ela, órgãos ambientais

limitam e fiscalizam a atuação das empresas de modo que a exploração ambiental não prejudique além do mínimo necessário à vida e à qualidade de vida.

Antes da Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605 – 1998) (BRASIL, 1998), proteger o meio era um grande desafio, pois existentes eram esparsas, muitas vezes contraditórias e de difícil aplicação. Crime é uma violação ao direito, então, considera-se crime ambiental todo e qualquer dano ou prejuízo causado aos elementos que compõem o ambiente. A lei trata das sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, concedendo aos órgãos ambientais mecanismos para punição de infratores. Contrário ao que ocorria antes, a partir dela as pessoas jurídicas também são responsabilizáveis, permitindo que grandes empresas respondam criminalmente pelos danos que seus empreendimentos possam causar à natureza.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) e regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, estabelece as diretrizes, responsabilidades, princípios e objetivos que norteiam os diferentes participantes na implementação da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, identificados como os maiores desafios à gestão ambiental urbana nacional na atualidade.

O ponto de partida para a gestão e gerenciamento adequados dos resíduos sólidos encontra-se no art. 9º da Lei, que expressa ordem de prioridade de ações a ser seguida (não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos), ressaltando a possibilidade de adoção de tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos. A PNRS destaca o planejamento conforme a articulação entre as esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, visando à cooperação para atingimento dos objetivos da Lei.

### 3.1.3 Reciclagem: um dos 5 Rs, tipos de materiais e hierarquia do lixo

Reduzir, reutilizar e reciclar: o conceito dos 3Rs existe desde final dos anos 1970, popularizado nos Estados Unidos a partir da Lei de Conservação e

Recuperação de Recursos (RCRA, *Resource Conservations and Recovery Act*, 1976), criada para resolver os problemas relacionados aos resíduos urbanos e industriais. A ideia dos 3Rs era simples: estimular o público, através de um lema, a reduzir o desperdício e conter a tendência norte-americana de produzir mais lixo e, assim, manter a capacidade dos governos de gerenciá-lo. Em 2013 Bea Johnson escreveu o livro “*Zero Waste Home: The Ultimate Guide to Simplifying Your Life by Reducing Your Waste*”, um guia prático para ter uma vida baseada no movimento Lixo Zero. A partir do livro tem-se a ampliação do conceito dos 3Rs para 5Rs: recusar, reduzir, reutilizar, reciclar e repensar (em inglês, *rot*, que significa podre e se refere à compostagem, mas adaptado para repensar).

Segundo a definição do Ministério do Meio Ambiente, reciclagem é um conjunto de técnicas de reaproveitamento de materiais descartados, reintroduzindo-os no ciclo produtivo. Os resíduos que podem ser reciclados incluem materiais como vidro, papel, e alumínio, por exemplo, e não recicláveis tem-se a matéria orgânica, ou seja, restos de alimentos ou quaisquer matérias vivas.

O termo hierarquia do lixo surgiu em 1979 por Ad Lansink, um parlamentar holandês. Representa um esquema simples da gestão de resíduos, ordenando preferências relacionadas ao meio ambiente: prevenção no topo e disposição na parte inferior. Basicamente são seis degraus, começando por prevenção, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, por fim, disposição. É um conceito importante, pois orienta consumidores e empresas a refletir sobre sua produção, de forma a gerar uma quantidade mínima de resíduos por produto. Ao mesmo tempo, estimula a economia circular e promove a sustentabilidade, uma vez que tem como resultados a redução do número de materiais virgens sendo extraídos e usados para novos produtos. Devido aos 5Rs, a quantidade de resíduos gerados pelas comunidades, indústrias e governos é minimizada.

#### 3.1.4 Reciclagem no Brasil: números e contexto

A reciclagem compreende o processo em que os resíduos são convertidos em novos materiais, substâncias e itens para serem vendidos como novos, enquanto a

reutilização dos resíduos envolve pegar quaisquer produtos ou peças do produto e usá-los novamente no uso original ou para uma função diferente (VILLALBA et al., 2019). Por exemplo, no caso de materiais plásticos, o fluxo de reciclagem começa na concepção do produto, passando pelo consumo, destinação adequada, transferência para uma cooperativa ou central de triagem, passagem pela reciclagem mecânica (fragmenta, separa e lava, seca e faz a extrusão do material) e por último, retorna à indústria de transformação.

O Atlas do Plástico de 2020 da Fundação Heinrich Böll Brasil oferece a informação de que, em 2019, o Brasil foi o quarto maior produtor mundial de resíduos plásticos e perde, anualmente, R\$5.7 bilhões ao não resolver este problema. O país produz 11,3 toneladas de resíduos plásticos por ano e, além de estarmos entre os cinco primeiros poluidores, a quantidade de resíduos plásticos descartada praticamente não é reintroduzida na cadeia produtiva: 2,4 milhões de toneladas de plásticos são descartadas de forma irregular e 7,7 milhões de toneladas vão parar em aterros sanitários (ANDREA ZAMORA; ALEXANDRA CATERBOW; CAIO NOBRE, 2020). Os dados de 2018 do IBOPE de 2018 indicam que 75% dos brasileiros não separam materiais recicláveis e destes, 39% não separam lixo orgânico do seco, no entanto, 77% dos brasileiros sabem que o plástico é reciclável.

Segundo o relatório Perfil 2020, da Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2021), a cada 1 tonelada de material reciclado produzido, é reduzida em média 1,1 tonelada que seria disposto em aterro, gerando empregos para 3,16 catadores que recolhem esse volume de material no mês. Sobre o alumínio, segundo o informativo Notícias da Lata deste ano da Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (ABRALATAS, 2021), o percentual de reciclagem da lata de alumínio em 2020 foi de 97,4%. O ciclo de reciclagem renda para cerca de 800 mil catadores de materiais recicláveis, enquanto reduz 70% as emissões de gases de efeito estufa do ciclo da embalagem. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, atrás apenas da China e dos Estados Unidos e mantém-se entre os líderes mundiais na reciclagem. Segundo o CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem) em 2019 66,9% de papel em geral foi reciclado e, se considerando somente papel de embalagem, seria em torno de 85%. A reciclagem das embalagens longa vida da empresa TetraPak, em 2020, foi de 42,7%. A

composição das embalagens contém até 80% de materiais oriundos de fontes renováveis, tornando-as totalmente recicláveis (CEMPRE, 2020).

#### 3.1.4.1 *Infraestrutura*

A principal barreira para a reciclagem no Brasil é a infraestrutura, se não precária, inexistente. Segundo a Abrelpe, um em cada doze brasileiros ainda não tem acesso à coleta regular de lixo e muitos não têm consciência da importância dela. Representando os principais atores envolvidos na cadeia geral de reciclagem tem-se os catadores (muitos participando de estruturas organizadas); os comerciantes intermediários do material coletado (sucateiros) e a indústria recicladora e transformadora. Para além destes, atuam também a indústria de coleta e transporte de resíduos (privada e pública) e o Estado, regulando tanto os produtores de resíduos quanto os catadores.

O trabalho dos catadores é muito relevante para a efetividade da reciclagem, uma vez que eles chegam em bairros que o serviço de coleta seletiva dos municípios não alcança. Inclusive, se não fosse pelo trabalho dos recicladores, o Brasil não teria índices positivos de reciclagem de lixo. Apesar dos benefícios ambientais (os resíduos são impedidos de acumular), econômicos (geração de renda na cadeia) e sociais consequentes da atuação deles, são pouco valorizados e os que menos se beneficiam dessa atividade. As grandes indústrias normalmente compram os materiais de sucateiros, que, diferentemente dos catadores, possuem infraestrutura e equipamentos adequados para fornecer em quantidade e com qualidade (AQUINO; JÚNIOR; PIRES, 2009). A formação de cooperativas de reciclagem pelo país evidencia a importância dessa atividade para reduzir os impactos, uma vez que contribuem estendendo a vida útil de produtos e embalagens por meio da coleta. Assim, os programas de logística reversa consolidam-se, conforme objetivado pela PNRS.

Pensando na questão transporte dos materiais recicláveis, segundo o estudo da Abrelpe, os tipos mais comuns de veículos utilizados para a coleta são caminhões compactadores (42,4%), seguido de caminhões do tipo basculante,

carroceria ou baú (42,3%). Sobre a propriedade dos veículos, 53,5% pertencem à entes privados (53,5%) e 46,5% à entes públicos; da mesma forma são os caminhões compactadores 67,1% de empresas privadas. Os caminhões basculantes, baú ou carroceria, são em sua maioria das prefeituras (50,5%) e isso pode ser justificado pela versatilidade no uso.

A coleta dos resíduos é responsabilidade dos municípios (exceto para grandes geradores de lixo) mas, na prática, catadores autônomos também a fazem. Uma vez descartados, os resíduos recicláveis vão para unidades de triagem, que organizam e separam por tipo; após, o material já triado é separado e destinado à venda ao reciclador. No Brasil, a maior parte das organizações de triagem são cooperativas e realizam a separação manualmente. Um problema nesta etapa: ainda que os materiais cheguem às unidades corretamente, boa parte acaba em aterros, principalmente por dois motivos: o material é reciclável, mas não tem comprador porque não apresenta vantagem econômica em ser reciclado ou o material foi descartado de forma incorreta.

Por fim, o material reciclável é transformado em matéria-prima pelos recicladores e cada material tem um processo de reciclagem específico, de forma que cada reciclador é especialista em um tipo de material; evidentemente, os valores cobrados variam por tipo de material. Nesta etapa, a intenção é que o material tenha condições de servir para fabricação de novos produtos e o desafio é o custo: se for mais barato usar material virgem, torna-se complicado incentivar empresas a utilizar o reciclado.

#### 3.1.4.2 *Negócios existentes no mercado de reciclagem de lixo no Brasil*

Além das empresas já mencionadas no começo do trabalho, (empresa Corpus, que faz coleta, transporte e destinação final dos mais variados resíduos e Trashin, que oferece consultorias e projetos de logística reversa, destinação e transformação dos diferentes materiais), existem também a Sorte-E, *startup* gaúcha de impacto ambiental que recompensa os usuários ao realizarem o descarte correto e consciente dos resíduos e a TerraCycle, empresa especializada em desenvolver

soluções ambientais para produtos e embalagens de difícil reciclagem em parceria com empresas, organizações sociais, órgãos públicos e sociedade civil.

Uma modalidade de vendas que cresceu bastante com a pandemia foi o *e-commerce* e existe uma plataforma no Brasil, chamada B2Blue, que valoriza diferentes tipos de resíduos (inclusive químicos) ao conectar vendedores e compradores, além de ser conexão entre diversas empresas parceiras. Na ideia de logística reversa existe a GreenMining, que rastreia os materiais a serem descartados para chegarem aos HUBs (central de recebimento) que instalaram pelas cidades que atuam e tenham a destinação correta posteriormente, em usinas ou outras empresas de reciclagem.

A Estre oferece variadas soluções para cidades e empresas que vão desde operação de aterros sanitários até geração de energia através do biogás destes aterros e limpeza de ruas, inclusive de patrimônio público. A empresa RCRAmbiental, que tem parceria com a TerraCycle, oferece serviços às empresas, como logística reversa, assessoria fiscal e proteção da marca. O Grupo Solví atua nas áreas de tratamento, destinação e valorização de resíduos, e ao firmar concessões ou parcerias público privadas, tem os seguintes serviços: gestão e operação de aterros sanitários; coleta domiciliar, hospitalar e seletiva; manutenção de áreas verdes e limpeza de vias públicas, por exemplo.

## **3.2 POTENCIAL DE MERCADO E PREVISÃO DA DEMANDA**

### **3.2.1 Potencial de Mercado**

Para Kress (1992), diferente de outros autores citados em seu artigo, potencial de mercado não é simplesmente a capacidade de um mercado absorver os produtos ou serviços em determinado período nem serve para determinar a viabilidade de algum produto ou serviço. Ele considera o potencial de mercado como atividade contínua e presente nas demais etapas do ciclo de vida do produto ou serviço em questão. Segundo o autor, os componentes do potencial de mercado são o próprio produto ou serviço, o uso, a geografia, o tempo e as atividades de

*marketing.*

Ao escrever sobre os determinantes estruturais do potencial de mercado, Charles Ingene (INGENE, 1984) o define em termos do nível real de gasto do consumidor em relação ao nível que se pode esperar que seja gasto. Neste aspecto, ele indica que renda é determinante para vendas *per capita*. A partir dos gastos dos consumidores, podem ser identificadas três áreas de mercado: quando abaixo do nível esperado, existe oportunidade no mercado; quando são equivalentes ao que se está oferecendo, o mercado é atrativo para empresas que alcançam fatias em que seus competidores não estejam; e por fim, quando gastos ultrapassam o esperado, as empresas que entram neste mercado são aquelas que têm poder verdadeiro de competição.

### 3.2.2 Previsão da demanda

Demanda é a procura de pessoas por um bem ou serviço. Kotler e Armstrong (2009) definem que demandas são desejos por produtos específicos, respaldados pela habilidade e pela disposição de comprá-los. Para as empresas, prever a demanda é muito importante, pois auxilia na tomada de decisão em praticamente todas as áreas do negócio, principalmente no planejamento de investimentos e horizonte de tempo das operações (KOURENTZES; ROSTAMI-TABAR; BARROW, 2017). Para Chambers, Mullick e Smith (CHAMBERS; MULLICK; SMITH, 1971), uma previsão de sucesso responde a três questões: i) qual o propósito da previsão e como será utilizada? ii) quais são as dinâmicas e componentes do sistema para o qual a demanda será realizada? e iii) quão importante é o passado para estimar o futuro? Os autores também definem três técnicas básicas para uma previsão de sucesso: técnicas qualitativas, análise de série histórica e projeção e modelos causais.

Para Hyndman e Athanasopoulos, previsões servem para antever o futuro com a maior precisão possível, dadas as informações disponíveis, incluindo dados históricos e conhecimento de eventos futuros que possam afetar as previsões (HYNDMAN; ATHANASOPOULOS, 2021). Boas previsões apreendem padrões e

relações em dados históricos e intencionam compreender o jeito que as coisas se movem, não apenas onde estão no momento. Os autores indicam que a escolha do método para fazer previsões depende dos dados disponíveis e da previsibilidade das quantidades a serem previstas. Também oferecem cinco passos básicos para realizar uma tarefa de previsão: definição do problema; coleta de informações; uma análise exploratória preliminar; escolher e provar modelos; e por fim, utilizar e avaliar o modelo escolhido.

Os autores também separam as previsões em horizontes de previsão conforme as necessidades, no contexto do livro, de empresas. Estes horizontes são baseados na natureza das decisões que as frequências dos dados conseguem oferecer suporte em uma companhia ou organização (PETROPOULOS; MAKRIDAKIS, 2020). As de curto prazo servem para a programação de pessoal, produção e transporte, por exemplo, em situações de agendamentos, ou seja, horas ou semanas. No médio prazo, as previsões determinam necessidades futuras de recursos, como matérias-primas, pessoal ou máquinas e equipamentos (meses ou até dois anos à frente). Por último, as de longo prazo servem para o tema deste trabalho, pois tratam de oportunidades de mercado, fatores ambientais e recursos internos considerando planejamentos estratégicos de um a cinco anos à frente (HYNDMAN; ATHANASOPOULOS, 2021)

Combinando com o que Kress indica sobre potencial de mercado, David Huff (1963) escreveu que requisito fundamental para prever potencial de demanda de mercado em determinada área urbana é exatamente a delimitação desta com os prováveis consumidores do bem ou serviço. Uma vez que os consumidores são os “objetos” primários em quaisquer análises de áreas de negócios, este conhecimento, além de estimar vendas potenciais, permite determinar investimentos, por exemplo.

Existe uma competição para explorar métodos e modelos de previsão nas mais diversas áreas, a fim de unir a teoria e aplicações práticas, chamada “M Competition”. A última edição, M4, realizada em 2020, além de dar continuidade às anteriores, incluiu recursos como dados com alta frequência (semanal, diários e de hora em hora), considerou intervalos de previsão e previsões pontuais, deu ênfase à replicabilidade de resultados e incorporou referências e vasto número de séries diversas (PETROPOULOS; MAKRIDAKIS, 2020).

Uma característica importante que deve ser considerada em previsões é a incerteza, geralmente subestimada nos modelos, como indicado pelos autores abaixo

*“In the emerging field of “scientific” forecasting, there is absolute certainty about two things. First, no one possesses prophetic powers, even though many pretend to do so; and, second, all predictions are uncertain: often the only thing that varies among such predictions is the extent of such uncertainty.”* (MAKRIDAKIS; HYNDMAN; PETROPOULOS, 2020)

A saída é, além do cálculo dos resultados dos modelos, calcular a incerteza deles. Segundo os mesmos autores, a abordagem geral para isso é “estimar a distribuição de probabilidade de observações futuras condicionadas à informação disponível no momento da previsão”. Também indicam que combinar previsões melhora a precisão.

#### 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para responder a questão de pesquisa deste trabalho, que é: "Qual o potencial de mercado para reciclagem do lixo nas regiões do Brasil", foram escolhidos os procedimentos metodológicos relacionados à análise de dados e aplicação de modelo de regressão linear, que serão descritos com mais detalhes neste capítulo.

Inicialmente foi realizada uma revisão de literatura. Para isso, foram lidos artigos e periódicos sobre construção, utilização e melhores práticas de modelos de previsão de demanda e potencial de mercado, enquanto relatórios e publicações sobre o contexto atual brasileiro do tratamento de resíduos. Após, foram coletados dados oficiais do IBGE e SNIS, por exemplo, sobre limpeza urbana, resíduos sólidos, dados sociais e demográficos dos municípios. Foram selecionadas as informações mais relevantes e construída planilha no Excel, de modo a organizar e melhor visualizar os dados e, posteriormente, utilizada na análise exploratória e no modelo de previsão de empresas, tratamento e coleta de resíduos sólidos nos municípios. Em relação aos 5570 municípios brasileiros, foram selecionadas 9 variáveis, como descrito na tabela abaixo, com dados referentes ao ano de 2020:

**Tabela 1 - Variáveis utilizadas**

Variável	Descrição	Unidade de medida
1 População estimada	Número de pessoas residentes	Habitantes
2 Densidade demográfica	Número de habitantes por quilômetro quadrado	Habitantes/km <sup>2</sup>
3 IDH do município	Índice de Desenvolvimento Humano	IDH
4 PIB per capita	Produto Interno Bruto per capita	Reais
5 Número de empresas de coleta, tratamento e disposição de resíduos	Quantidade de empresas de coleta, tratamento e disposição de resíduos	Unidade
6 Massa coletada (RDO + RPU) per capita em relação à população urbana	Quantidade de Resíduos Sólidos Domiciliares e Resíduos Sólidos Públicos coletados per capita em relação à população urbana	Quilogramas/habitante/dia
7 Custo unitário médio do serviço de coleta (RDO + RPU)	Valor médio despendido com serviço de coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares e Resíduos Sólidos Públicos	Reais/tonelada
8 Massa de resíduos domiciliares e públicos (RDO + RPU) coletada per capita em relação à população total atendida pelo serviço de coleta	Quantidade de Resíduos Sólidos Domiciliares e Resíduos Sólidos Públicos coletados per capita em relação à população total atendida pelo serviço de coleta	Quilogramas/habitante/dia
9 Despesa total com serviços de manejo de RSU	Valor gasto pelo município com serviços de manejo Resíduos Sólidos Urbanos (RS)	Reais

Fontes: IBGE e Glossário de Indicadores - Resíduos Sólidos (SNIS, 2020)

Estas variáveis foram escolhidas pois, de alguma forma, estão relacionadas com resíduos sólidos. Valores de população estimada e densidade demográfica foram considerados relevantes para identificar se cidades com maior número e concentração de pessoas realmente produzem mais resíduos; o IDH do município foi escolhido para relacionar se níveis mais altos deste índice representa maior consciência de seus habitantes em relação à geração e disposição; escolheu-se o PIB *per capita* para verificar se renda mais alta relaciona-se a maior quantidade de de resíduos gerados; as duas variáveis relacionadas a quantidade de massa coletada foram escolhidas considerando que são o principal insumo do mercado de resíduos sólidos; o custo unitário médio foi escolhido para identificar o tamanho desta conta para os cofres públicos municipais; escolheu-se a variável número de empresas de coleta, tratamento e disposição para identificar os municípios que têm a iniciativa privada atuando.

Todas estas informações foram utilizadas para fazer a Análise Exploratória de Dados com o objetivo de tornar o volume de informações visuais e compreensíveis, uma vez que esta técnica permite explorar e ajustá-los a fim de descobrir padrões, identificar anomalias e criar hipóteses. Foi criado um *Jupyter Notebook* utilizando a linguagem de programação *Python*. As bases de dados (original e manipuladas) e o registro do código utilizado foram inseridos no [Github](#), plataforma para criação de ambientes de colaboração e gerenciamento de códigos.

Para reduzir a distorção das estimativas, os dados foram normalizados através de *z-score* a fim de tornar as informações comparáveis e assim, a análise foi refeita. A regressão linear múltipla é utilizada quando se tem duas ou mais variáveis independentes e se deseja saber como estas, separada ou conjuntamente, justificam ou influenciam mudanças na variável dependente. Considerando que, para a criação do modelo de regressão, assume-se que as variáveis independentes tenham relação linear entre si, o objetivo da regressão é obter uma equação de previsão que permita estimar justamente o valor da variável dependente baseado no comportamento das independentes. Confirmando ou descartando as relações, pode-se levantar hipóteses de oportunidades para a iniciativa privada explorar.

Para realizar a regressão linear múltipla, após a normalização dos dados, estes foram divididos em treino e teste, sendo  $X$  composto pelas variáveis

independentes e  $Y$  a dependente, na proporção 20% treino e 80% teste (1114 e 4456 informações, respectivamente). As variáveis de treino foram ajustadas ao modelo para identificar o comportamento e, assim, utilizadas no teste e consequente previsão. A fim de avaliar o desempenho do modelo, foram calculados o  $R^2$  (coeficiente de determinação), o erro médio absoluto (*mean absolute error - MAE*) e erro quadrático médio (*mean squared error - MSE*). Quando os valores encontrados são próximos à 0, para os três indicadores, significa que o desempenho do modelo é bom. O primeiro indica a proporção que uma mudança percebida em  $Y$  é justificada por alguma alteração em  $X$ ; o segundo mede os erros entre o valor previsto e o valor real das observações; e o último, calcula a média da diferença entre o valor estimado e o do parâmetro, ao quadrado. Este estudo não avaliou os impactos da implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos nem políticas e ações próprias aos municípios, apenas análise da situação e relações.

## 5 RESÍDUOS SÓLIDOS NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS: ANÁLISE DE CONTEXTO E OPORTUNIDADES

O objetivo deste capítulo é oferecer informações, a partir dos dados, sobre resíduos sólidos nos municípios brasileiros, aplicando e explicando a metodologia indicada anteriormente nas variáveis.

### 5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

Os resultados da análise exploratória dos dados são descritos neste capítulo. Inicialmente, foi feita a limpeza e padronização dos dados: todos os valores foram formatados em números, com três casas após a vírgula; foram removidos sinais e anotações como R\$ e as grandezas como toneladas ou quilos também foram excluídas. As variáveis que continham valores nulos ou ausentes tiveram suas médias calculadas e estes campos preenchidos com elas, como mostrado na tabela abaixo.

**Tabela 2** - Variáveis e respectivas médias

<b>Variável</b>	<b>Média</b>
Densidade demográfica	108,105
IDH do município	0,659
Número de empresas	1,697
Massa <i>per capita</i>	1,016
Custo unitário médio	223,671
Massa <i>per capita</i> em relação à pop. atendida	0,882
Despesa total com resíduo sólidos urbanos	5208595,220

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Também nesta etapa foram calculadas as estatísticas das variáveis, como médias, desvios padrão, valores máximos e mínimos bem como os quartis. A variável município é categórica, por isso, as quatro primeiras informações (*count*, *unique*, *top* e *frequency*) têm valores e as demais indicam “NaN” (que significa *not-a-number*, ou seja, indica valor numérico indefinido ou irrepresentável, como um

nome). O inverso ocorre com as variáveis que contêm dados numéricos, conforme tabela.

**Tabela 3 - Descrição das variáveis**

	MUNICIPIO	POP_EST	DENS_DEM	IDHM	PIBCAP	MASSA_PCAP	CUSTO_UNIM	MASSA_PCAP_POP	DESP_TOT	RSU	NRO_EMP
count	5570	5570	5570	5570	5570	5570	5570	5570	5570	5570	5570
unique	5297	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
top	Bom Jesus	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
freq	5	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
mean	NaN	38.297.601	108.202	0.659	23.513.942	1.016	223.671	0.882	5.208.595.218	1.698	1.698
std	NaN	224.288.153	571.860	0.072	24.238.463	0.553	132.710	0.519	46.800.726.115	9.484	9.484
min	NaN	771	0.130	0.418	4.788.180	0.030	10	0.030	12.500	0	0
50%	NaN	11.732	24.400	0.665	17.433.840	0.990	223.671	0.860	1.105.360	0	0
max	NaN	12.396.372	13.024.560	0.862	583.171.850	5.900	3.912.290	6.620	2.348.522.610.920	532	532

Fonte: análise de dados elaborada pela autora (2022).

A análise exploratória foi feita com os dados ajustados e apresenta informações estatísticas mais detalhadas sobre cada variável, destacando por exemplo, além das citadas, variância, mediana, histogramas e correlações (MCGRATH, 2020). A variância indica quão distante os valores estão da média das variáveis e a mediana, no caso deste estudo composto por número par de dados (5570 municípios), calcula a média de dois valores centrais para cada variável. Abaixo, para fins de visualização e *insights*, tabelas relacionando as informações, *heatmap* (mapa de calor) da correlação entre as variáveis e imagens com gráficos dos histogramas.

**Tabela 4 – Mediana das variáveis**

Variável	Mediana
População estimada	11732
Densidade demográfica	24400
IDH do município	0.665
PIB <i>per capita</i>	17433840
Massa <i>per capita</i>	0.990
Custo unitário médio	223671
Massa <i>per capita</i> em relação à pop. atendida	0.860
Despesa total com residuo sólidos urbanos	1105360000
Número de empresas	0

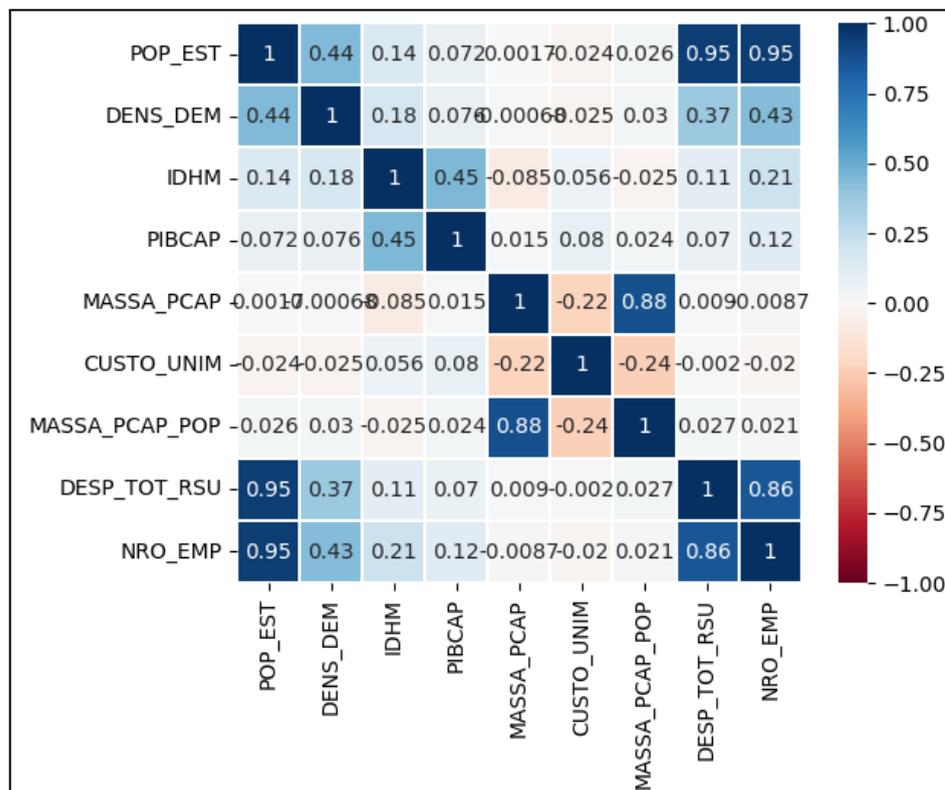
Fonte: elaborado pela autora (2022).

Tabela 5 – Variância das variáveis

Variável	Variância
População estimada	50305175490645
Densidade demográfica	327023994
IDH do município	0.005
PIB <i>per capita</i>	587503092514
Massa <i>per capita</i>	0.305
Custo unitário médio	17612076
Massa <i>per capita</i> em relação à pop. atendida	0.269
Despesa total com resíduo sólidos urbanos	2190307964854460000
Número de empresas	89937

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Figura 1 – Mapa de calor da correlação entre as variáveis



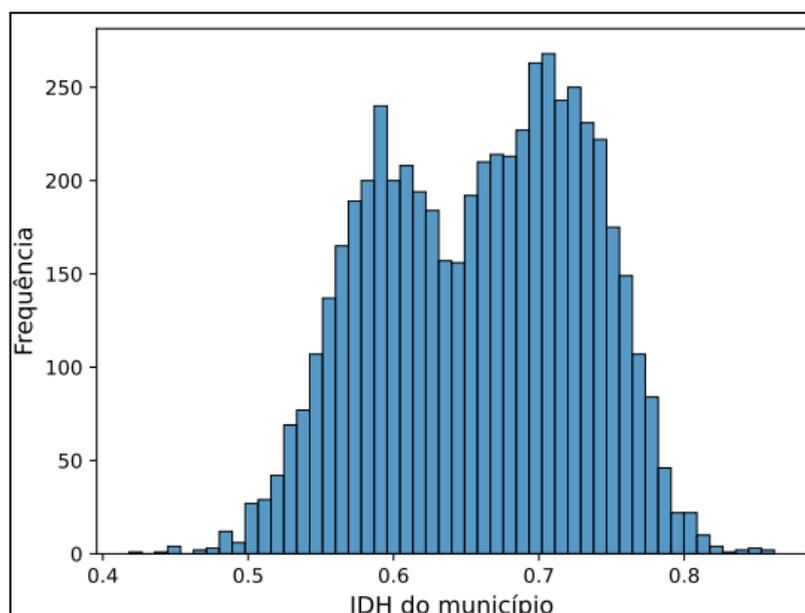
Fonte: elaborado pela autora (2022).

O gráfico de correlação acima indica as relações entre as variáveis, evidenciando que as variáveis “população estimada”, “despesa total com resíduos sólidos” e “número de empresas” têm forte correlação. De forma oposta, as duas variáveis de quantidade de massa gerada pela população têm baixa correlação com o “custo unitário médio” dos serviços de coleta.

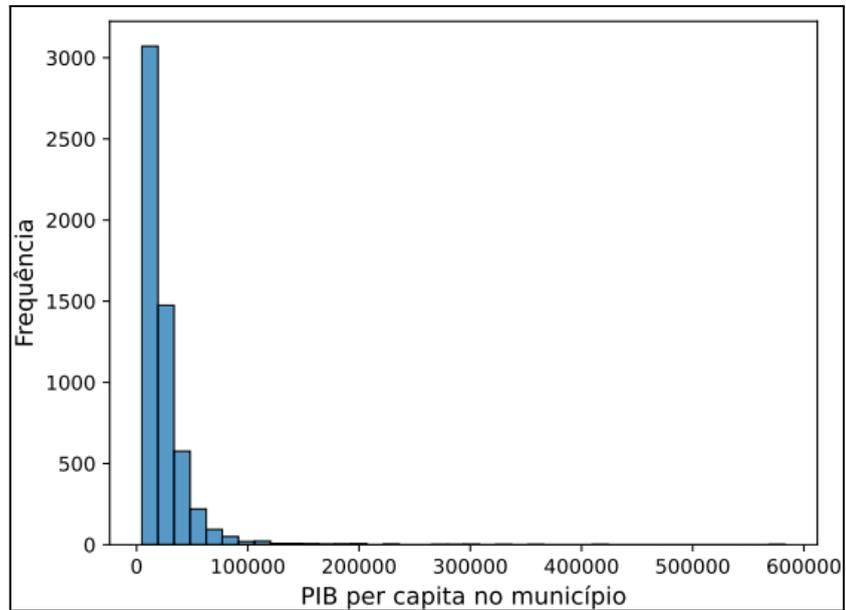
A partir da análise exploratória definiu-se que a variável dependente seria o “número de empresas de coleta, disposição e tratamento de resíduos”, em razão do tema do trabalho e porque a maioria dos municípios não possui nenhuma. Uma vez que é através da instalação de empresas que a iniciativa privada aproveita a oferta de resíduos, definiu-se esta variável como potencial de mercado pois engloba a avaliação de concorrência, oportunidades de crescimento e características de demanda, por exemplo. Como variáveis independentes foram utilizadas as demais: “população estimada”, “densidade demográfica”, “IDH do município”, “PIB *per capita* no município”, “massa gerada *per capita*”, “custo unitário médio dos serviços”, “massa gerada *per capita* em relação à população atendidas e “despesa total com resíduos sólidos urbanos” a fim de compreender o efeito delas na variável dependente.

Os histogramas das variáveis ‘população estimada’, ‘densidade demográfica’ e ‘despesa total com resíduos sólidos urbanos’ não fornecem informações significativas que contribuam para a compreensão do trabalho e, por isso, foram desconsiderados.

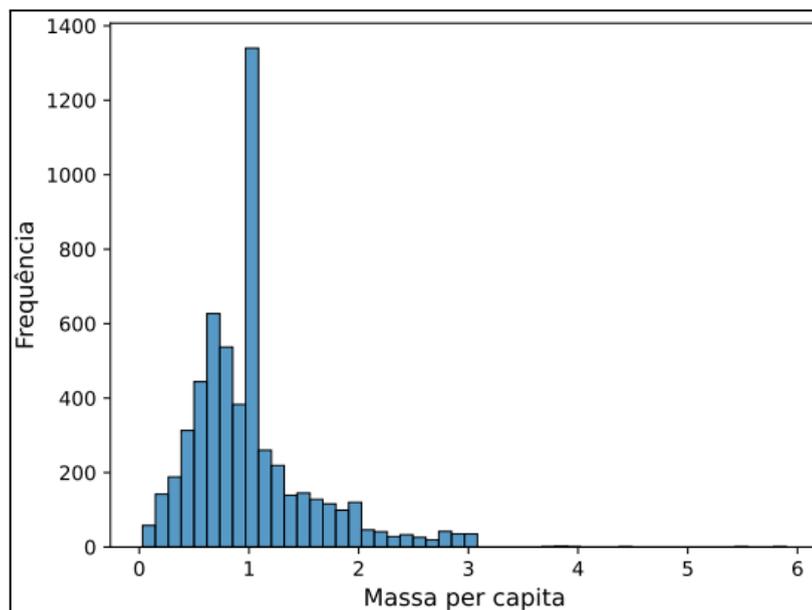
**Figura 2** – Histograma da variável ‘IDH do município’



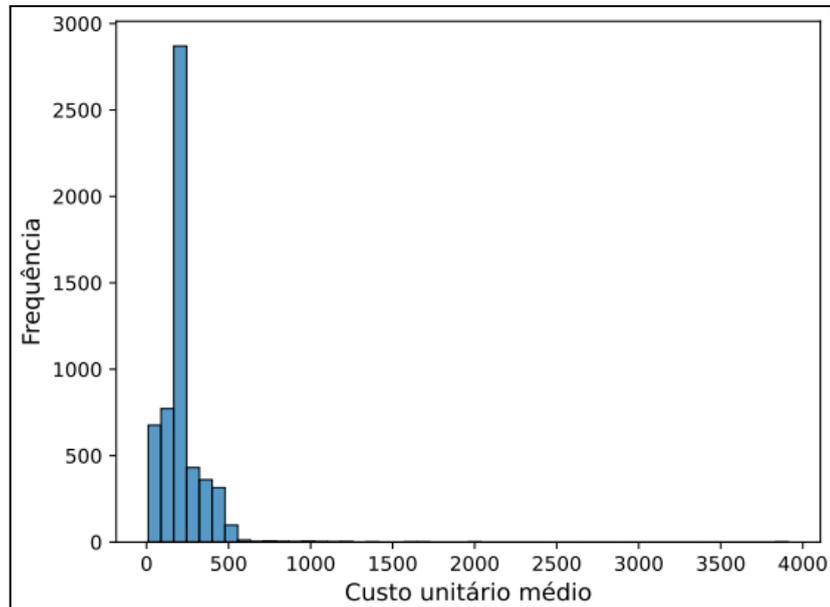
Fonte: elaborado pela autora (2022).

**Figura 3** – Histograma da variável ‘*PIB per capita*’

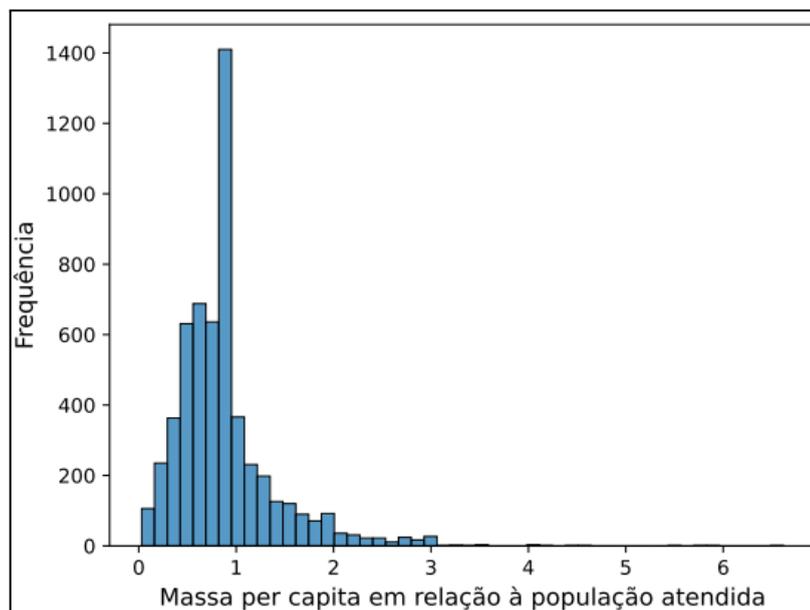
Fonte: elaborado pela autora (2022).

**Figura 4** – Histograma da variável ‘*massa per capita*’

Fonte: elaborado pela autora (2022).

**Figura 5** – Histograma da variável ‘custo unitário médio’

Fonte: elaborado pela autora (2022).

**Figura 6** – Histograma da variável ‘massa *per capita* em relação à população atendida’

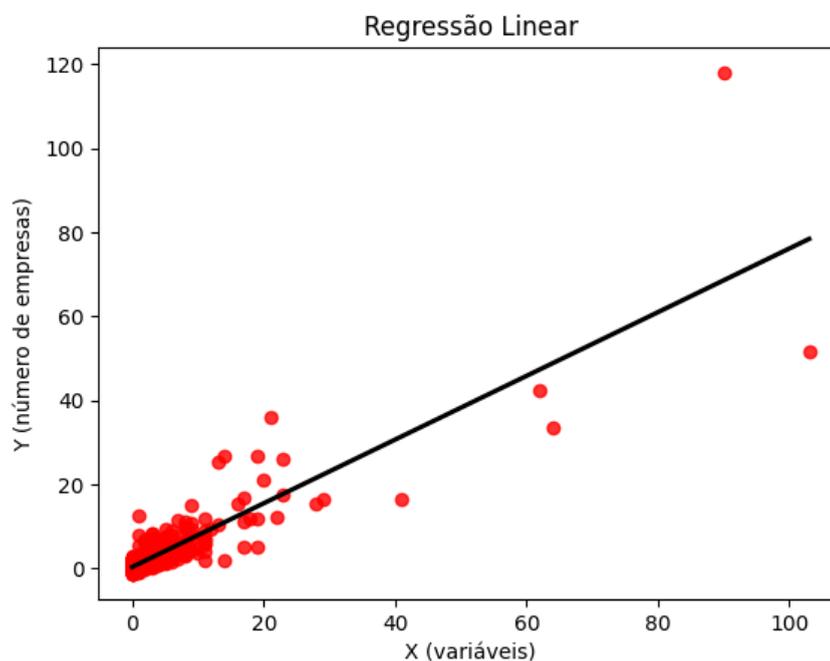
Fonte: elaborado pela autora (2022).

## 5.2 RESULTADOS DAS REGRESSÕES

A regressão linear foi utilizada para testar se as variáveis independentes prevêm ou influenciam significativamente o número existente de empresas de coleta, tratamento e disposição de resíduos sólidos nos municípios brasileiros. Os códigos e resultados são descritos neste capítulo.

A fórmula para realizar a regressão linear é a equação da reta:  $Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$ , em que Y é a variável a ser prevista, o  $\alpha$  é o valor que descreve o intercepto (onde a linha está quando o valor de X é zero),  $X_n$  são as variáveis preditoras e os  $\beta_n$  é a inclinação da reta (*slope*) que indica a influência de cada variável preditora sobre a dependente (ou o quanto a reta é inclinada por esta variável).

**Figura 7** – Gráfico de regressão linear



Fonte: elaborado pela autora (2022).

**Tabela 6** - Valores do intercepto do modelo e coeficientes das variáveis

Intercepto	1.680
Variável	$\beta$
População estimada **	12.416
Densidade demográfica	-0.177
IDH do município **	0.489
PIB <i>per capita</i> **	0.340
Massa <i>per capita</i>	-0.061
Custo unitário médio	0.054
Massa <i>per capita</i> em relação à pop. atendida	0.053
Despesa total com resíduos sólidos urbanos	-3.683

Fonte: elaborado pela autora (2022).

O valor do intercepto (coeficiente linear) encontrado foi de 1.68, confirmado através do gráfico que exibe onde a reta corta o eixo Y. Os coeficientes angulares descritos correspondem respectivamente às variáveis. Assim, o modelo de regressão linear ajustado encontrado, quando descrito pela fórmula, é: Número de empresas = 1.68 + 12.41\*(população estimada) – 0.18\*(densidade demográfica) + 0.49\*(IDH do município) + 0.34\*(PIB *per capita*) - 0.06\*(massa *per capita*) + 0.05\*(custo unitário médio) + 0.05\*(massa *per capita* em relação à população atendida) – 3.68\*(despesa total do município com resíduos sólidos). Em relação aos indicadores para avaliação do desempenho do modelo, os resultados foram os seguintes:

**Tabela 7** – coeficiente de determinação, erro absoluto médio e erro quadrático médio do modelo

$R^2$	MAE	MSE
0.763	1.134	8.044

Fonte: elaborado pela autora (2022).

O  $R^2$  indica que 76.33% da variação sofrida pela variável dependente é explicada pelo modelo de regressão linear utilizado; o erro médio absoluto (*MAE* na tabela) mostra que o modelo pode estar errando as previsões em média 1,13 para mais quanto para menos em relação ao valor correto; por fim, em relação ao erro quadrático médio (*MSE*), quanto maior o valor do erro quadrático médio, pior a

performance do modelo em relação às previsões, pois pode ser afetado por valores discrepantes.

## 6 CONCLUSÕES

A partir da coleta de dados dos municípios brasileiros referentes aos resíduos sólidos, foi possível contextualizar e identificar quais informações estão relacionadas à existência de empresas de tratamento, disposição e coleta de resíduos sólidos. Dos 5570 municípios brasileiros, 4502 deles possuem uma ou nenhuma empresa. Na maioria dos municípios este serviço é predominado pela iniciativa pública, o que muitas vezes o torna ineficiente e incapaz de atender à demanda.

Os dados indicam, por exemplo, que São Paulo tem o maior número de empresas (532) e a maior população (mais de 12 milhões); o Rio de Janeiro é o segundo que tem estas variáveis mais altas, correlação demonstrada pelo coeficiente angular encontrado. Por outro lado, foi observado que algumas variáveis, intuitivamente consideradas influentes no número de empresas nos municípios, não têm tanta influência assim, como a densidade demográfica e a massa gerada de resíduos sólidos por pessoa.

Descobriu-se que a variável 'população estimada' pôde prever significativamente o número de empresas nos municípios ( $\beta = 12.41$ ). Já as variáveis 'densidade demográfica', 'massa gerada *per capita*' e 'despesa total com resíduos sólidos' têm coeficiente angular negativo, ou seja, não conseguem prever significativamente o número de empresas de disposição, coleta e tratamento nos municípios. Através do gráfico de regressão linear percebe-se a existência de correlação positiva entre as variáveis independentes e a dependente, dessa forma, é possível fazer previsões.

Outra informação que influencia positivamente a quantidade de empresas nos municípios é o IDH, indicador de desenvolvimento humano que engloba educação (tempo de permanência na escola), saúde (expectativa de vida) e renda (baseado no PIB do país). No modelo, esta variável tem coeficiente angular de 0,489 (o segundo mais alto). Assim, ao considerar o potencial de instalação de empresas, não se deve considerar somente a quantidade de habitantes, mas a qualidade de suas vidas. Existe uma possível limitação em relação à variável IDH do município e a variável PIB *per capita*, uma vez que, dentro do IDH, o fator renda é medido pelo próprio PIB

*per capita*. Dessa forma, pode ser que o modelo seja afetado pelo efeito de multicolinearidade

Curiosamente, a quantidade de massa de resíduos gerada influencia negativamente o número de empresas, ou seja, não é porque o município gera muito resíduo que haverão muitas empresas. Esta descoberta poderia ser justificada pela efetividade da reciclagem no país, uma vez que cooperativas e associações de catadores e recicladores têm presença e estão consolidadas nos municípios.

Da mesma forma, a despesa dos municípios com resíduos sólidos tem relação negativa com a variável dependente, ou seja, quanto mais o município gasta para solucionar o tratamento de resíduos, menos empresas particulares existem. Uma vez que, nas contas públicas, é interessante gastar o mínimo possível, este dado demonstra oportunidade de negócios (consequentemente, geração de emprego, utilização de tecnologias, inovação) enquanto alivia as contas públicas. O valor despendido diretamente com resíduos poderia ser utilizado para, de alguma forma, incentivar empreendedores.

No entanto, conforme exposto pelos autores anteriormente, existem questões particulares às áreas demográficas para realizar previsões de mercado, como as interações dos usuários e empresas no local. Então, foi possível evidenciar ser interessante analisar com maiores detalhes o contexto de cada município e, consequentemente, compreender como aproveitar e oportunizar melhorias na qualidade de vida através dos resíduos sólidos. Da mesma forma, faz-se necessária análise de mudanças e incentivos nos municípios em relação à legislação e implementação destas através das políticas públicas de cada governo.

Existem poucos estudos atualmente sobre o tema e os dados existentes ainda estão dispersos. Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a geração e acompanhamento de dados sobre saneamento básico é um grande avanço e fornecerá maiores e melhores informações para novas descobertas e ações. Dessa forma, este estudo, ainda que incipiente, conseguiu reunir informações e analisar relações que podem e serão estudadas futuramente, uma vez que é de interesse global cuidar e manter o planeta no futuro com sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

ABRALATAS. **Informativo da Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio**. , maio 2021. Disponível em: <<https://www.abralatas.org.br/informativos/>>. Acesso em: 25 nov. 2021

ANDREA ZAMORA; ALEXANDRA CATERBOW; CAIO NOBRE. **Atlas do Plástico**. Disponível em: <<https://br.boell.org/pt-br/2020/11/29/atlas-do-plastico>>. Acesso em: 25 nov. 2021.

AQUINO, I.; JÚNIOR, A.; PIRES, T. A organização em rede dos catadores de materiais recicláveis na cadeia produtiva reversa de pós-consumo da região da grande Florianópolis: uma alternativa de agregação de valor. **Gestão & Produção**, v. 16, 1 mar. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). **PERFIL 2020**. , 2021. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil-2020/>>. Acesso em: 24 nov. 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. , dez. 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em: 24 nov. 2021

BRASIL. **Lei nº 6.938**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)>. Acesso em: 24 nov. 2021.

BRASIL. **L12305**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 24 nov. 2021a.

BRASIL. **Lei 9.605/1998**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm)>. Acesso em: 24 nov. 2021b.

CEMPRE. **Taxas de reciclagem**. , 2020. Disponível em: <<https://cempre.org.br/taxas-de-reciclagem/>>. Acesso em: 24 nov. 2021

CHAMBERS, J. C.; MULLICK, S. K.; SMITH, D. D. How to Choose the Right Forecasting Technique. **Harvard Business Review**, 1 jul. 1971.

CRUTZEN, P. J.; STOERMER, E. The “Anthropocene”. Em: EHLERS, E.; KRAFFT, T. (Eds.). **Earth System Science in the Anthropocene**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. p. 13–18.

EDMO COLNAGHI NEVES. **Compliance Empresarial: o tom da Liderança**. [s.l.] Trevisan Editora, 2018. v. 1ª edição

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. **Earth Overshoot Day**. Disponível em: <<https://www.footprintnetwork.org/licenses/public-data-package-free/>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

HAWKEN, P.; LOVINS, A. B.; LOVINS, H. Natural Capitalism. p. 404, 1999.

HUFF, D. L. A Probabilistic Analysis of Shopping Center Trade Areas. **Land Economics**, v. 39, n. 1, p. 81–90, 1963.

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. **Forecasting: Principles and Practice**. 3rd edition ed. Melbourne, Australia: OTexts, 2021.

INGENE, C. A. Structural determinants of market potential. **Journal of retailing**, v. 60, n. 1, p. 37–64, 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (ED.). **Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente**. 2a. ed ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

KOURENTZES, N.; ROSTAMI-TABAR, B.; BARROW, D. K. Demand forecasting by temporal aggregation: Using optimal or multiple aggregation levels? **Journal of Business Research**, v. 78, p. 1–9, 1 set. 2017.

KRESS, G. Clarifying Market Potentials and Sales Potentials. **Journal of Professional Services Marketing**, v. 8, n. 1, 1992.

MAKRIDAKIS, S.; HYNDMAN, R. J.; PETROPOULOS, F. Forecasting in social settings: The state of the art. **International Journal of Forecasting**, M4 Competition. v. 36, n. 1, p. 15–28, 1 jan. 2020.

MCGRATH, D. **Learning Pandas Profiling**. Disponível em: <<https://towardsdatascience.com/learning-pandas-profiling-fc533336edc7>>. Acesso em: 9 set. 2022.

PETROPOULOS, F.; MAKRIDAKIS, S. The M4 competition: Bigger. Stronger. Better - ScienceDirect. v. 36, n. 1, p. 3–6, mar. 2020.

RANJBARI, M. et al. Two decades of research on waste management in the circular economy: Insights from bibliometric, text mining, and content analyses. **Journal of Cleaner Production**, v. 314, p. 128009, 10 set. 2021.

REVISTA EXAME. **Dinheiro jogado na lata de lixo**. Disponível em: <<https://exame.com/revista-exame/dinheiro-jogado-na-lata-de-lixo/>>. Acesso em: 21 fev. 2022.

SINGH, N.; BUSSEN, T. J. **Compliance Management: A How-to Guide for Executives, Lawyers, and Other Compliance Professionals**. [s.l.] Praeger, 2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2019**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-do-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-2019>>. Acesso em: 25 nov. 2021.

VILLALBA, L. et al. Household solid waste characterization in Tandil (Argentina): Socioeconomic, institutional, temporal and cultural aspects influencing waste quantity and composition. **Resources Conservation and Recycling**, v. 152, 9 out. 2019.

WORLD WILDLIFE FUND. **Relatório Anual 2019**. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?76509/Relatorio-Anual-2019>>. Acesso em: 24 nov. 2021.